



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

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ AUTOMATICKÉ PŘEDMONTÁŽE HYDRAULICKÝCH ČERPADEL

VIRTUAL COMMISSIONING OF AUTOMATIC PRE-ASSEMBLY OF THE HYDRAULIC PUMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petra Michalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Mikuláš Szabari

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Bc. Petra Michalová**
Studijní program: Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Mikuláš Szabari**
Akademický rok: 2021/22

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:

Virtuální zprovoznění automatické předmontáže hydraulických čerpadel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne robotické pracoviště, které bude nahrazovat vybrané ruční operace, a tak automatizuje montáž hydraulických čerpadel. Robotické pracoviště bude uzpůsobeno pro montáž několika velikostních variantů čerpadel značky Danfoss a bude prostorově omezeno. Celý automatický proces bude zpracován v podobě virtuálního zprovoznění na dostupné platformě.

Cíle diplomové práce:

Rešerše v dané oblasti.

Rozbor řešené problematiky.

Vytvoření nejméně tří návrhů robotických pracovišť, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty na základě multikriteriální analýzy.

Výpočet taktu linky.

Virtuální zprovoznění.

Ekonomické zhodnocení.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

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

SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB. Springer Handbook of Robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, Shimon. Springer Handbook of Automation. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-3-540-78830-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom predmontáže hydraulických čerpadiel, za účelom zvýšenia produktivity montážnych liniek a získania doby návratnosti investície. V teoretickej časti sú popísané základy Priemyslu 4.0, robotizácie, bezpečnosti a softvérovej podpory v oblasti robotických pracovísk. Návrh robotickej bunky vychádza z požiadaviek zákazníka a analýzy súčasného stavu montážnych liniek. Bezpečnosť pracoviska je navrhovaná na základe výsledkov analýzy rizík. Záverom práce je ekonomické zhodnotenie a výpočet návratnosti investícií do robotického pracoviska. Súčasťou práce je dokumentácia analýzy rizík a video simulácie v .mp4 formáte.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of pre-assembly of hydraulic pumps, in order to increase the productivity of assembly lines and obtain a return on investment. The theoretical part describes the basics of Industry 4.0, robotics, security and software support in the field of robotic workplaces. The design of the robotic cell is based on customer requirements and analysis of the current state of assembly lines. Workplace safety is designed based on the results of risk analysis. The conclusion of the work is an economic evaluation and calculation of return on investment in a robotic workplace. Part of the work is the documentation of risk analysis and video simulation in .mp4 format.

KLÍČOVÁ SLOVA

Návrh robotického pracoviska, predmontáž hydraulických čerpadiel, automatická predmontáž, automatická výmena koncového efektoru, simulácia robotickej bunky, priemyslový robot, RobotStudio.

KEYWORDS

Design of the robotic work cell, pre-assembly of the hydraulic pump, automatic pre-assembly, automatic change of gripper, simulation of robotic work cell, industrial robot, RobotStudio.

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MICHALOVÁ, P. *Virtuální zprovoznění automatické montáže hydraulických čerpadel*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2022, 102 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Mikuláš Szabari

Ing. Josef Guláš, Ph.D.

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcela poďakovať môjmu vedúcemu diplomovej práce Ing. Mikulášovi Szabarimu, za jeho odbornú pomoc a užitočné rady počas spracovania diplomovej práce. Ďalej moje poďakovanie patrí kolegom zo spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s. v Považskej Bystrici za možnosť a pomoc pri vypracovaní diplomovej práce. V neposlednom rade ďakujem mojej rodine, partnerovi a priateľom za podporu v priebehu celého štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracovala som ju samostatne pod vedením Ing. Mikuláša Szabariho a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 20. 5. 2022

.....

Michalová Petra

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA.....	16
2.1	Priemysel 4.0	16
2.1.1	Digitálne dvojča.....	17
2.2	Robotické pracoviská.....	18
2.2.1	Priemyselné roboty	19
2.3	Bezpečnosť robotizovaných pracovísk	20
2.3.1	Bezpečnostné ochranné zariadenia	20
2.4	Softvérová platforma v priemysle.....	21
2.4.1	Softvéry výrobcov	22
2.4.2	Univerzálne softvéry.....	24
2.5	Stručná charakteristika spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s.....	26
3	ROZBOR AKTUÁLNEHO STAVU MONTÁŽNEJ LINKY	27
3.1	Popis čerpadla	27
3.2	Rozbor montážnych liniek a ich layout	27
3.3	Postup montáže	29
3.3.1	Súčasná montáž riešených komponentov	29
4	ŠPECIFIKÁCIA ZADANIA SPOLOČNOSTI	32
4.1	Požiadavky spoločnosti.....	32
4.2	Objekty manipulácie	33
4.3	Takt linky	35
5	AUTOMATIZÁCIA MONTÁŽNEJ LINKY	39
5.1	Návrh rozloženia robotickej bunky.....	39
5.2	Variant 1	41
5.3	Variant 2	42
5.4	Variant 3	43
5.5	Voľba varianty	44
6	VOEBA KOMPONENTOV PRACOVISKA	48
6.1	Výber robotov	48
6.2	Koncové efektory.....	49
6.2.1	Koncové efektory pre robota ABB IRB 4600	50
6.2.2	Stojan na koncové efektory pre robota IRB 4600	53
6.2.3	Koncový efektor pre robota IRB 1300	54
6.3	Dopravníky	56
6.4	Lisovacie zariadenie	56
6.5	Zásobníky.....	58
6.6	Konečný model pracoviska.....	59
7	BEZPEČNOSŤ PRACOVISKA	61
7.1	Analýza rizík robotického pracoviska	61
7.1.1	Blokový diagram	61
7.1.2	Relatívne nebezpečenstvo.....	62
7.1.3	Zoznam významných nebezpečenstiev	63
7.1.4	Analýza významných nebezpečenstiev	64
7.2	Bezpečnostné prvky	65

8	SIMULÁCIA ROBOTICKÉHO PRACOVISKA.....	66
8.1	Výstup simulácie	70
9	ZHODNOTENIE NÁVRHU	71
9.1	Ekonomické zhodnotenie	71
9.1.1	Návratnosť	72
10	ZÁVER.....	77
11	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	78
12	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK.....	81
12.1	Zoznam tabuliek	81
12.2	Zoznam obrázkov	81
13	ZOZNAM PRÍLOH.....	84

1 ÚVOD

Cieľom robotizácie v podnikoch je snaha o zvýšenie kapacity a výkonnosti produktivity, skrátenie výrobných a dodacích cyklov, zvýšenie kvality a odstránenie chybovosti v procesoch, optimalizácia prevádzkových nákladov a ďalšie.

Diplomová práca sa zaoberá návrhom robotického pracoviska na predmontáž skríň hydraulických čerpadiel v spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s. v Považskej Bystrici. Účelom robotického pracoviska je zvýšenie produktivity troch montážnych liniek S45. Robotická predmontáž spočíva v inštalácii dvoch klzných ložísk, hriadeľového tesnenia, poistného krúžku a vonkajšieho krúžku ložiska do skrine. Hlavnou úlohou diplomovej práce je návrh a zistenie možností robotického pracoviska s čo najnižšou vstupnou investíciou.

V teoretickej časti práce sú popísané základy Priemyslu 4.0, robotizácie, bezpečnosti a softvérovej podpory v oblasti robotických pracovísk. V prvej časti praktického spracovania práce je priblížený aktuálny stav montáže hydraulických čerpadiel na montážnych linkách. Ďalej sú v práci uvedené návrhy rozloženia robotického pracoviska, ktoré vychádzajú s požiadavkou zadávateľa a z komponentov manipulácie. Vhodný návrh je zvolený na základe výsledkov multikriteriálnej analýzy.

V šiestej kapitole sú popísané jednotlivé komponenty a mechanizmy robotického pracoviska. Bezpečnosť pracoviska je posúdená a navrhnutá na základe výsledkov analýzy rizík. Vytvorené modely komponentov sú importované do simulačného softvéru RobotStudio. Postup tvorby samotnej simulácie je popísaný v kapitole osem.

V poslednej časti práce je vytvorená ekonomická kalkulácia, kde sú porovnané náklady na nové robotické pracovisko a dosiahnuté úspory. V závere ekonomickej kalkulácií je vykonaný výpočet doby návratnosti investícií do robotického pracoviska.

Robotické pracovisko bude navrhované pre potencionálnu integráciu do reálnej prevádzky.

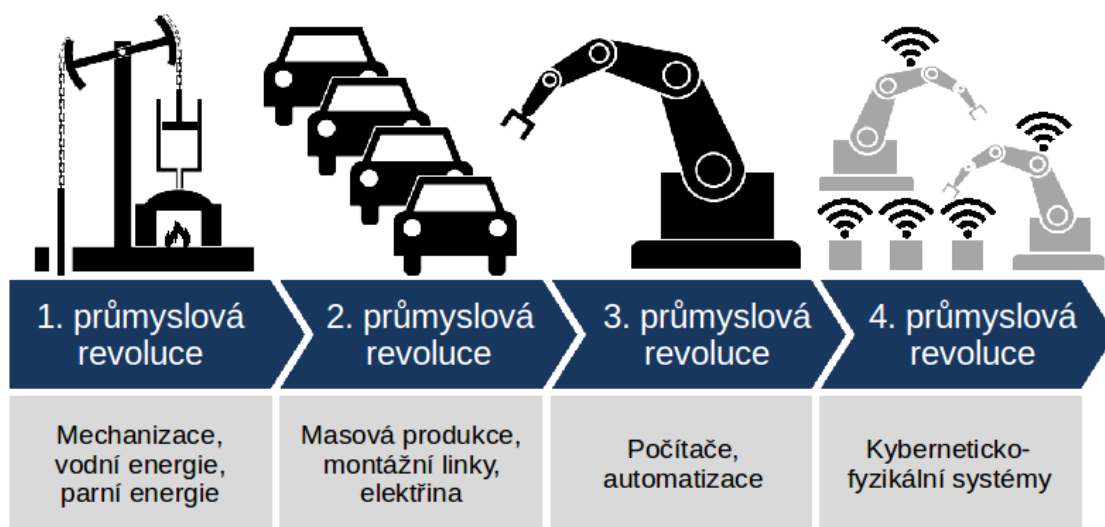
2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

V najbližších kapitolách priblížim aktuálny stav v oblasti priemyslu 4.0, robotizácie a jej aplikovateľnosti, bezpečnosti na pracoviskách a softvérovú podporu pri tvorbe pracovísk.

2.1 Priemysel 4.0

Priemysel 4.0 považujeme za štvrtú priemyselnú revolúciu. Evolúcia priemyslu je zobrazená na obrázku nižšie.

Táto priemyselná revolúcia sa zameriava na celkovú digitalizáciu všetkých fyzických prostriedkov a ich integráciu do digitálnych ekosystémov, ktoré vzájomne medzi sebou komunikujú. V Priemysle 4.0, pomocou prepojenia prostredníctvom internetu vecí (IoT), majú podniky prístup k údajom v reálnom čase. Priemysel 4.0 ponúka vzájomné prepojenie vo výrobe a teda spája fyzické prostredie s digitálnym, tiež dovoľuje lepšiu spoluprácu a prístup medzi jednotlivými oddeleniami, dodávateľmi, partnermi, ľuďmi a produktmi. [1]



Obr. 1) Diagram znázorňujúci štyri industriálne revolúcie [2]

Priemysel 4.0 je postavený na týchto pilieroch (Obr. 2) [3]:

- **kyberbezpečnosť** – sofistikované systémy riadenia identity a strojového prístupu sa využívajú na zabezpečenie bezpečnej a spoľahlivej komunikácie,
- **rozšírená a virtuálna realita (VR)** – využitie virtuálnej reality na umiestnenie digitálnych prvkov do reálneho obrazu sveta. Na rozvoj VR sú nutné priestorové údaje,
- **analýza veľkých dát (Big Data)** - komplexné vyhodnocovanie a zhromažďovanie údajov z viacerých zdrojov na podporu rozhodovania sa v reálnom čase,
- **autonómne roboty** – v dnešnej dobe sa roboty stávajú autonómnejšími, flexibilnejšími a kooperatívnejšími, preto sú schopné bezpečne komunikovať a pracovať s ľuďmi,
- **aditívna výroba (3D tlač)** – princíp takejto výroby spočíva v nanášaní jednotlivých vrstiev na seba. 3D tlač sa využíva na výrobu jednotlivých komponentov alebo prototypov,

- **simulácie/ digitálne dvojča** - digitálne dvojča je virtuálna simulácia produktu, stroja, systému alebo procesu v reálnom svete na základe údajov senzorov internetu vecí,
- **kyberneticko-fyzikálne systémy** – ich cieľom je zabezpečiť výmenu dát a interakciu, čo vedie k optimalizácii nastavenej úlohy a autonómnej koordinácii jednotiek,
- **systémová integrácia** – ide o koncepčný prístup k usporiadaniu logistických a výrobných faktorov, zdieľanie dát medzi podnikmi,
- **dátové úložiská a cloudové systémy (cloud computing)** – umožňujú spracovávať a ukladať veľké obsahy dát bez potreby vlastniť a prevádzkovať vlastnú výpočtovú techniku. Fungujú na princípe služby, kedy si užívateľ platí za vopred dohodnutých podmienok,
- **internet vecí (IoT)** – táto technológia umožňuje pokročilé služby na základe prepojenia informačných technológií a vecí, ako napríklad rýchly návrh a úpravu produktov, prehľad o preferenciách spotrebiteľov, predchádzať prestojom zariadení, sledovanie produktov a zásob.



Obr. 2) Rámec Priemyslu 4.0 a digitálne technológie, ktoré ho tvoria [4]

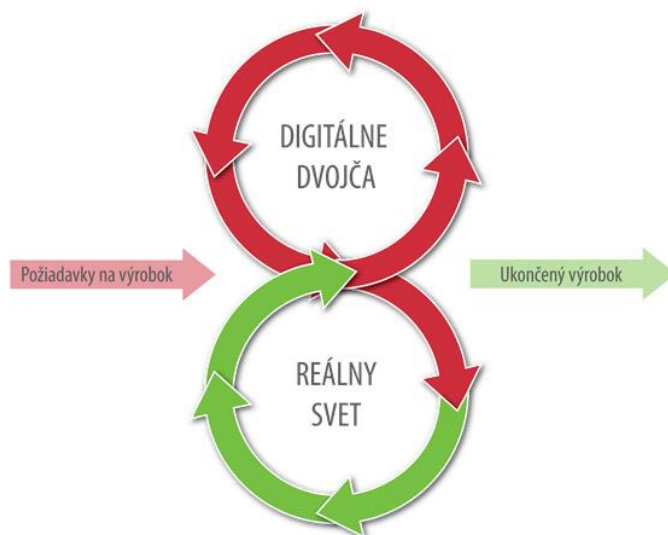
2.1.1 Digitálne dvojča

Digitálne dvojča je virtuálny model navrhovaný tak, aby presne kopíroval fyzický objekt. Skladá sa z viacerých prvkov, ako sú 3D CAD modely a dátové kanály, výrobné simulácie v reálnom čase zo senzorov, ktoré sú začlenené do reálneho operačného prostredia. Takýto model sa využíva v predpríprave pracoviska, pre generovanie možných zlepšení prípadne objavení rôznych chýb. Získané informácie sa môžu použiť pri realizácii, alebo na pôvodný fyzický objekt/ zariadenie.

Rozdiel medzi digitálnym dvojčat'om a simuláciou je v rozsahu štúdie, hoci obidve sféry využívajú digitálne modely. Kým simulácia zvyčajne študuje jeden konkrétny proces, digitálne dvojča môže samo spustiť ľubovoľný počet užitočných simulácií na štúdium viacerých procesov. [5]

Koncept digitálneho dvojčata (Obr. 3) [6]:

- fyzické produkty v reálnom priestore,
- virtuálne produkty vo virtuálnom priestore,
- pripojenie dát a informácií, ktoré zviaže virtuálne a skutočné produkty dohromady.



Obr. 3) Princíp digitálneho dvojčata [6]

Hlavným cieľom digitálneho dvojčata je vytvárať, testovať a vyrábať výrobok vo virtuálnom svete. Jeho fyzická výroba sa zaháji až v momente, kedy je pripravený digitálne. Vďaka previazaniu sa digitálneho dvojčata s realitou, digitálne dvojča obsahuje všetky prevádzkové informácie, ktoré nám slúžia na optimalizáciu výroby. Digitálne dvojča sa tiež často používa na diagnostiku, monitorovanie a prognostiku. Napríklad leteckých motorov, výrobné zariadenia atď... [6]

2.2 Robotické pracoviská

Robotické pracoviská sa tiež označujú aj ako robotické pracovné bunky alebo robotizovaná bunka. Ide o súbor strojov, ktoré sú organizované v rámci automatickej pracovnej bunky, kde sa využíva jeden alebo viac robotov. Účelom týchto robotov je maximalizovať, zrýchliť a zjednodušiť celý výrobný modul a dosiahnuť vysokú úroveň opakovateľnosti kvality produktu. (Obr. 4)

Robotizované pracoviská sa vyznačujú vysokou mierou využiteľnosti. Veľkou výhodou takýchto pracovísk je robot, ktorý nepotrebuje prestávky, prázdniny, dovolenky ani navštevovať lekára a teda je schopný pracovať nepretržite dvadsaťštyri hodín denne.

Robotické bunky sa využívajú na automatizáciu rôznych operácií vo viacerých výrobných odvetviach, ako napríklad [7]:

- dokončovanie,
- manipulácia,
- obsluha CNC strojov,
- zváranie,

- zhromažďovanie,
- paletizácia,
- práca s chemikáliami,
- technologické operácie,
- nanášanie farieb.



Obr. 4) Príklad zložitejšieho robotizovaného pracoviska s periférnymi zariadeniami [8]

2.2.1 Priemyselné roboty

Pojem „robot“ je zariadenie, ktoré má nasledujúce vlastnosti: [9]

- manipulačnú schopnosť - robot je schopný uchopovať objekty, presúvať ich a vykonávať na nich úpravu, popri prípade vykonávať montážne činnosti a manipuláciu s nástrojmi,
- univerzálnosť – zariadenie nie je určené len na jednu činnosť, ale po zmene programu, nástrojov alebo chápadiel je možné ho využiť na inú činnosť alebo na inom pracovisku,
- väzba s prostredím – možnosť vnímania prostredia prostredníctvom senzorov, ktoré napodobňujú vnemy človeka,
- autonómnosť chovania – schopnosť zariadenia vykonávať postupne zložité úlohy plne automaticky podľa určitého programu,
- priestorová sústredenosť jednotlivých zložiek (integrovanosť), pokiaľ je to možné do jedného celku.

Teda označenie „robot“ je vhodné využívať predovšetkým pre manipulačné mechanizmy, ktoré vykonávajú úlohy podobné úlohám človeka. Tiež je toto označenie vhodné pre manipulačné mechanizmy riadené počítačom.

Z hľadiska kinematiky sa priemyselné roboty delia na: [9]

- priemyselné roboty so sériovou kinematikou (Obr. 5, vpravo) – jednotlivé ramená sú spájané kĺbmi za sebou. Jednotlivé spojenia môžu byť translačné alebo rotačné,
- priemyselné roboty s paralelnou kinematikou (Obr. 5, vľavo) – koncový efektor je umiestnený na plošine, ktorá je zavesená a riadená tromi alebo šiestimi dĺžkovo nastaviteľnými a riadenými paralelnými členov (ramien), ktoré sú upevnené v kĺbových závesoch,
- priemyselné roboty s hybridnou kinematikou – osy X a Y sú usporiadané paralelne a osa Z sériovo.



Obr. 5) Vpravo sériový robot, vľavo paralelný robot [10]

2.3 Bezpečnosť robotizovaných pracovísk

Vždy pred uvádzaním robotizovaného pracoviska do prevádzky je nutné vykonať analýzu rizík, ktorá spočíva v špecifikácii všetkých ohrození/nebezpečenstiev spojených s celým životným cyklom pracoviska.

Požiadavky na **bezpečnosť riadiacich častí systému** sú [8]:

- funkcia núdzového zastavenia,
- bezpečnostné zastavenie,
- redukovaná rýchlosť funkčných častí robota,
- pracovné režimy (Ručný režim a automatický režim),
- riadenie pomocou ručného ovládacieho panelu.

2.3.1 Bezpečnostné ochranné zariadenia

Pracovné operácie sa vykonávajú vo vnútri robotizovaných buniek, ktoré vykonávajú roboti za zvýšených rýchlostí. Na ochranu obsluhy sú preto bunky vybavené dvoma typmi bezpečnostných prvkov [7]:

- fyzické bariéry,
- snímače a laserové bariéry.

Fyzické bariéry

Pevné zábrany, väčšinou kovovej konštrukcie, zabezpečujú zatvorenie celého pracovného priestoru, do ktorého sa dá dostať len prostredníctvom vstupnej brány, ktorá je zvyčajne zabezpečená snímačom. V prípade, ak je možnosť cez zábrany zasahovať končatinami

do pracovného priestoru, je nutné rešpektovať hodnoty bezpečných vzdialeností uvedené v normách. Základne možnosti zabezpečenia: [8]

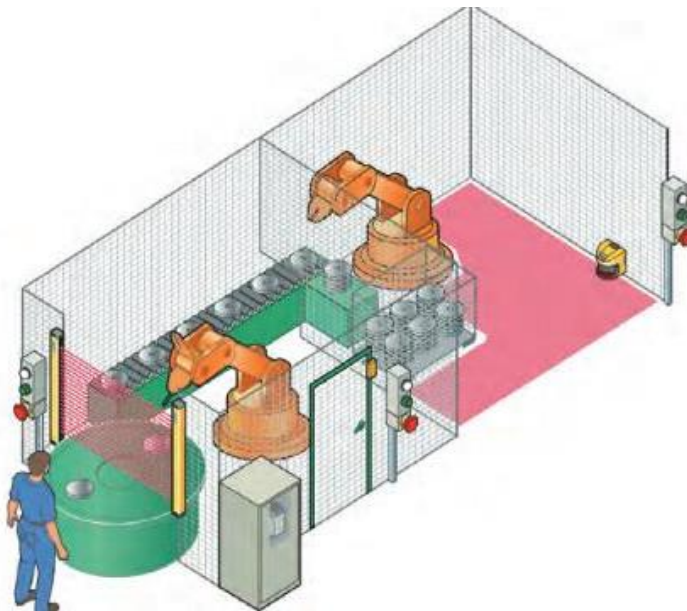
- Zariadenie núdzového zastavenia (STOP tlačítka)
- Pevné zábrany

Snímače a laserové bariéry

V bunkách sú strategicky rozložené zariadenia, ktoré sú vybavené laserovými snímačmi/ senzormi. Tieto senzory dokážu detekovať prítomnosť neočakávaných predmetov, prípadne osôb v pracovnom priestore. Detekovanie má za príčinu spomalenie alebo úplné zastavenie pracovnej činnosti robota a celej bunky. Následné opätovné spustenie je možné reštartovaním operácií alebo v prípade, keď je objekt detekovania dostatočne ďaleko. Senzorické a laserové bezpečnostné prvky: [7]

- Bezpečnostné svetelné závory (svetelná brána)
- Bezpečnostný laserový skener
- Bezpečnostné dverové snímače
- Nášľapné rohože

Príklad plne zabezpečeného pracoviska je zobrazený na obrázku 6. Každé vstupné miesto je vybavené ovládacím panelom so zariadením núdzového zastavenia. Bezpečnostná optická závora stráži otočný stôl a jeho blízke okolie a dvere slúžiace pre vstup sú zabezpečené bezpečnostným zámkom. Celý priestor je zahradený pevnou zábranou. Druhé pracovisko je na troch stranách zabezpečené pevnou zábranou a celý vnútorný priestor je strážený laserovým skenerom. Ovládací panel je opäť umiestnený na vstupe do pracovného priestoru. [9]



Obr. 6) Príklad zabezpečenia robotizovaného pracoviska [9]

2.4 Softvérová platforma v priemysle

Simulácia pohybu robota je veľmi dôležitou súčasťou navrhovania robotickej bunky. Využíva sa na určenie optimálneho umiestnenia a veľkosti robota pre vykonávanie úloh. Napríklad

umiestnenie robota na podstavci alebo montáž robota nad hlavu môže umožniť použitie menšieho a cenovo dostupnejšieho robota.

Výrobcovia priemyselných robotov ponúkajú rôzne softvérové produkty off-line simulácií pre plánovanie dráhy pohybu robota. Simulácie verne modelujú pohyb ramien. Pre simuláciu celej bunky, ktorá obsahuje stroje, dopravníky, koncové efekty robotov atď. sú potrebné 3D modely, ktoré je možné importovať takmer do akéhokoľvek simulačného programu.

Určité simulačné programy následne umožňujú off-line programovanie preniesť do online programovania. [11]

Medzi hlavné úlohy simulácie patria:

- analýza a optimalizácia,
- podpora rozhodovania pri projektovaní systému a v prevádzke,
- náhrada reálneho systému (tréning, nebezpečenstvo, testovanie a pod.).

2.4.1 Softvéry výrobcov

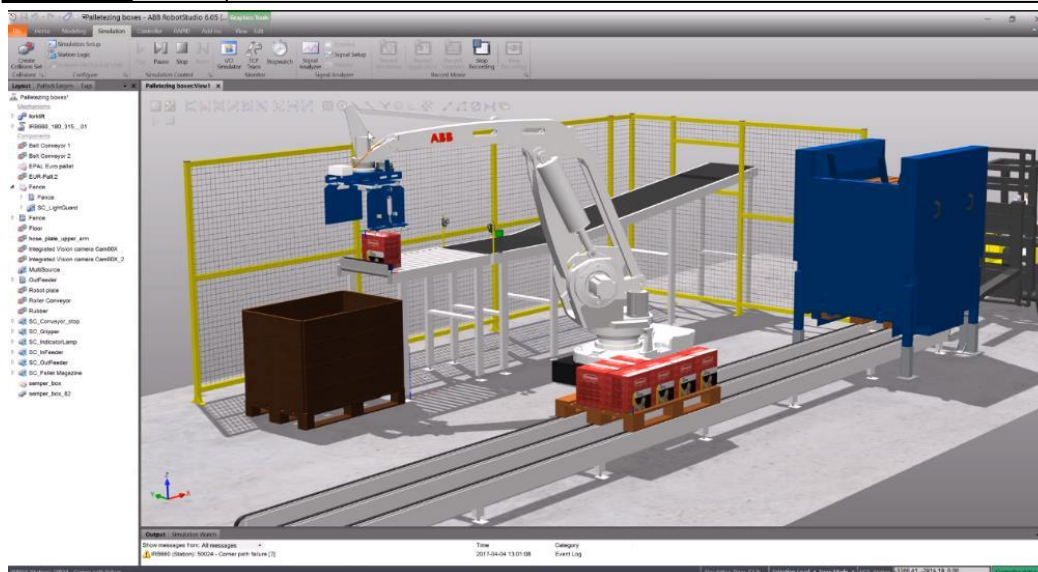
Aktuálne na trhu pôsobí viacero výrobcov robotov, ktorí neustále vyvíjajú vlastné simulačné systémy. Ďalej existujú výrobcovia samotných softvérov pre simuláciu robotov a robotických buniek. V tejto kapitole si priblížime niektoré systémy.

RobotStudio

Jeden z najpoužívanejších off-line programovacích nástroj pre robotiku je od výrobcu robotov ABB. ABB - RobotStudio umožňuje programovanie robota cez PC bez potreby zastavenia výroby. Taktiež umožňuje prípravu programov dopredu, čo zvyšuje celkovú produktivitu. Pracovné okno softvéru RobotStudio je zobrazené na obrázku 7.

Softvér RobotStudio je postavený na princípe virtuálneho riadiaceho systému (ABB VirtualController) – presná kópia skutočného softvéru, ktorý vo výrobe riadi robota. Umožňuje realistické simulácie, ktoré využívajú reálne robotické programy a konfiguráciu súborov, totožné s tými, ktoré sú využité vo výrobe.

V programe sú zahrnuté knižnice, ktoré obsahujú celú radu robotov od výrobcu ABB, tiež sú v ňom zahrnuté jednotlivé bezpečnostné a logistické prvky. Časti výrobných buniek, ktoré nie sú zahrnuté v knižniciach programu sa dajú jednoducho importovať prostredníctvom 3D modelov typu CAD v štandardných formátoch. Ďalšie možnosti, ktoré tento simulačný program ponúka sú generovanie pozícií pre sledovanie krivky (AutoPath), nástroje pre detekciu možných kolízií a automatické analyzovanie manipulačného dosahu robota pre optimálne umiestnenie vo výrobných bunkách (Autoreach). Ďalším obrovským prínosom je možnosť rozšírenia aplikácie prostredníctvom špeciálnych nástrojov pre bodové a oblúkové zváranie, brúsenie ostria a obsluha lisu.



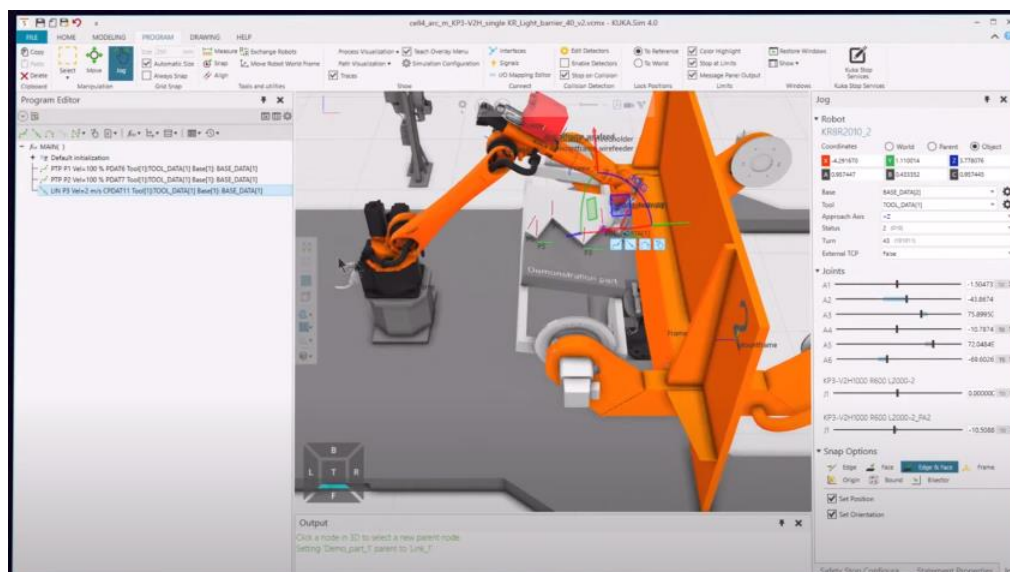
Obr. 7) ABB RobotStudio – pracovné prostredie [12]

KUKA.Sim

KUKA je spoločnosť, ktorá taktiež patrí medzi popredných výrobcov priemyselných robotov. Medzi jej služby patrí aj softvérová podpora výroby a možnosť simulácie. KUKA.Sim je program umožňujúci 3D simulácie, ktoré sú navrhnuté priamo na roboty od výrobcu KUKA.

KUKA.Sim vytvára digitálne dvojčeta a tým pádom identický obraz následného procesu. 3D simulácia pokrýva celý priebeh plánovania výroby - od návrhu výrobného procesu cez vizualizáciu materiálových tokov a problémových miest až po programovanie kódu PLC. Virtuálne a reálne riadenia pracujú stopercentne konzistentne s totožnými dátami.

KUKA.Sim ponúka rozšírenie základného balíčku o 3 doplnky, ktoré si jednotliví zákazníci môžu dokúpiť podľa potreby a zamerania výroby. Základné pracovné prostredie programu je zobrazené na obrázku 8. [13]



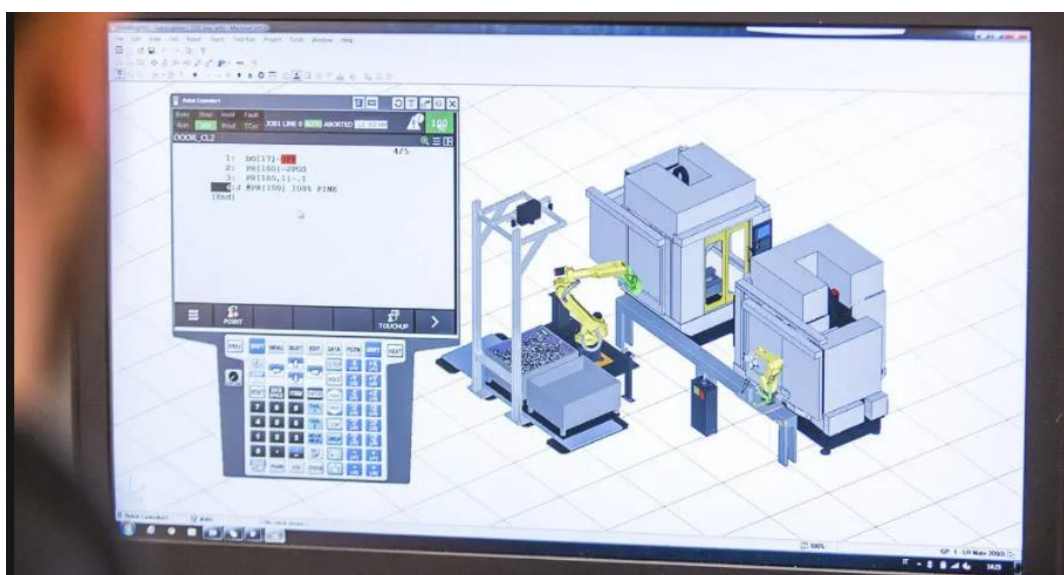
Obr. 8) KUKA SimPro – pracovné prostredie [13]

RoboGuide

Výrobca FANUC prináša simulátor robotov ROBOGUIDE, ktorý simuluje jednotlivé pohyby aj aplikačné príkazy robotov. Umožňuje prípravu nových pohybov, tvorbu výrobných buniek, ich testovanie a modifikáciu plne off-line, čím zaisťuje minimálny vplyv na výrobu. RoboGuide má rovnako ako iné programy možnosť importu 3D modelov vo forme CAD súborov pre plné využitie.

RoboGuide umožňuje výber najvhodnejších robotov na modelovanie buniek pre jednotlivé požiadavky a nastavenie, tak aby sa zaistil optimálny dizajn bunky. Pomocou softvéru sa dá jednoducho a rýchlo vypočítať čas cyklov.

RoboGuide má k dispozícii veľa nástrojov pre špecifické aplikácie. Napríklad odihlenie (ChamferingPRO), striekanie laku (PaintPRO), manipulácie (HandlingPRO), paletizáciu (PalletPRO) alebo zváranie (WeldPRO). (Obr. 9) [14]



Obr. 9) RoboGuide – pracovné prostredie [14]

2.4.2 Univerzálne softvéry

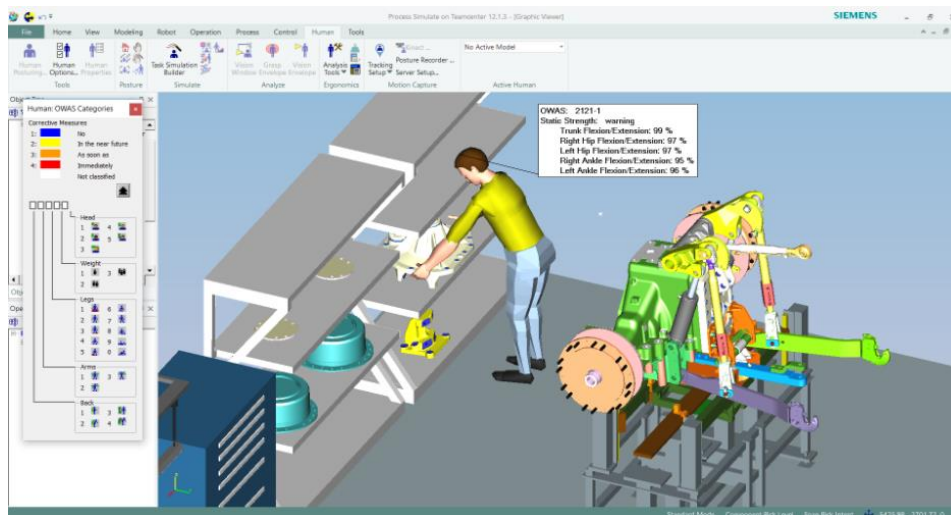
Ide o softvéry, ktoré sú univerzálne a ich knižnice obsahujú širokú škálu robotov a doplnkov. V tejto kapitole si priblížime dva takéto softvéry.

Process Simulate

Tecnomatix Process Simulate je digitálny softvér pre vytváranie riešení overovania výrobných procesov v 3D prostredí od výrobcu Siemens. Tento softvér dosahuje synchronizáciu medzi produktovým a výrobným inžinierstvom, výrobou a servisnými operáciami s hlavným cieľom maximalizovať efektivitu výrobného procesu a vykonávať inovácie.

Process Simulate uľahčuje simulácie montážnych procesov, ľudských operácií a mechanických postupov zariadení, robotov a nástrojov. Process Simulate sa tiež zameriava aj na ergonómiu operátorov a obsluhy vo výrobných procesoch. Pomocou veľkej škály dát a nástrojov, umožňuje preskúmanie podrobností procesov a ich overenie v rôznych fázach tvorby.

Simulačný program dovoľuje v rovnakom prostredí simulovať ľudské operácie, montážne procesy zváranie, kontinuálne procesy (laserové zváranie, lepenie) a iné. Simulácia simuluje realistické chovanie človeka, PLC logiku a robotické ovládače. Možnosť ukladania trajektórií robota v simulácii umožňuje porovnanie jednotlivých riešení a zmien pohybu robota. (Obr. 10) [15]



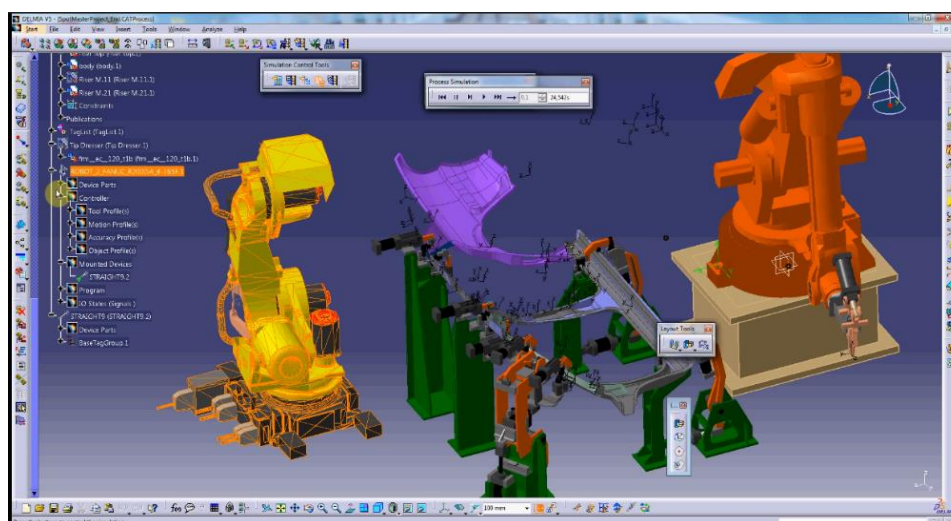
Obr. 10) Siemens Tecnomatix Process Simulate – pracovné prostredie [15]

Delmia V5 robotics

Tento simulačný produkt umožňuje komplexný návrh, optimalizáciu, simuláciu a programovanie robotických pracovísk v prostredí 3D digitálnej továrne. Delmia V5 robotics zdieľa rovnakú architektúru ako ENOVIA a CATIA. Knižnica tohto simulačného softvéru obsahuje viac než 700 presných modelov robotov.

Program ponúka užívateľsky prístupné riešenia pre rozvrhnutie pracovných buniek, definovanie obrábacích strojov, simuláciu pracovných buniek a programovanie robotov.

Delmia V5 robotics sa zameriava predovšetkým na simulácie pre automobilový priemysel, a to hlavne pre robotické zváranie a end-to-end riešenia pre výrobu karosérií áut. (Obr. 11) [16]



Obr. 11) Delmia V5 Robotics – pracovné prostredie [16]

2.5 Stručná charakteristika spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s.

Diplomová práca je spracovaná v spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s. (ďalej len „Danfoss“). Danfoss je svetový líder v oblastiach navrhovania, výroby a predaja konštruovaných hydraulických, elektrických a elektronických komponentov.

Spoločnosť Danfoss existuje už 85 rokov. Založená bola v roku 1933 Dánom Mads Clausen-om, pod menom "Dansk Køleautomatik og Apparatfabrik". Prvými produktami, ktoré spoločnosť vyrábala boli termostatické expanzné ventily pre chladiace systémy. Spoločnosť sa premenovala v roku 1946 z Dansk Køleautomatik og Apparatfabrik na Danfoss.

Danfoss v súčasnosti pôsobí v oblasti energetického riešenia, kúrenia, chladenia, pohonov, priemyselnej automatizácií, vysokotlakových čerpadiel, požiarnej bezpečnosti a monitorovanie emisií. Spoločnosť má viac ako 28 000 zamestnancov.

V Považskej Bystrici, vznikla spoločnosť v roku 2000 , spojením spoločností Danfoss Fluid Power A/S a Sauer- Sundstrand pod spoločným názvom Sauer-Danfoss. Od roku 2013 do súčasnosti, spoločnosť v Považskej Bystrici pôsobí ako jeden zo štyroch segmentov v rámci skupiny Danfoss v oblasti hydrauliky a riadenia. Spoločnosť v Považskej Bystrici sa venuje výrobe a montáži motorov, čerpadiel, ovládacích prvkov, ventilov, softvérom a mobilnej elektrifikácií. [17]

ENGINEERING
TOMORROW



Obr. 12) Logo spoločnosti Danfoss Power Solutions a.s. [17]

3 ROZBOR AKTUÁLNEHO STAVU MONTÁŽNEJ LINKY

Práca je zameraná na montážnu linku S45 v podniku Danfoss Power Solutions a.s. v Považskej Bystrici. Montážna linka je určená na montáž olejových čerpadiel typu S45. Táto montáž sa skladá z dvoch identických liniek a plánovanej tretej.

3.1 Popis čerpadla

Čerpadlá sa dajú využiť predovšetkým pri ťažkých poľnohospodárskych a stavebných zariadeniach, v autobusoch a v lesníckych strojoch.

Na spomínanej montážnej linke sa montujú axiálne piestové čerpadlá zo série S45 s otvoreným okruhom a to typu L/K, K2, J. Na linke sa montuje približne sto variant čerpadiel - K, K2, J, L. (Obr. 13)



Obr. 13) Séria hydraulických čerpadiel S45 [18]

3.2 Rozbor montážnych liniek a ich layout

Montáž S45 sa skladá z dvoch rovnakých montážnych liniek. V súčasnosti sa naplánuje tretia montážna linka.

Montáž S45 je rozdelená do siedmich častí:

- 1) Prijem tovaru
- 2) Sklady
- 3) Kanban sklady
- 4) Montážne linky
- 5) Testovací stand
- 6) Odstrojovanie
- 7) Rework

Rýchloobrátkový materiál je umiestnený v centrálnom sklade spoločnosti a dodávanie na ostrov montáže funguje na princípe kanban skladovania. V systéme kanban je objednávka materiálu riadená podľa spotreby v montáži a proces spúšťa definovaná hladina dostupnosti

potrebných zásob. Systém používa takzvané Kanban karty, ktoré obsahujú informácie o danom produkte – číslo dielu, jeho popis, počet dielov v balení, určenie kto je zákazník a kto dodávateľ. Karty môžu obsahovať aj ďalšie interné informácie, ktoré sú vždy uložené v systéme podniku. [19]

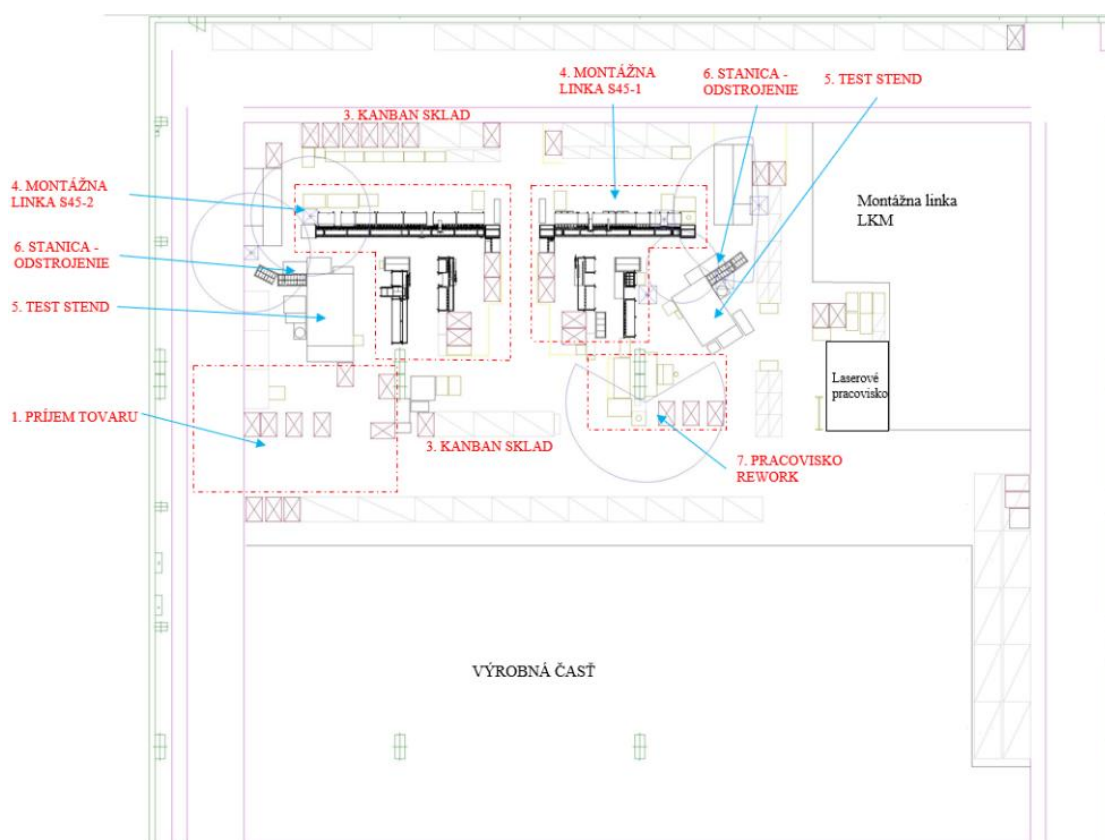
Ostatný materiál je umiestnený v skladových regáloch, kde je podľa objednávok vychystaný skladníkmi do regálov montážnych liniek. Materiál skladovaný na paletách (skrine a veká čerpadiel) je podľa príkazov pripravený na paletových vozíkoch na začiatku montážnych liniek.

Pohyb jednotky cez montážne stanice je zabezpečený otočným dopravným vozíkom. Poloha vozíka na jednotlivých staniách je zabezpečená zarážkami a ich uvoľnenie umožňuje potvrdenie všetkých operácií. Presun vozíka z poslednej stanice na prvú je zabezpečený výťahom a spodným dopravníkom.

Na manipuláciu jednotky na koncových staniách sa používa otočný konzolový žeriav. Žeriav je zariadenie určené na manipuláciu s bremenami v skladoch, dielnach. Môžu byť stĺpové alebo konzolové. Zmontované a otestované jednotky sú umiestnené na palety spolu so sprievodným listom, ktorý obsahuje informácie o jednotke.

V prípade, že jeden z testov je nevyhovujúci, jednotka sa označí ako scrap a je presunutá na určenú paletu. Následne sa vykoná jej oprava na pracovisku reworku.

Layout montáže v súčasnosti je zobrazený na obrázku 14, legenda k layoutu je v tabuľke 1.



Obr. 14) Layout montáže [20]

Tab 1) Označenie čiar na layoute

Popis	Farba čiary
Steny a stĺpy (stavba)	zelená
Cesty	ľalová
Stroje + príslušenstvo stroja (chladiace zar., filtračné zar., odsávanie, ...)	čierna
Obslužné zóny a manipulačné plochy (pre zakladanie materiálu do regálov, údržbu a opravu strojov, zásobníky nástrojov, olejové vane), dráhy pre dopravníky a ovládacie panely, mobilné zariadenia (vysokozdvížne a paletové vozíky)	zelená
Regál (pevný)	sivá
palety, mobilné manipulačné prostriedky, vozíky, všetky stoly a skrine, chladiace boxy	hnedá
Otočné konzolové žeriavy (základová doska, stĺp, dosah žeriavu)	tmavomodrá

3.3 Postup montáže

Všetky jednotky prejdú šiestimi stanicami, skúškou vzduchom (AIR Test) a testovacou stanicou (Test Stand). Na linke je nastavený balanc linky, ktorý určuje rozloženie operátorov na montážnej linke (min traja operátori/max piati operátori). Technologický postup montáže sa zobrazuje operátorom na monitore, ktorý je umiestnený na každej stanici. Všetky pokyny montáže sú na monitore, kde sa zobrazuje textový a obrázkový postup jednotlivých krokov. Jednotlivé kroky montáže sú sprevádzané svetelnou signalizáciou, ktorá určuje aké náradie alebo nástroj má operátor použiť. Každý regál s materiálom je vybavený svetelnými diódami umiestnenými v lištách, ktoré sa rozsvetujú/zhasínajú podľa jednotlivých krokov. Niektoré pozície v regáloch sú vybavené PICK TO LIGHT senzormi, na to aby operátori tieto činnosti nepreskakovali.

Drobné a ľahko zameniteľné diely sú pred samotnou montážou kontrolované vysokorýchlostnými kamerami. Každá kamera sníma diel pokiaľ nenájde zhodu s údajmi v systéme, ktorá je symbolizovaná zelenou diódou na zariadení. V prípade, ak skúška správnosti vychádza negatívne, znamená to, že diel je NOK a teda je nutné vložiť ho do žltej nádoby s označením „NEZHODNÝ materiál“. Viditeľne poškodený diel alebo diel poškodený počas montáže, operátor vloží do červenej. Izolované diely pracovník označí „žltým štítkom“, kde vypíše potrebné údaje.

Každá montážna operácia na jednotlivých pracoviskách/staniciach začína skenovaním identifikačného štítku. Po naskenovaní štítku prebieha načítavanie pracovného postupu a kontrola prítomnosti všetkých nástrojov a náradia. Po ukončení všetkých krokov a kontrole ich vykonania operátor potvrdí splnenie všetkých operácií a presunie jednotku na dopravnom vozíku ku ďalšej stanici.

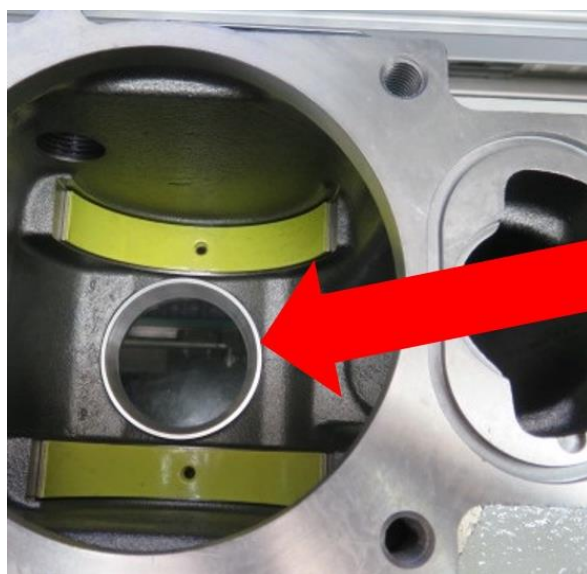
3.3.1 Súčasná montáž riešených komponentov

Na montážnej stanici 10 operátor zoberie skriňu čerpadla a upevní ju na dopravný vozík spojovacou plochou s vekom smerom hore. Následne operátor inštaluje 2 kusy *klzných ložísk* s kolíkom do skrine a pomocou trnu a kladivka ich inštaluje do skrine na doraz. Ďalej operátor inštaluje ručne *vonkajší ložiskový krúžok* do drážky na ložisko. Operátor postupne vkladá komponenty a namontuje veko skrine podľa inštrukcií na monitore. Po ukončení krokov na

stanici presunie operátor vozík na ďalšie stanice a postupuje podľa inštrukcií. Jednotlivé zmontované komponenty sú na obrázku 15 a obrázku 16.



Obr. 15) Ručná inštalácia klzného ložiska s kolíkom [21]



Obr. 16) Vložený vonkajší krúžok hriadeľového ložiska [21]

Na stanici 40 operátor otočí na dopravnom vozíku jednotku tak, aby hriadeľ smeroval hore (ku stropu). Vyberie z držiaku podľa diódy správnu chráničku tesnenia a vloží ju na hriadeľ. Operátor ručne inštaluje *hriadeľové tesnenie* (gufero) a vráti chráničku naspäť do držiaka. Následne operátor vloží poistný krúžok do drážky v lise v určenom smere, operátor uchopí obidvoma rukami lis a zafixuje lis o paletu dopravníka pomocou bajonetov a stlačením obojručných tlačidiel spustí lisovanie. Po dolisovaní operátor odpne lis. Ďalej operátor pokračuje podľa inštrukcií. Jednotlivé zmontované komponenty sú na obrázku 17, 18, 19.



Obr. 17) Inštalácia hriadeľového tesnenia (gufero) pomocou chráničky tesnenia [21]



Obr. 18) Vkladanie poistného krúžku do lisu [21]



Obr. 19) Lisovanie ložiska a poistného krúžku [21]

4 ŠPECIFIKÁCIA ZADANIA SPOLOČNOSTI

4.1 Požiadavky spoločnosti

Odvetvie montáže S45 v spoločnosti Danfoss, sa rozhodli pre integrovanie robotického pracoviska na plánované pracovisko prípravy montáže, ktorým chcú zadávateľia dosiahnuť zvýšenie produktivity v montážnej linke.

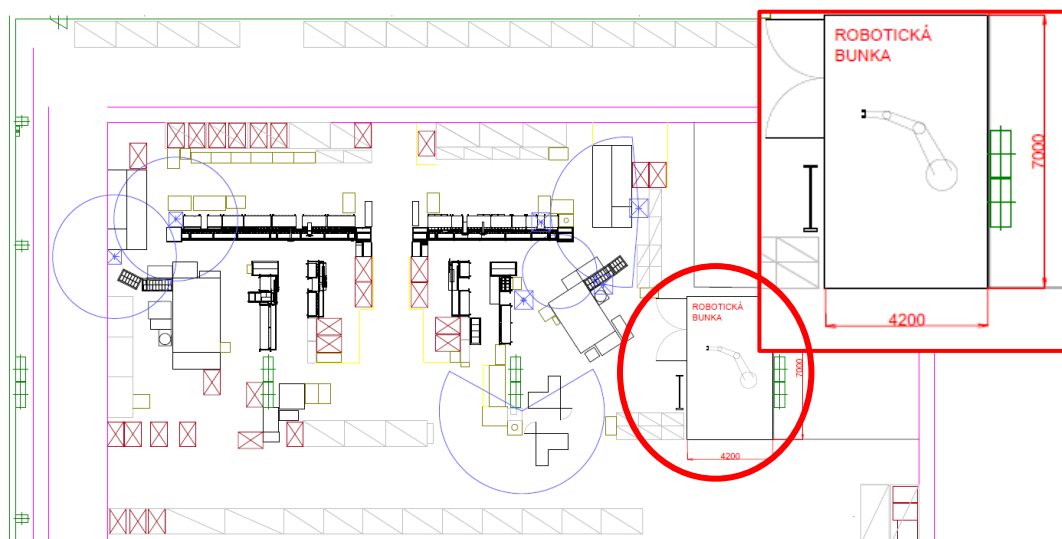
Zadaním je vytvorenie nového robotického pracoviska, ktorého zavedením sa zvýši produktivita samotnej montáže čerpadiel. Pracovisko bude zamerané na predmontáž skriň čerpadiel S45 v troch typoch – L/K, J, K2. Podstatou bude manipulácia s dielmi rôznych veľkostí a váh pre prípravu skrine čerpadla do montážnej linky. Predmontované skrine pôjdu priamo do montážnej linky.

Robotické pracovisko bude slúžiť pre sériovú výrobu. Podmienkou pracoviska je schopnosť vyprodukovať toľko predmontovaných skriň, aby zabezpečili plynulú montáž pre 3 montážne linky. Očakávaný takt nového pracoviska je jedným z predmetov skúmania v práci a záleží na nastavenom cyklickom čase.

Zariadenie by malo byť schopné vyrábať jednu zmenu, jeden typ výrobku. Pri zmene typu výrobku bude nutné prestavovanie, prípadne výmena zásob. Výmenu zásob a dopĺňanie musí zvládať jedna osoba, optimálne tím koordinátor na danej zmene.

Na pracovisku by sa mali vykonávať nasledovné operácie: presun skrine čerpadla, montáž hriadeľového vonkajšieho krúžku ložiska (uloženie s vôľou), gufera a poistného krúžku. Montáž klzného ložiska a vinutého kolíka. Montáž jednotlivých dielov do skrine bude vykonaná pomocou lisu, ktorý je schopný vytvárať prítláčnú silu 2000 N.

Rozloženie pracoviska by nemalo presiahnuť rozmery 7x4,2 m. Približná výška haly je 9m. Jedna časť (strana pracoviska) bude neprístupná z dôvodu prítomnosti nosných stĺpov výrobnéj haly a nutnosti zachovania skladového regálu. Zobrazená približná a plánovaná poloha robotického pracoviska v rámci montáže v spoločnosti je na obrázku 20.



Obr. 20) Vyhradená plocha pre robotické pracovisko [21]

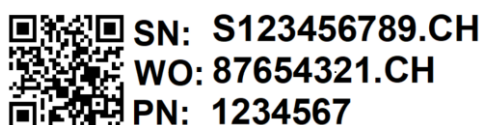
Zadávateľ úlohy si vyžaduje vyhradený pracovný priestor pre spracovanie pracovných príkazov a možnosť riadenia príkazov operátormi (nekvalifikovanými užívateľmi).

V dopravníkoch paliet, si zákazník praje mať k dispozícii 3 paletové miesta na skrine ako „polotovár“ a 3 paletové miesta na skrine ako „finálny“ produkt. Zadávatel' uvíta možnosť ukladania skriň na paletu v dvoch vrstvách 2x24, medzi jednotlivými radmi musí byť umiestnený preklad.

Z kontrolného hľadiska je nutné dodržať prvotné skenovanie DMC kódu na skrini čerpadla (poloha a rozmiestnenie skriň v paletách je na dohode).

Jednou z požiadaviek je použitie robotov od spoločnosti ABB, kvôli spolupráci s externou firmou pri vytváraní pracoviska.

Predmontovanú skriňu je nutné označiť vytlačeným a samolepiacim štítkom z tlačiarne. Etiketa musí obsahovať kód (ID všetkých dielov – ID skriňa, ID kolík, ID klzné ložisko,...) a informácie o danej jednotke (sériové číslo, číslo zmontovanej podskupiny) (Obr. 21).



Obr. 21) Označenie predmontovanej skupiny [21]

Tab 2) Súhrn požiadaviek zákazníka

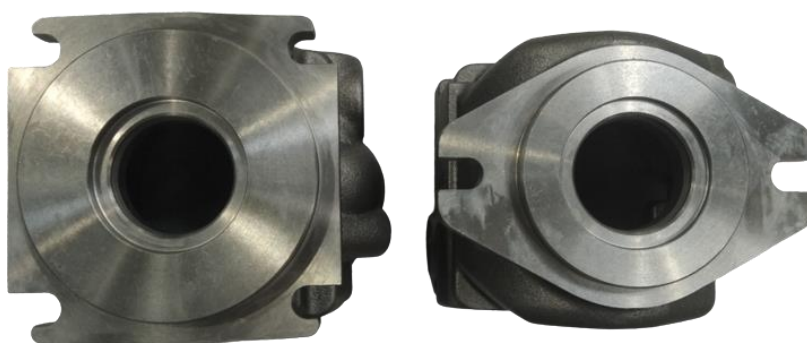
Číslo požiadavky	Opis požiadavky
1	Vytvorenie robotického pracoviska na prípravu skriň do 3 montážnych liniek
2	Takt robotického pracoviska nastavený na zásobovanie troch montážnych liniek
3	Obsluhu zariadenia bude vykonávať jeden zamestnanec (doplňovanie materiálu, výmenu paliet a ich skladovanie), nie celú pracovnú zmenu
4	Rozmery pracoviska 7m x 4,2m (jedna strana bude neprístupná)
5	Priestor pre pracovisko operátorov
6	Priestor musí byť prístupný pre dodávanie a odoberanie paliet
7	Dopravník s minimom 6 miest pre palety
8	Pred začatím operácie zaručiť skenovanie DMC kódu na skrini čerpadla
9	Roboty od spoločnosti ABB
10	Označenie hotovej podskupiny štítkom
11	Možnosť ukladania skriň v dvoch vrstvách na paletu (2x24)
12	Minimalizácia nákladov

4.2 Objekty manipulácie

SKRINE čerpadla S45 obsahujú DMX kód pre overenie správnosti typu skrine (Obr. 22). Hmotnosť najťažšej skrine dosahuje váhu 11kg pre dual typ. Spolu je 26 typov skriň z toho skrine typu DUAL majú inú polohu hriadeľového tesnenia, ktoré majú tiež iný tvar upínacej príruby (Obr. 23).

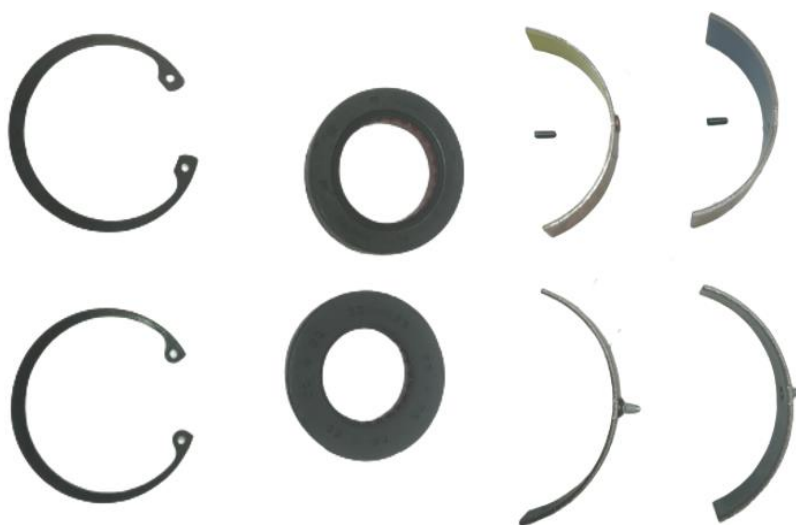


Obr. 22) Zobrazenie tvaru skrín čerpadla (v označenom poli je zobrazená pozícia DMX kódu) [21]

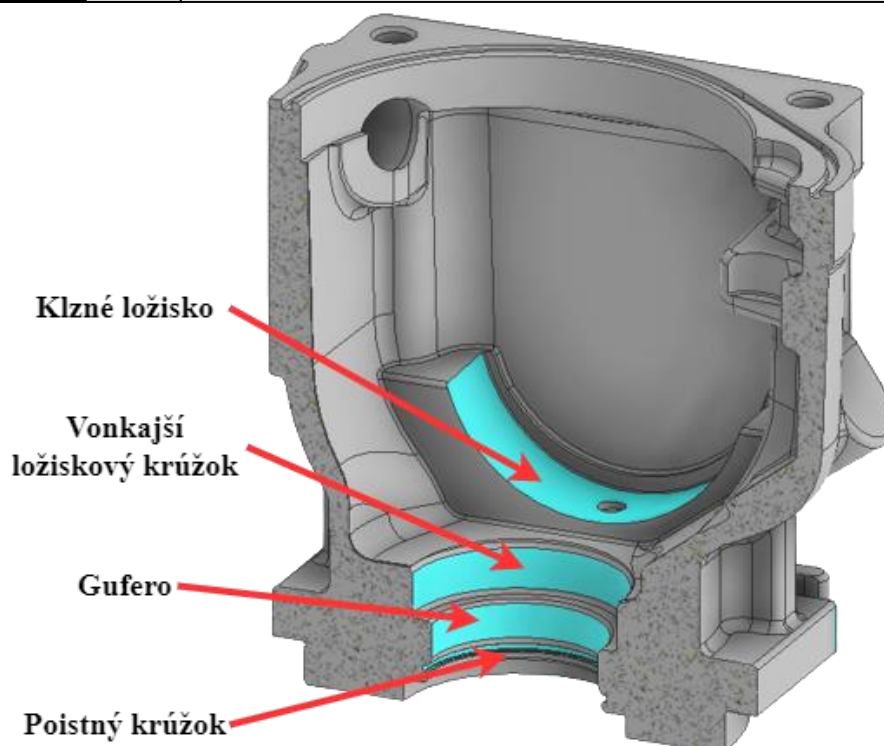


Obr. 23) Zobrazenie tvarov upínacej príruby [21]

Na robotickom pracovisku sa do skrine budú vkladať dva typy hriadeľového tesnenia (štandard/ dual), dva druhy poistného krúžku (štandard/ dual), dva druhy vonkajších ložiskových krúžkov, štyri druhy klzných ložísk (s kolíkom/bez kolíka a dve rôzne šírky ložiska). Všetky tieto komponenty sú zobrazené na obrázku 24. Umiestnenie jednotlivých komponentov v skrini je zobrazený na obrázku 25.



Obr. 24) Objekty manipulácie [21]



Obr. 25) Rez skrine čerpadla s označenými pozíciami dielov

4.3 Takt linky

Výrobný takt linky je hodnota, ktorá predstavuje interval medzi dvoma po sebe nasledujúcimi produktmi. Vypočítame ho, ako pomer využiteľného časového fondu zariadenia (napr. v normohodinách) a plánovaný počet produktov, vyrobených v danom zariadení za dané obdobie. [22]

Na montážnych linkách je nastavená osem hodinová pracovná zmena. Vzhľadom na širokú škálu variant montovaných jednotiek a viacerých možností rozloženia pracovníkov na linke sa zameriam na variant piatich pracovníkov a jednotiek, ktoré majú najvyššiu pracovnú zmenovú výrobnosť.

V prvom rade je nutné vedieť efektívny čas výroby, tzv. dostupný výrobný čas, kedy z celkové času pracovnej zmeny odčítam čas prestávky, sociálne straty, autonómnou údržbu a čas pre administratívu (preberanie zmien).

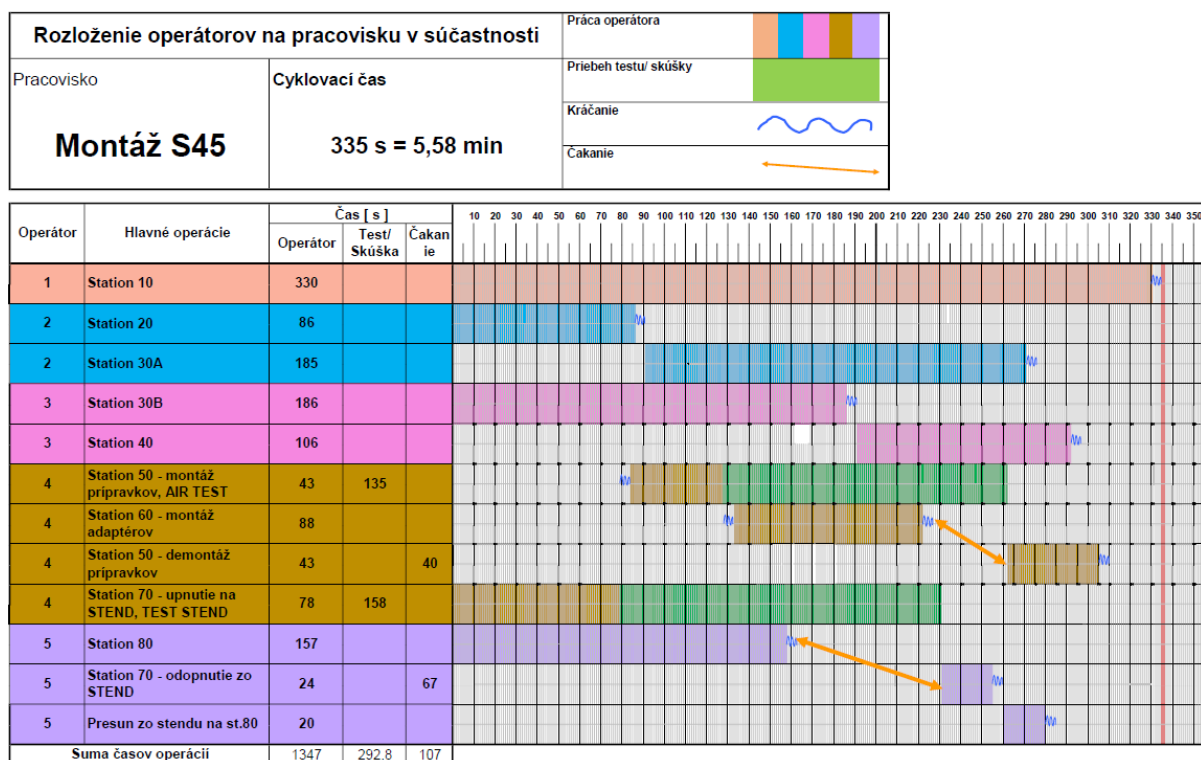
$$\text{Dostupný výrobný čas} = 480 - 30 - 10 - 10 - 10 = 420 \text{ min} \quad (1)$$

Tab 3) Výpočet cyklovacieho času a zmenového výkonu pre 5 operátorov [20]

Výkon linky pre 5 operátorov												
Variant XY		Vyt'aženie jednotlivých operátorov	Aktuálny čas operácií									
ks/zmena	Cyklovací čas		St.10	St.20	St.30A	B	St.40	St.50	St.60	St.70	St.80	ks/h
76,4	5,5	5,50	5,50					Test		Test		10
		4,53		1,44	3,09	0,00						
		4,86				3,10	1,76					
		4,19						0,71	2,25	0,71	1,47	
		3,03								2,63	0,00	
										0,41	2,62	

Tabuľka 3) slúži pre zistenie cyklovacieho času a denného výkonu, na základe meraní vykonaných v minulosti. Ako zástupcu pre moju prácu som si zvolila, taký variant čerpadla, ktorý má najvyšší denný výkon a teda to bude 1/3 zmenovej produkcie robotického pracoviska. Vo výsledných časoch operátorov nie sú zahrnuté doby trvania skúšok alebo doba vyhradená na presun po pracovisku. Podľa cyklovacieho času, čo je 5,5 minút, je určený hodinový výkon 10 ks/hod, pričom denný výkon je 76 ks, denný výkon sa vypočíta z pomeru dostupného výrobného času a maximálneho nameraného času z vytiaženia operátorov (rovnica 1).

Tab 4) Rozloženie operátorov na linke [20]



V tabuľke 4) je vizualizácia rozloženia operátorov na linke v čase (sekundy). V grafe sú zahrnuté časy presunov medzi stanicami (modrá vlnková čiara) a časy prestojov (oranžová).

Čas cyklu je 5,56 minút, ako môžeme vidieť na grafe ide o operáciu na stanici 10, kedy čas dokončenia je 329 sekúnd plus 5 sekúnd na presun operátora. Pričom skúšky spolu pri tejto variante čerpadla trvajú 293 sekúnd a čakanie na operáciu spolu trvá 107 sekúnd.

Na to, aby som v práci vedela ďalej určiť denný výkon pre montážnu linku po zavedení robotického pracoviska je nutné urobiť merania jednotlivých operácií, ktoré sa v čase robotického pracoviska nebudú vykonávať na montážnej linke - ide o komponenty inštalované v plánovanom robotickom pracovisku. Časy som merala priamo na pracovisku, jednu hodinu na Linke 1 a druhú hodinu na Linke 2. Po tom, čo boli časy pri rôznych operátoroch podobné, som meranie ukončila.

Meranie prebiehalo od doby zobrazenia pokynu na obrazovke až po dobu potvrdenia danej operácie. Meranie jednotlivých činností som vykonávala súhrnne za stanicu, vzhľadom na to, že jednotlivé operácie nasledujú výlučne po sebe. Namerané časy sú zobrazené v tabuľke 5).

Tab 5) Namerané časy riešených operácií [21]

P.č.	Stanica 10		Stanica 40	
	Kolík + klzné ložisko	vonkajší krúžok ložiska	Gufero	Poistný krúžok + lisovanie
	Čas [s]		Čas [s]	
1	38		26	
2	41		30	
3	36		25	
4	37		23	
5	31		24	
6	37		28	
7	35		27	
8	36		26	
9	42		23	
10	34		25	
11	37		25	
12	39		26	
13	32		22	
14	33		27	
15	36		24	
16	37		28	
Priemer	37		26	

Podľa priemerných hodnôt finálne ušetrenie času na stanici 10 je 37sekúnd a na stanici 40 je to 26 sekúnd. Ďalej, pre výpočty denného výkonu, budem pracovať s časom 40 sekúnd a 30 sekúnd z dôvodu zvýšenia výkonu pre robotické pracovisko a možnými budúcimi zvýšeniami produktivity na montáži.

Výpočet zmenového výkonu montážnych liniek s uvažovaním RP

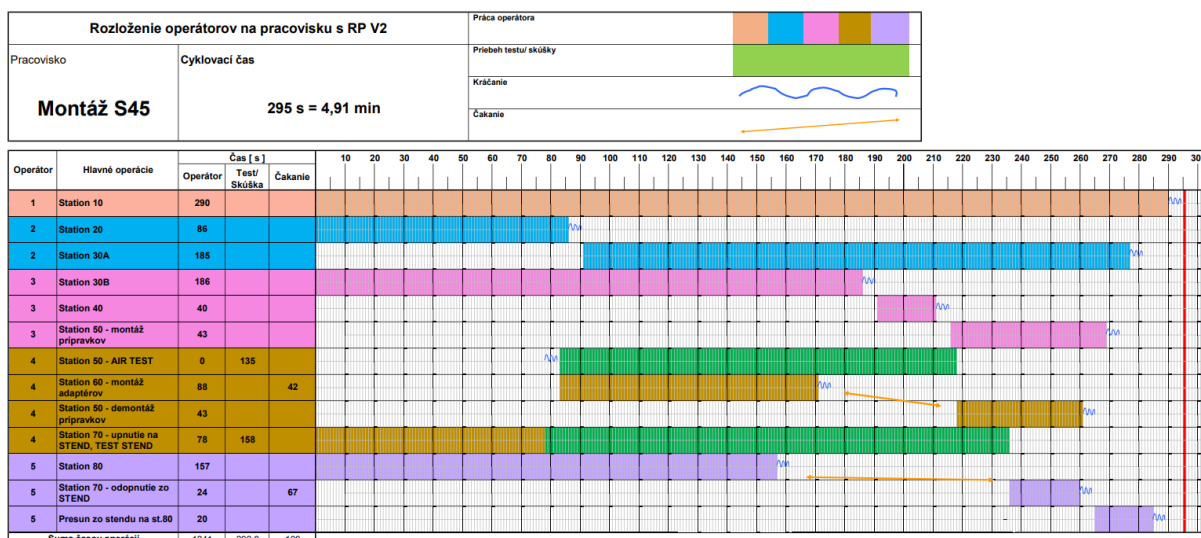
Namerané hodnoty časov jednotlivých operácií sú zahrnuté do tabuľky 6). Pričom sa zmenilo rozloženie operátorov.

Tab 6) Výpočet času cyklu a zmenového výkonu pre 5 operátorov s použitím predpripravených skriň z RP. [21]

Výkon linky pre 5 operátorov													
Variant XY_RP_2		Vyt'azenie jednotlivých operátorov	Čas operácií s robotickým pracoviskom										
ks/zmena	Cyklovací čas	5 operátori	St.10	St.20	St.30A	B	St.40	St.50	St.60	St.70	St.80	ks/h	
								Test		Test			
87,0	4,8	4,83	4,83										12
		4,53		1,44	3,09	0,00							
		4,48				3,10	0,67	0,71					
		3,48						2,25	0,71	1,47	1,30		
		3,03								2,63	0,00	0,41	

V tabuľke 6) po znížení časov na stanici 10 a 40 je vidieť výrazne zníženie vytáženía operátorov 1 a 3 v porovnaní s tabuľkou 3). Hodinový výkon sa zvýšil o 2 ks a denný zmenový výkon sa zvýšil o 11 ks.

Tab 7) Rozloženie operátorov na linke s použitím pred pripravených skriň z RP [21]



Ako som už spomínala, časy v tabuľke 7) sú udávané ako časy čistej práce na stanici a 87 ks na zmenu, je výkon bez uvažovania pohybu operátora na stanici. Výpočet reálneho zmenového výkonu je v rovnici (2) v ktorej čas 4,91 minút som zobrala z tabuľky 7).

$$\text{Reálny zmenový výkon linky} = \frac{420}{4,91} = 85,5 \text{ ks/zmena} \quad (2)$$

Potrebný takt robotického pracoviska

V robotickom pracovisku (RP) budem uvažovať s výkonom 87ks/zmena/linka z toho dôvodu, že technologovia neustále vytvárajú nové spôsoby montáže a je plánované každoročné zvyšovanie výkonu. Teda s uvažovaním trojzmennej prevádzky a troch liniek s rovnakým výkonom, je nutné nastavenie výkonu RP určiť tak, aby pokryl potrebu celej zmenovej montáže.

Pri maximálnom výkone všetkých montážnych liniek 87 ks/zmena/linka je spoločný výkon:

$$3 * 87 = 261 \text{ ks/zmena} \quad (3)$$

Teda môžeme určiť takt na predmontáž jednej skrine, kedy hodinový výkon montážnej linky je 32,6 ks/hod:

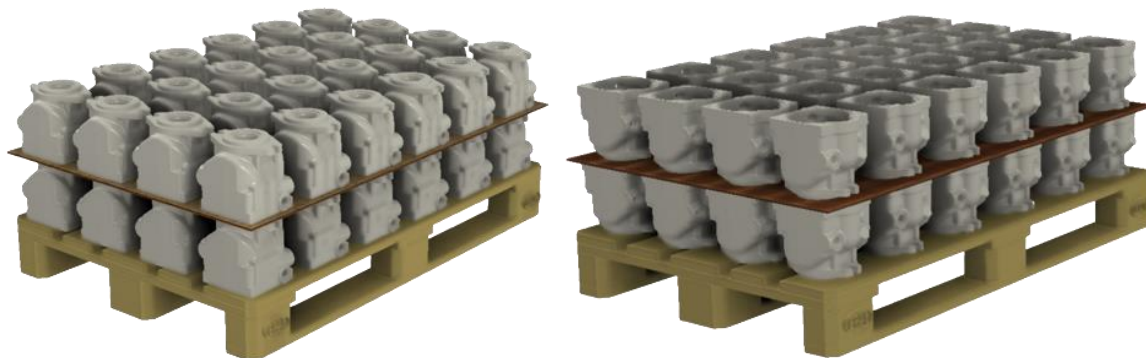
$$\frac{60}{32,6} = 1,84 \cdot \text{min} = 110\text{s} \quad (4)$$

Podľa rovnice (4) je potrebný takt robotického pracoviska 110 sekúnd. Dosiahnutie vypočítaného taktu pre RP a čas montáže, overím vytvorenou simuláciou.

5 AUTOMATIZÁCIA MONTÁŽNEJ LINKY

5.1 Návrh rozloženia robotickej bunky

Bunka bude zložená z dopravníkového systému na ktorom budú umiestnené palety so skriňami čerpadiel ako vstupný a výstupný materiál z bunky (Obr. 26). Bunka by mala obsahovať lisovaciu stanicu na ktorej bude prebiehať lisovanie jednotlivých komponentov, dopravníky pre jednotlivé diely a manipulácia dielov by mala byť zabezpečená robotom alebo viacerými robotmi.



Obr. 26) Vľavo - paleta so vstupnou jednotkou, vpravo - paleta s výstupnou jednotkou
[21]

Jedným z prvých krokov zhotovenia robotickej bunky je vytvorenie niekoľkých návrhov pracoviska, na ktorých bude zobrazené približné rozmiestnenie jednotlivých zariadení. Pri vytváraní robotickej bunky je nutné zvažovať všetky podmienky spomenuté v kap. 5.1. a predovšetkým rozličné veľkosti a tvary jednotlivých komponentov, ktoré sú spomenuté v kap. 5.2. Hrubé návrhy približného rozmiestnenia pracovísk boli vytvorené v programe AutoCAD a upravené v online softvéri Draw.io.

Ďalej je nutné zostaviť prvotný postup montáže jednotlivých komponentov na robotickom pracovisku. Pri zostavovaní jednotlivých krokov som sa riadila podľa postupu na montážnej linke. Návrh postupu montáže je zobrazený v tabuľke 8).

Tab 8) Postup jednotlivých krokov na pracovisku [20]

Operácia	Popis
Príprava materiálu	Skladovanie podľa zvoleného návrhu
	Spustenie pracovného príkazu operátorom
Príprava skrine	Premiestniť jednotku nad polohu skrine v palete
	skenovanie DMC - verifikácia správnej skrine
	presun skrine na pracovisko
Montáž klzných ložísk	podľa PP/BOM vybrať správne ID klzného ložiska zo zásobníku
	variant 1.: vinutý kolík :
	-vložiť kolík do ložiska
	-vložiť zostavu ložisko + kolík do lisovacieho prípravku
	variant 2.: hliníkový kolík premontovaný v klznom ložisku:
	-vložiť zostavu ložisko + kolík do lisovacieho prípravku
Montáž gufera a poistného krúžku	podľa PP/BOM vybrať správne ID gufera
	podľa pracovného príkazu vybrať správne ID poistného krúžku
	zalisovať gufero - presná hĺbka
	nainštalovať poistný krúžok do drážky
Montáž gufera dual	podľa príkazu vybrať správne ID gufera (dual)
	zalisovať gufero - presná hĺbka
	podľa príkazu vybrať správne ID vonkajšieho ložiskového krúžku
	inštalovať vonkajší ložiskový krúžok do skrine na doraz
Označenie podskupiny	vytlačiť štítok pre danú predmontovanú zostavu (dáta vo formáte: ID skriňa, ID kolík, ID klzné ložisko,...)
	nalepiť/označiť štítkom predmontovanú zostavu
Presun do palety	uložiť predmontovanú zostavu do palety

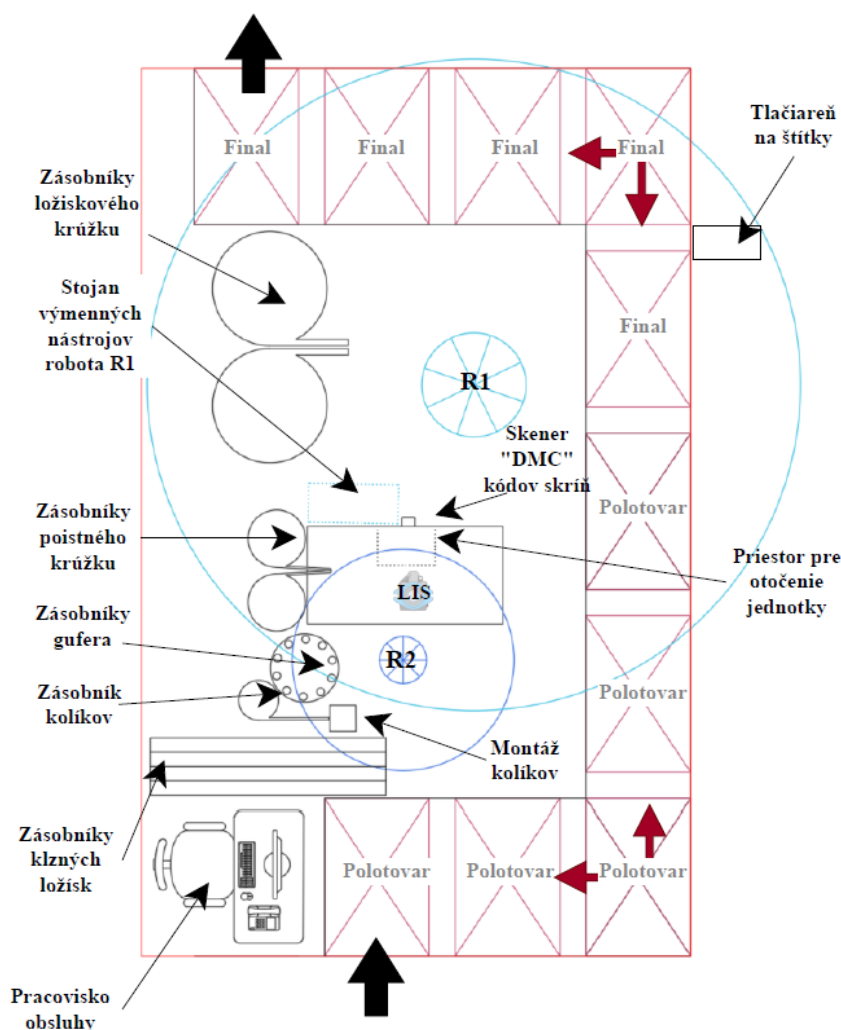
5.2 Variant 1

Prvý návrh je zo všetkých najjednoduchší, skladá z dvoch robotov (R1, R2), jedného lisu, automatického paletového dopravníku a zásobníkov. (Obr. 27)

Pracovná oblasť robota R1 je vybavená stojanom na výmenu nástrojov-efektorov. Celkovo obsahuje 3 hlavy, pričom prvou (dvojprstou) presunie jednotku z palety „polotovár“ do lisu - pred vložení do lisu naskenuje jednotku pre kontrolu správnosti typu. Po dolisovaní jednotku presunie na stôl, ktorý je umiestnený pred lisom, na ktorom otočí jednotku o 180° okolo osy Y. Po otočení jednotky ju presunie do palety „final“, vymení si uchopovač a zo zásobníka inštaluje vonkajší krúžok ložiska do jednotky a označí jednotku prislúchajúcim štítkom. Tretiu výmennú hlavu s prísavkami využíva robot na presun prekladov medzi jednotlivými vrstvami na palete. Táto činnosť nastáva vždy po 24 ks, čo je množstvo jednotiek na vrstvu.

R2 slúži na manipuláciu a vkladanie jednotlivých dielov do lisu (gufero, klzné ložisko s kolíkom).

Automatický paletový sklad obklopuje RP z troch strán, kedy na jednej strane operátor vkladá palety z polotovarov a na druhej vykladá pred pripravené jednotky a presúva paletu na montáž. Pracovisko pre operátora RP je vyhradené na začiatku pracoviska pred priestorom na vkladanie palet.



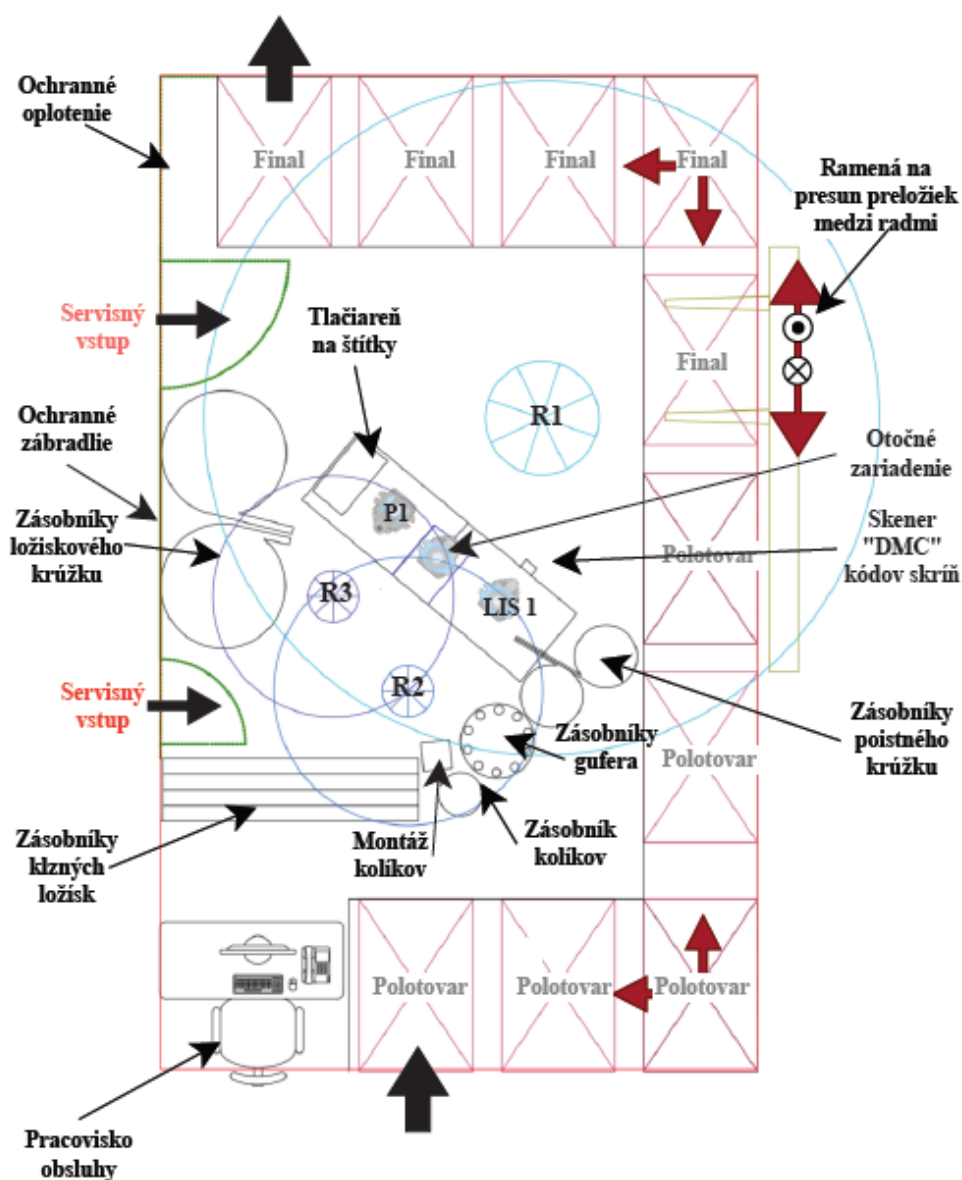
Obr. 27) Layout prvého návrhu [21]

5.3 Variant 2

Druhý návrh je rozložením obdobný prvému, kedy pozostáva z automatizovaného paletového dopravníka s desiatimi paleta-miestami. Návrh je oproti prvému rozšírený a skladá sa z troch robotov a pracovnej bunky, ktorá sa skladá z lisu (L1), otočnej stanice a pracoviska (P1). (Obr. 28)

Samotná inštalácia komponentov pozostáva z vloženia jednotky pomocou R1 do Lisu 1 na dopravník, kde R2 vloží do Lis 1 všetky komponenty a spustí sa lisovanie klzných ložísk, gufera a poistného krúžku → dopravníkom presun pod otočné zariadenie, kde prebehne otočenie jednotky o 180° (plochou pre veľa smerom hore) → dopravenie na pracovisko 1 (P1), kde R3 vloží do jednotky vonkajší krúžok a z tlačiarne presunie označenie a vloží ho na jednotku → R1 presunie jednotku do palety „final“.

Pre splnenie požiadavky na dva rady jednotiek v palety je pracovisko vybavené ramenami na presun preložiek medzi radmi z palety „polotovár“ do palety „final“.



Obr. 28) Layout druhého návrhu [21]

5.4 Variant 3

V treťom návrhu pracoviska som uvažovala s tromi robotmi, dvomi plnohodnotnými lismi a s automatickým paletovým sklado, ktorý skladuje palety so skriňami. Lis 1 a Lis 2 slúžia na samostatné lisovanie skriň.(Obr. 29)

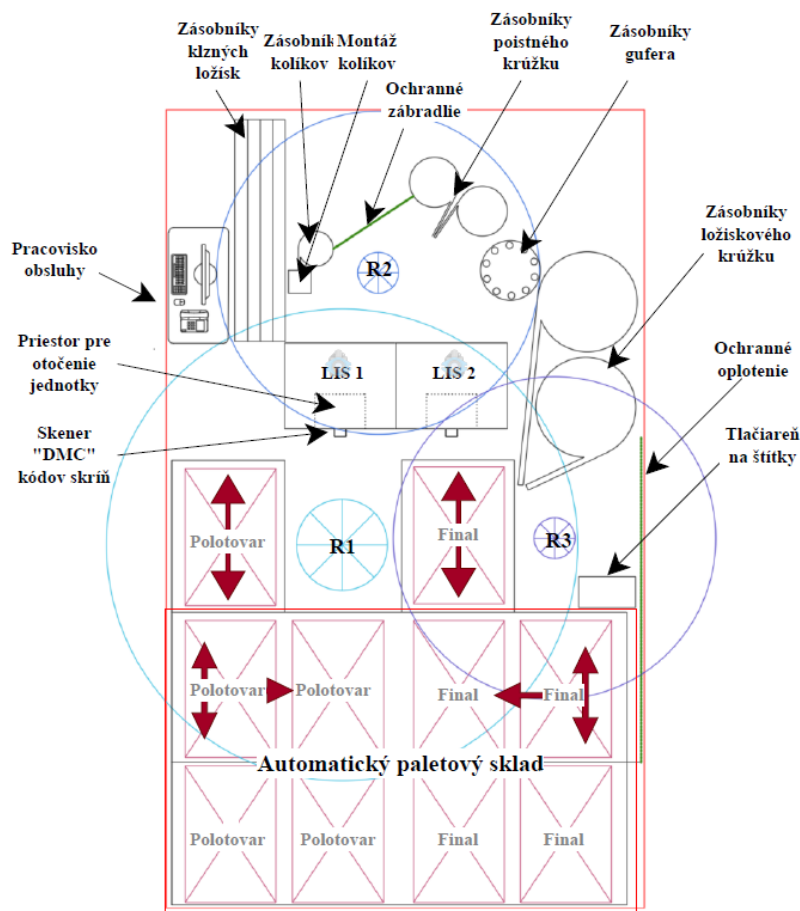
Činnosť prvého robota (R1), spočíva vo vyložení jednotky z palety, presun nad skener v lise a následne presun jednotky do prvého lisu, potom R1 zopakuje opäť výber skrine čerpadla a presunie ju do druhého lisu. Keď R1 dostane inštrukciu o dokončení lisovania, presunie jednotku z lisu na priestor pre otočenie jednotky a vloží ju do palety určenej na hotové diely (platí pre obidva lisy).

Druhý robot (R2) je určený na dopĺňanie lisu, to znamená že R2 zoberie zo zásobníku klzné ložisko a umiestni ho na montáž kolíkov, ložisko s kolíkom presunie do prípravku v lise (2x). R2 vyberie gufero a vloží ho na trn v lise, potom vyberie poistný krúžok a vloží ho do lisovacieho prípravku. Rovnaké činnosti zopakuje v druhom lise.

Tretí robot (R3) slúži na vizuálnu kontrolu prítomnosti všetkých dielov, na montáž vonkajšieho ložiskového krúžku a na značenie jednotiek pomocou štítkov z tlačiarne.

Výhodou tohto návrhu je samostatný výťahový automatický sklad a nie je potrebný regál na dočasné skladovanie palet, v prípade nedostatku ľudí na montáži. Teda v prípade 3 poschodí v sklade sa jedná o uskladnenie 8x3 palet.

Nevýhodou je nezahrnutie mechanizmu pre odoberanie a presúvanie preložiek na palety, teda bude možné pracovať s jedným radom skriň v paletе.



Obr. 29) Layout tretieho návrhu [21]

Na základe vyššie uvedeného postupu sú informácie spracované v tabuľke 9) a v tabuľke 10) zobrazené jednotlivé kritéria, na základe ktorých sa volil správny návrh.

Tab 9) Vyplnený formulár so zvolenými kritériami [21]

Váha významnosti	Poradie	Počet volieb	Porovnávané páry funkcií											
2,9	1	10,5	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1
			F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	
2,1	3	6,5	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	F2	
			F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12		
2	4	6	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F3		
			F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12			
1,8	6	5	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4			
			F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12				
1,6	7	4	F5	F5	F5	F5	F5	F5	F5					
			F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12					
1,3	9	2,5	F6	F6	F6	F6	F6	F6						
			F7	F8	F9	F10	F11	F12						
2,3	2	7,5	F7	F7	F7	F7	F7							
			F8	F9	F10	F11	F12							
1,9	5	5,5	F8	F8	F8	F8								
			F9	F10	F11	F12								
1,9	5	5,5	F9	F9	F9									
0,8			F10	F11	F12									
1,6	7	4	F10	F10										
0,8			F11	F12										
1,9	5	5,5	F11											
1,5	8	3,5	F12											
66			Celkom											

Tab 10) Zoznam kritérií a ich poradie [21]

Označenie kritéria	Popis kritéria	Finálne poradie kritérií
F1	Takt linky/ výrobnosť	1
F2	Dodržanie zastavanej plochy	3
F3	Skladové priestory	4
F4	Jednoduchý prístup operátorov	6
F5	Manipulovateľnosť v prostredí RP	7
F6	Počet operátorov	9
F7	Možnosť kontroly	2
F8	Riziko poruchy	5
F9	Nízka zriaďovacia cena	5
F10	Využitelnosť robotov	7
F11	Množstvo zariadení	5
F12	Počet robotov	8
Počet kritérií	Možnosti párov	
12	66	

Možnosti párov sa rovná súčtu počtu volieb, čo znamená správnosť vyhotovenia samotnej metódy porovnávania trojuholníku párov.

Nižšie v tabuľke 11) sú zobrazené všetky návrhy a splnenie jednotlivých kritérií. Splnenie kritérií som určovala podľa návrhov a layoutov.

Z každého kritéria boli volené tie návrhy, ktoré plnia kritérium - vyznačené polia. Pre výsledný výpočet bodov, bola využitá váha významností jednotlivých kritérií.

Tab 11) Vyhodnotenie variant [21]

Celkové porovnanie návrhov				
Označenie kritéria	Popis kritéria	Variant 1	Variant 2	Variant 3
F1	Takt linky/ výrobnosť (predpokladaná)	nižšia	vyššia	vyššia
F2	dodržanie zastavenej plochy	Áno	Áno	Áno
F3	Skladové priestory	10 palet miest	10 palet miest	24 palet miest
F4	Jednoduchý prístup operátorov	Veľmi dobrý	Výborný	Dobrý
F5	Manipulovateľnosť v prostredí RP	Nízka	Priemerná	Nízka
F6	Počet operátorov	TC + skladník	TC + skladník	TC + skladník
F7	Možnosť kontroly	Áno	Áno	Áno
F8	Riziko poruchy	Nízke	Stredné	Vysoké
F9	Nízka zriaďovacia cena	Nízka	Stredná	Vysoká
F10	Využitelnosť robotov	Dostatočná	Dostatočná	Dostatočná
F11	Množstvo zariadení	1	2	2
F12	Počet robotov	2	3	3
Σ získaných bodov		14,5	13,6	12,2

Výsledná hodnota je súčet váhy významnosti z daného zvoleného kritéria. Teda v prípade prvej varianty sa sčítala váha významnosti pre F2+F6+F8+F9+F10+F11+F12, po dosadení dostaneme:

$$2,1+1,3+2,3+1,9+1,9+1,6+1,9+1,5 = 14,5 \text{ bodov} \quad (6)$$

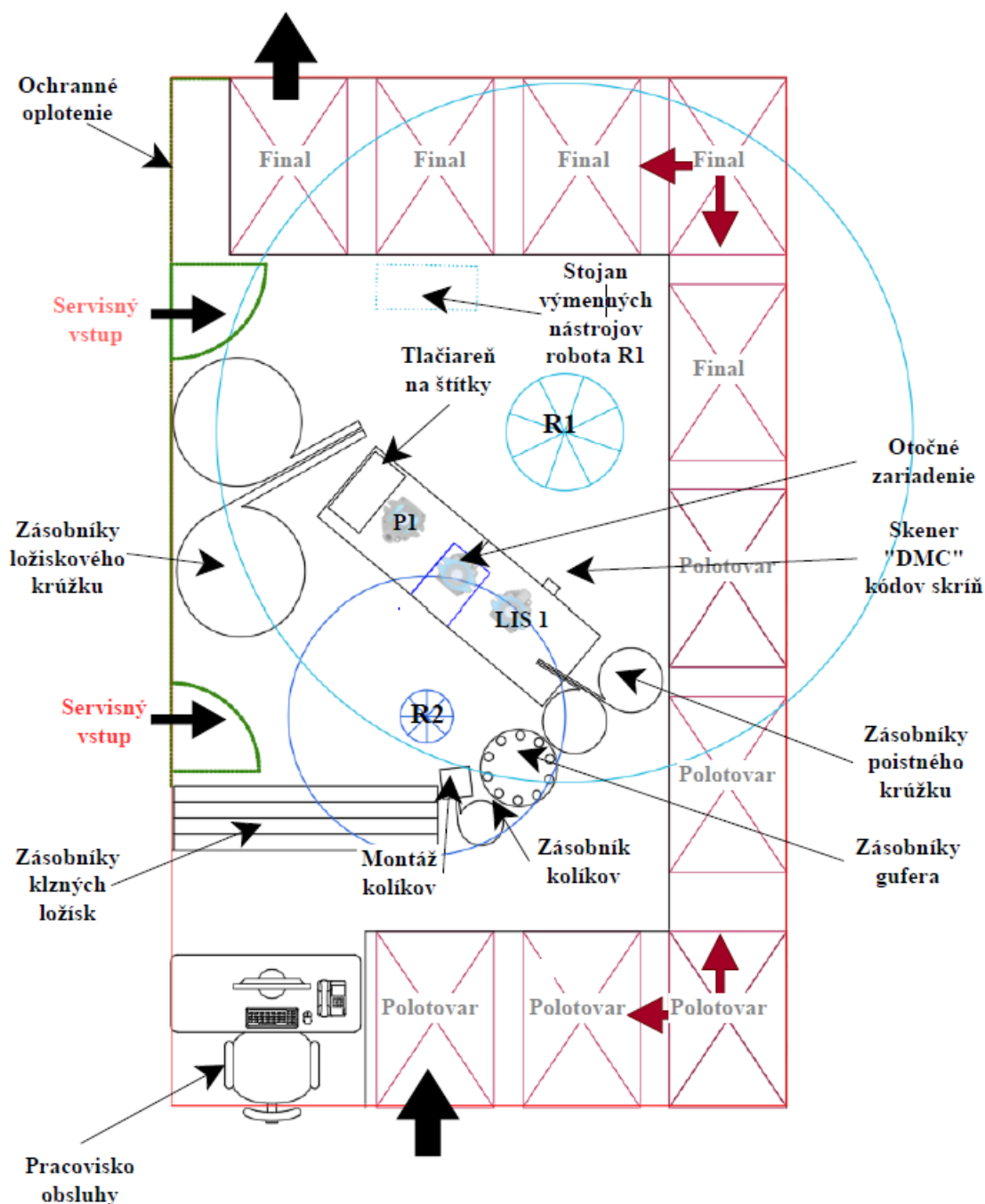
Podľa metódy trojuholníkov v páre, vyšiel ako najvhodnejší spôsob prevedenia robotického pracoviska variant 1. Dôvodom je množstvo zariadení a robotov, čo má vplyv na výslednú zriaďovaciu cenu a riziko poruchy.

Napriek tomu, že podľa metódy je víťaz variant 1, rozhodla som sa pre kombináciu variantu 1 a 2. Dôvodom je častá výmena hlavy R1, čo môže mať za následok zvýšenie výrobného taktu pracoviska.

Vo finálnom návrhu som sa rozhodla pre zachovanie pôdorysu a polohy lisu s otočným zariadením a pracoviskom P1 podľa varianty 2, pričom finálny návrh pozostáva z dvoch robotov, kde R1 využíva výmenné hlavy na manipuláciu so skriňou z/do palety, na inštaláciu vonkajšieho krúžku ložiska/nalepenie štítku na označenie podskupiny a tretia hlava by slúžila na presun prekladu medzi jednotlivými vrstvami v palete. Tento návrh môže tiež zvýšiť využitelnosť robota 1. R1 začína vložením skrine do lisu 1 a počas lisovania vymenenou hlavou, inštaluje vonkajší krúžok ložiska do skrine a následne R1 označí jednotku štítkom z

tlačiarne. Vymenením hlavy môže opäť presunúť jednotku do palety. R2 slúži na „napĺňanie“ lisu potrebnými dielmi a poistný krúžok sa vkladá automaticky do prípravku. Finálny návrh robotického pracoviska je zobrazený na obrázku 31).

Kombináciou dvoch návrhov došlo k zníženiu nákupnej ceny o jedného robota a predpokladané zvýšenie produktivity pracoviska.



Obr. 31) Finálny návrh pracoviska [21]

6 VOLBA KOMPONENTOV PRACOVISKA

Nasledujúce kapitoly slúžia na ukážku zvolených jednotlivých komponentov robotického pracoviska a približný postup tvorby simulácie.

6.1 Výber robotov

Voľbu robota ovplyvňuje niekoľko faktorov: maximálny dosah a zaťaženie, spôsob umiestnenia robota.

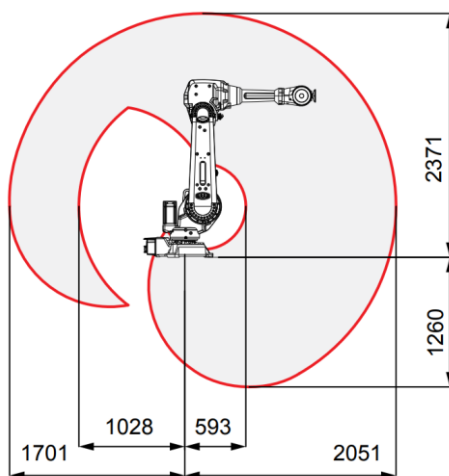
V návrhu robotického pracoviska (RP) sa využívajú dva roboty. Obidva roboty sú v rámci riešeného RP využívané na manipuláciu a montáž materiálu. Minimálna potrebná nosnosť R1 je 35,5kg - váha najťažšej skrine spolu s jednotlivými komponentami a hmotnosť koncového efektoru, potrebný dosah robota je 2,4 metra (dosah na všetky miesta v palete). Minimálna potrebná nosnosť R1 je 3 kg a jeho potrebný dosah je 0,95 metra, kvôli dosahu na všetky dopravníky s klzným ložiskom. Kvôli požiadavkám spoločnosti, sú použité roboty od spoločnosti ABB.

IRB 4600

Robot s označením IRB 4600 je priemyselný robot, určený na manipuláciu s objektami, obsluhu strojov, rezanie laserom a vodným lúčom, dávkovanie, aplikáciu merania, montáž a zvarovanie. Rada IRB 4600 sa vyrába v štyroch verziách, podľa požiadaviek na robota je zvolený IRB 4600 40/2.55. Obálka rozsahu ramien robota je zobrazená na obrázku 32. [24]

Tab 12) Špecifikácia IRB 4600 40/2.55 [24]

Počet osí	Dosah [m]	Nosnosť [kg]	Priemer príruby [mm]	E-Stop Maximálne zrýchlenie [m/s ²]	Kontrolovaný pohyb Maximálne zrýchlenie [m/s ²]	Typ kontroléru
6	2,55	40	125	77	49	IRC5



Obr. 32) Pracovný rozsah robota IRB 4600-40/2.55 [24]

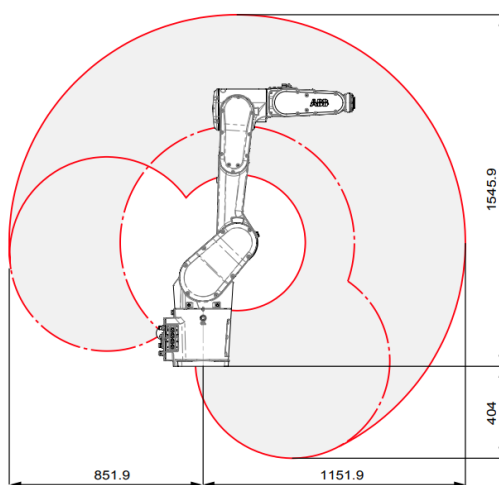
IRB 1300

ABB dodáva priemyselné roboty IRB 1300 v štyroch prevedeniach. Ide o jednu z najnovších generácií šesť-osích priemyselných robotov od tejto spoločnosti s užitočným zaťažením 7/10/11/12 kg. IRB 1300 má otvorenú konštrukciu, ktorá je priamo prispôsobená pre flexibilné použitie a môže široko komunikovať s externými systémami. [25]

Pre riešenie robotickej bunky je zvolený robot IRB 1300-10/1.15. Obálka rozsahu ramien robota je zobrazená na obrázku 33).

Tab 13) Špecifikácia IRB 1300-10/1.15 [25]

Počet osí	Dosah [m]	Nosnosť [kg]	Priemer príruby [mm]	E-Stop Maximálne zrýchlenie [m/s ²]	Kontrolovaný pohyb Maximálne zrýchlenie [m/s ²]	Typ kontroléru
6	115	10	50	68	50	OmniCore



Obr. 33) Pracovný rozsah IRB 1300-10/15 [25]

6.2 Koncové efekty

Koncové efekty robotov slúžia na zaistenie vykonania činnosti robota, ktorá mu je pridelená. Predovšetkým sa jedná o nasledujúce činnosti: [9]

- vkladanie a vykladanie objektov do pracovného priestoru výrobných zariadení,
- medzioperačné činnosti,
- technologické operácie,
- špeciálne práce.

Koncové efekty sa ďalej delia podľa spôsobu uchopenia na: [26]

- Mechanické – pracujú na princípe tlakovej sily a trenia. Čeluste uchopujú objekt pomocou sily alebo tvaru (využívajú sa vlastnosti gravitačnej sily).
 - Dvojčelustové – paralelné/uhlové
 - Centrické – tri a viac chápadiel
 - Adaptívne – prispôbuje sa tvaru a veľkosti manipulovaného objektu
 - Antropomorfné – inšpirované ľudskou rukou
 - Kolaboratívne – vyvinuté pre spoluprácu s človekom

- Vákuové – hlavice tvoria pružné deformačné prísavky, ktoré pridržávajú teleso vďaka podtlaku (vákua).

Pre viac účelovosť robota je možnosť automatickej výmeny koncového efektoru počas pracovného procesu.

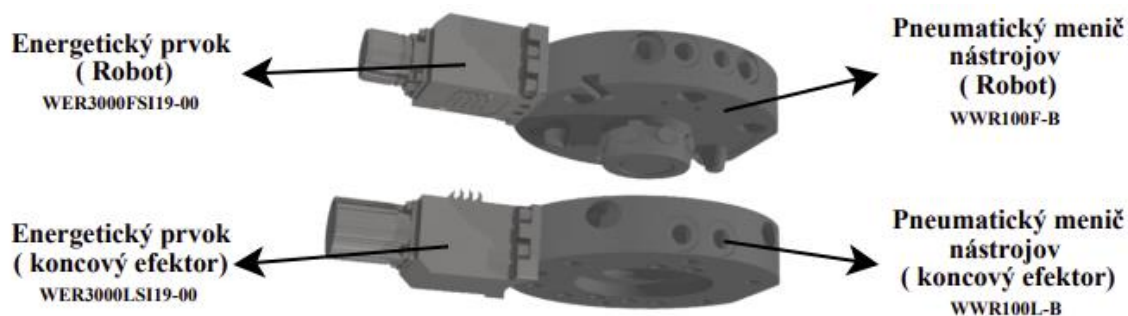
6.2.1 Koncové efekторы pre robota ABB IRB 4600

Úlohou prvého robota R1 je manipulácia so skriňou, vonkajším krúžkom ložiska, nálepkou pre označenie a prekladom medzi vrstvami (plast/kartón). Pri voľbe správneho koncového efektoru sa zohľadňujú faktory ako zatváracia sila a posuv na čelust'.

Výmena koncových efektorov pre robota IRB 4600

Niektoré robotické pracoviská sú riešené tak, že je potrebné využívať jedného robota, ktorý vykonáva rôzne manipulácie s predmetmi. V takýchto prípadoch sa využíva automatická výmena pracovných efektorov. Automatická výmena pracovných efektorov umožňuje robotom rýchlo reagovať na zmenu tvarov alebo rozmerov manipulovaných objektov. Systém automatickej výmeny je tvorený zo špeciálnej príruby určenej podľa typu robota. Koncové efekторы, ktoré nie sú v danom momente využívané, sú uložené v zásobníku. Koncové efekторы obsahujú proti kus vymeniteľnej príruby. [9]

Vzhľadom na to, že v navrhovanom pracovisku robot IRB 4600 pracuje s viacerými koncovými efektorami je robot vybavený automatickou výmenou koncových efektorov. Pre funkčnú automatickú výmenu sa musí zvoliť adaptér a energetické elementy pre pripojenie koncového efektoru k príрубе robota. Na výmenu koncových efektorov robota je zvolený pneumatický menič nástrojov od spoločnosti Zimmer. Podľa veľkosti príruby robota sú zvolené adaptéry WWR100F-B pre robota a WWR100L-B pre koncový efektor. Podľa typu adaptéra sú zvolené elektrické energetické meniče od spoločnosti Zimmer WER3000FSI19-00/ WER3000LSI19-00 na prenos prúdového signálu. (Obr. 34) [27]



Obr. 34) Výmena koncových efektorov [21] [27]

Manipulácia so skriňou

Pre manipuláciu so skriňami je vhodné použiť pneumatický 2-čelust'ový paralelný koncový efektor. Posuv na čelust' sa určí na základe rozmerov skrií, kde s uvažovaním všetkých typov je minimálny potrebný posuv na čelust' 14 mm. Podľa kombinácie materiálov ocel-liatina je hodnota koeficientu trenia hodnota 0,4. [28]

Požiadavky pre výpočet uchopovacej sily:

- Hmotnosť najťažšieho komponentu – $m = 12 \text{ kg}$;

- Zrýchlenie robota v stave E-stop – $a = 77 \text{ ms}^{-2}$;
- Súčiniteľ bezpečnosti – $S = 2$;
- Súčiniteľ trenia – $f = 0,4$.

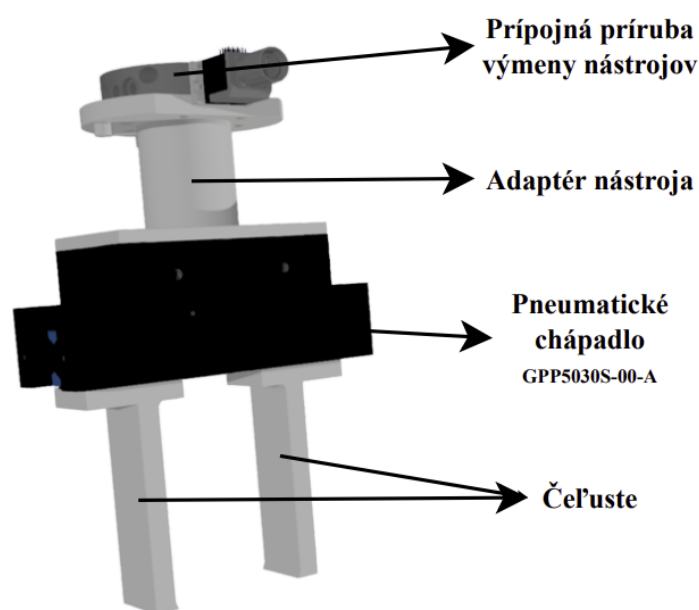
Výpočet uchopovacej sily v čase pohybu robota:

$$F_u = S \frac{m(g + a)}{f} \quad (7)$$

$$F_u = 2 \frac{12 \cdot (9,81 + 77)}{0,4}$$

$$F_u = 5208,6 \text{ N}$$

Na základe zistených parametrov je zvolené chápadlo od spoločnosti Zimmer zo série GPP5000, konkrétne typ GPP5030S-00-A, ktoré má maximálnu uchopovaciu silu 9600 N a posuv na čeľusť 17 mm, maximálna odporúčaná dĺžka čeľuste je 355 mm a jeho hmotnosť je 9,2 kg. Na chápadlo je upevnený adaptér, ktorý slúži aj ako držiak v stojane a na ňom je upevnená príruha zo zostavy výmeny efektorov. Celá zostava koncového efektoru pre manipuláciu so skriňami je zobrazená na obrázku 35). Podľa CAD softvéru je hodnota hmotnosti celého efektoru 24 kg. [27]



Obr. 35) Koncový efektor na manipuláciu so skriňou [21] [27]

Manipulácia s vonkajším krúžkom ložiska

Pre manipuláciu s vonkajšími krúžkami ložiskami je zvolený pneumatický 3-čelusťový paralelný koncový efektor, ktorý bude uchopovať a následne inštalovať krúžok ložiska do skrine čerpadla, pomocou uchytenia za vnútorný priemer. Posuv na čeľusť sa určí na základe rozmerov vnútorného priemeru ložiskového krúžku, kde s uvažovaním všetkých typov je minimálny potrebný posuv na čeľusť 7 mm. Hodnota koeficientu trenia podľa kombinácie materiálov hliník - oceľ je 0,4. [28]

Hmotnosť celej zostavy bola odhadnutá pomocou CAD softvéru na 23 kg.

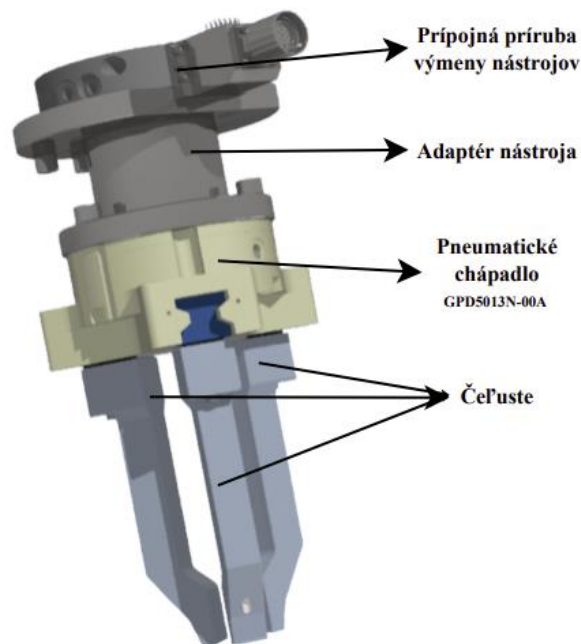
Požiadavky pre výpočet uchopovacej sily:

- Hmotnosť najťažšieho komponentu – $m = 0,5 \text{ kg}$;
- Zrýchlenie robota v stave E-stop – $a = 77 \text{ ms}^{-2}$;
- Súčiniteľ bezpečnosti – $S = 2$;
- Súčiniteľ trenia – $f = 0,61$.

Výpočet uchopovacej sily v čase pohybu robota:

$$F_u = S \frac{m(g + a)}{f} \quad (8)$$
$$F_u = 2 \frac{0,5 \cdot (9,81 + 77)}{0,61}$$
$$F_u = 142,3 \text{ N}$$

Na základe sily uchopenia a posuvu na čeľusť je zvolené pneumatické chápadlo Zimmer GPD5010N-00A so zdvihom na čeľusť 10 mm a uchopovacou silou otvorenia čeľustí 2290 N, maximálna odporúčaná dĺžka čeľuste je 160 mm a hmotnosť je 1,45 kg. Na chápadlo je upevnený adaptér, ktorý slúži aj ako držiak v stojane a na ňom je upevnená príruha zo zostavy výmeny efektorov. Koncový efektor je vyobrazený na obrázok 36. Hmotnosť celej zostavy bola odhadnutá pomocou CAD softvéru na 9,6 kg. [27]

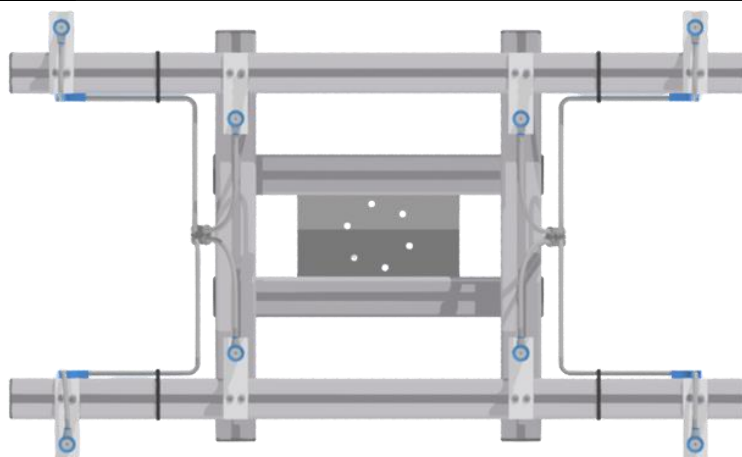


Obr. 36) Koncový efektor R1 na manipuláciu vonkajších krúžkov ložiska [21] [27]

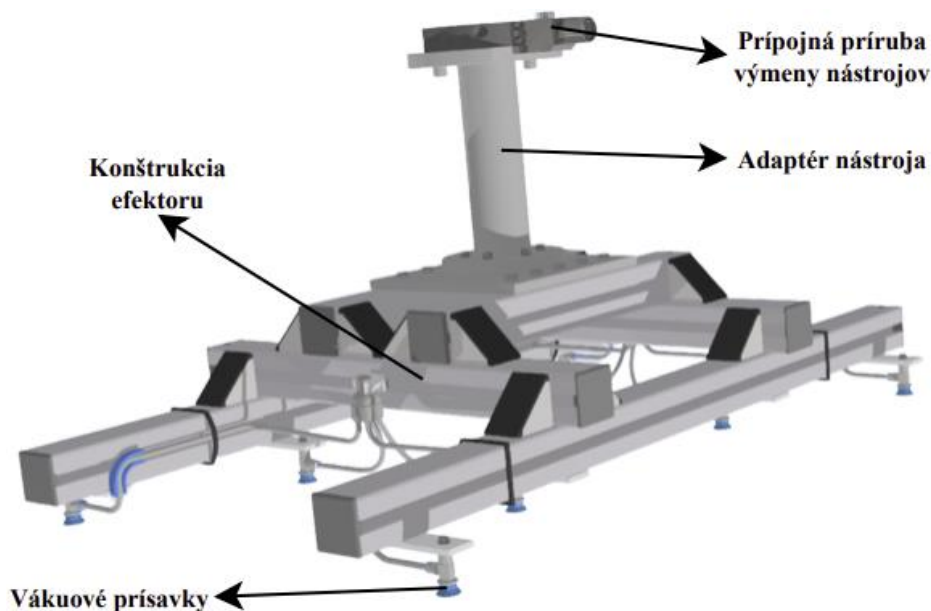
Manipulácia s prekladom medzi vrstvami na palete

Manipuláciu s prekladom najlepšie zabezpečí koncový efektor s vákuovými prísavkami. Základnú konštrukciu efektora tvoria hliníkové profily. Na profily sú upevnené držiaky prísaviek s ôsmimi prísavkami, kvôli veľkosti prekladu. (Obr. 37) [29]

Tak, ako predchádzajúce efektory je upnutý na adaptér a prírubu pre výmenu efektorov. (Obr. 38). Hmotnosť celej zostavy bola odhadnutá pomocou CAD softvéru na 21 kg.



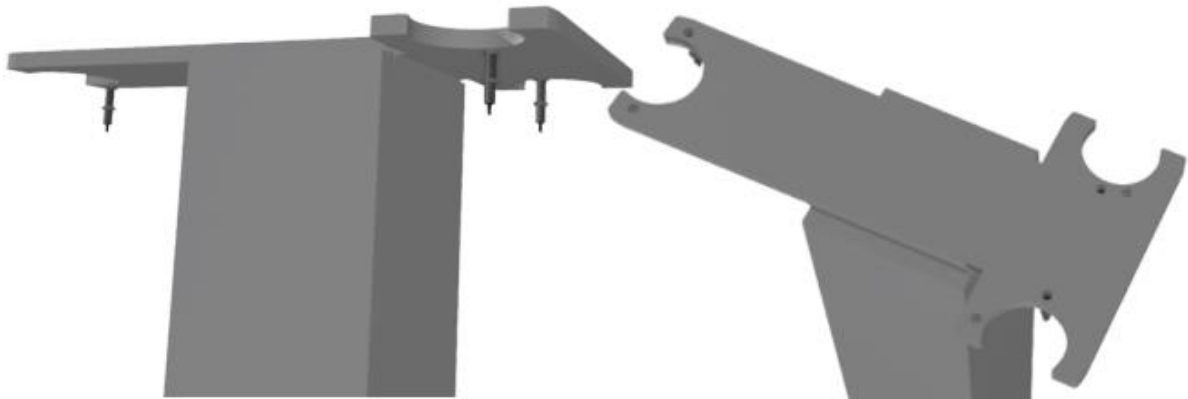
Obr. 37) Rozloženie prísaviek na efektore [21] [29]



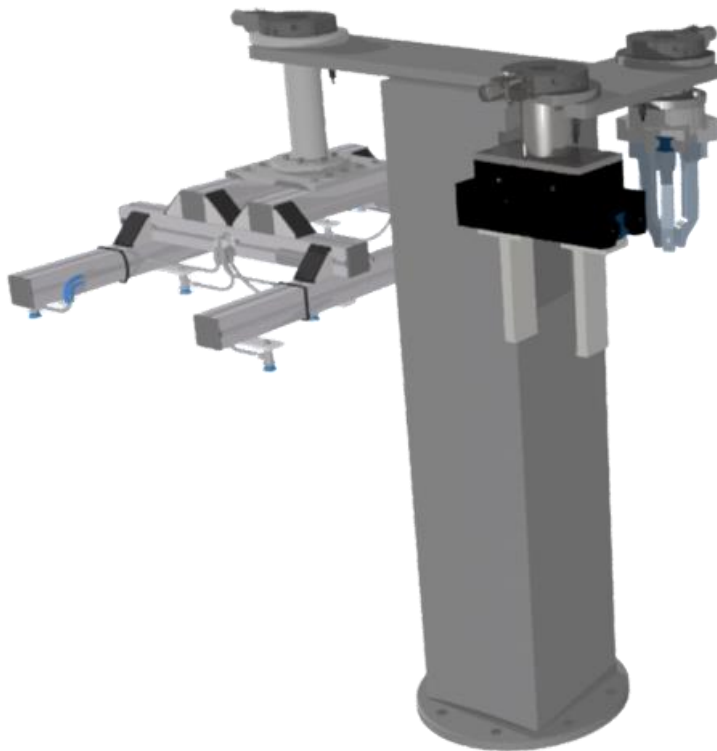
Obr. 38) Koncový efektor pre manipuláciu s prekladom [21] [29]

6.2.2 Stojan na koncové efekty pre robota IRB 4600

Robot IRB 4600, ktorý je určený na manipuláciu s prekladom, skriňou a vonkajším krúžkom, má tri koncové efekty, ktoré sú umiestnené v stojane. Na stojane sú vytvorené otvory pre kolíky adaptérov efektorov. Na to, aby sa zachovala správna pozícia efektora v stojane je pozícia drážok a kolíkov rozličná. Pre každý efektor je v stojane zo spodnej časti držiaku vložený indukčný snímač, ktorý slúži na to, aby detekoval prítomnosť daného efektora. Je zvolený indukčný snímač spoločnosti Festo -SIED-M12NB-ZO-K-L okrúhleho tvaru so spínacou vzdialenosťou 4mm a priemer snímaču je 12 mm. Zabudovaný snímač v stojane a poloha drážok pre kolíky je na obrázkoch 39 a 40. [30]



Obr. 39) Poloha snímačov a drážok v stojane efektorov [21]



Obr. 40) Stojan s koncovými efektormi [21]

6.2.3 Koncový efektor pre robota IRB 1300

Druhý robot R2 manipuluje s klznými ložiskami a guferom, ktoré vkladá do lisu pre nalisovanie daných komponentov. Opäť sa pri voľbe správneho efektoru berie v úvahu posuv na čelust' a jeho uchopovaná sila.

Kvôli tvaru a otvoru pre kolík je zložitá použiť chápadlo s prísavkami pre manipuláciu s klzným ložiskom. Pre spomenutý dôvod je pre manipuláciu obidvoch komponentov zvolený pneumatický dvojčelust'ový koncový efektor. Tvar čelustí chápadla je upravený tak, aby boli schopné uchopiť gufero ale aj klzné ložisko. S takýmto tvarom čelustí je dostačujúci potrebný posuv na čelust' 6 mm. Koeficient trenia podľa tabuliek medzi hliníkom a masným elastomerom, hliníkom a ocelou, z ktorých sú čeluste vyrobené z hliníka, elastomer je štandardný materiál pre guferá a ocel' pre ložiská. [31]

Požiadavky pre výpočet uchopovacej sily pre manipuláciu s guferom:

- Hmotnosť najťažšieho komponentu – $m = 0,2 \text{ kg}$;
- Zrýchlenie robota v stave E-stop – $a = 68 \text{ ms}^{-2}$;
- Súčiniteľ bezpečnosti – $S = 2$;
- Súčiniteľ trenia – $f = 0,63$.

Výpočet uchopovacej sily v čase pohybu robota:

$$F_u = S \frac{m(g + a)}{f} \quad (9)$$

$$F_u = 2 \frac{0,2 \cdot (9,81 + 68)}{0,63}$$

$$F_u = 49,5 \text{ N}$$

Požiadavky pre výpočet uchopovacej sily pre manipuláciu s klzným ložiskom:

- Hmotnosť najťažšieho komponentu – $m = 0,05 \text{ kg}$;
- Zrýchlenie robota v stave E-stop – $a = 68 \text{ ms}^{-2}$;
- Súčiniteľ bezpečnosti – $S = 2$;
- Súčiniteľ trenia – $f = 0,61$.

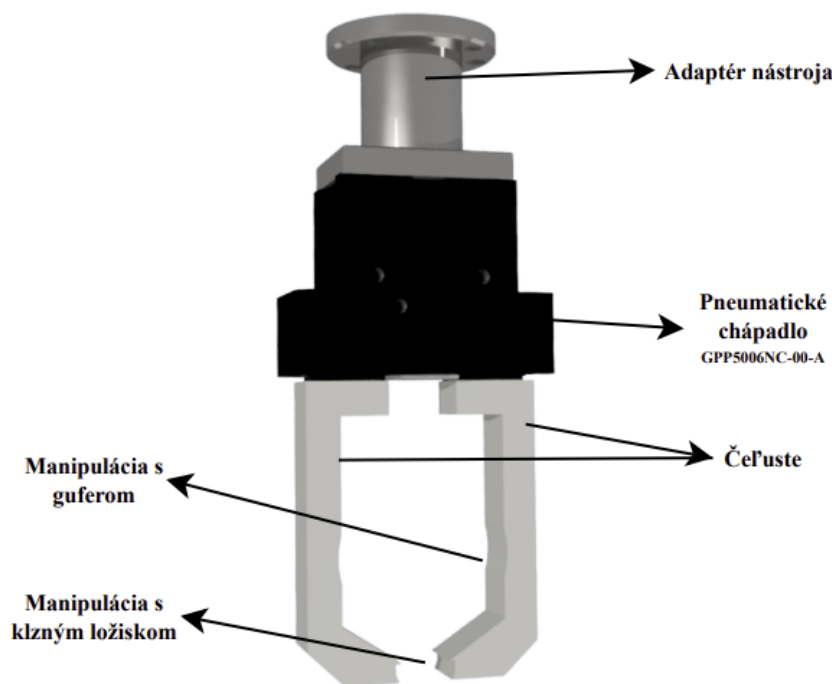
Výpočet uchopovacej sily v čase pohybu robota:

$$F_u = S \frac{m(g + a)}{f} \quad (10)$$

$$F_u = 2 \frac{0,05 \cdot (9,81 + 68)}{0,61}$$

$$F_u = 12,8 \text{ N}$$

Na základe sily uchopenia a posuvu na čeľuť je zvolené pneumatické chápadlo Zimmer GPD5006N-00-A so zdvihom na čeľuť 6 mm a uchopovacou silou otvorenia čeľustí 330 N, maximálna odporúčaná dĺžka čeľuste je 100mm a jeho samotná hmotnosť je 0,28 kg. Na chápadle je upevnený adaptér. Koncový efektor je vyobrazený na obrázku 41. Hmotnosť celej zostavy bola odhadnutá pomocou CAD softvéru na 0,9 kg.



Obr. 41) Koncový efektor pre manipuláciu s guferom a klzným ložiskom [21]

6.3 Dopravníky

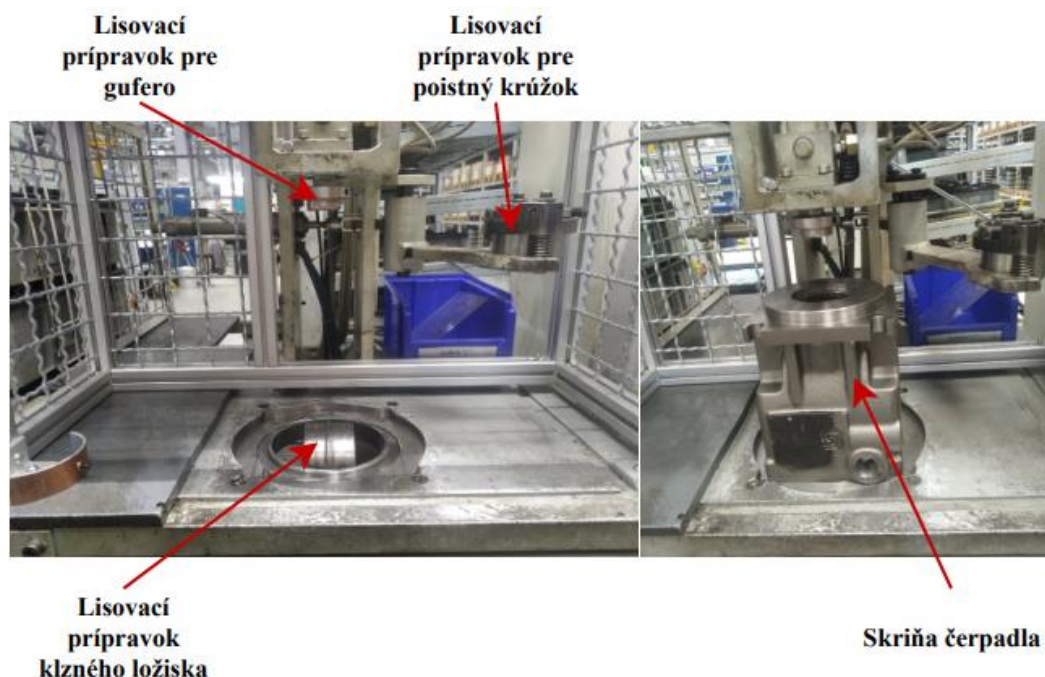
V navrhnutej variante je vytvorený paletový dopravníkový systém, ktorý pracuje v dvoch osách X a Y. V ose X sú euro palety umiestnené kratšou stranou v smere dopravníka. Vo vstupnej časti dopravníka je vyhradené jedno miesto pre vstup materiálu. Hmotnosť jednej palety so 60 skriňami je 800kg (20 kg euro paleta; $13\text{kg} \cdot 60 \text{ ks} = 780\text{kg}$). Dopravníky obsahujú senzory prítomnosti palety a automatický posuv paliet. Pre simuláciu je zvolený model jednoduchého valčekového dopravníka.

6.4 Lisovacie zariadenie

Princíp lisovacieho zariadenia je prevzatý z ručnej montáže. Ide o časť montáže, ktorá je predchodca montážnej linky.

Plnenie lisu komponentami bolo ručné, kedy operátor vloží všetky diely do lisu na danú pozíciu. Pozície v lise sú označené na obrázku 42. Na obrázku 43 sú znázornené polohy lisu počas lisovania. Po spustení lisu sa ako prvá spustí hlava s nasadeným guferom, po nalisovaní sa zdvihne a presunie na pozíciu prípravok s poistným krúžkom, ktorý sa zalisuje na polohu. Následne sa hlava opäť zdvihne a prípravok sa presunie do základnej pozície. Na to, aby nedošlo ku zdvihu skrine počas lisovania klzných ložísk sa lisovacia hlava na gufero opäť spustí a pridrží skriňu na pozícii. Klzné ložiská sa lisujú do skrine po jednom.

Vzhľadom na to, že k lisovaciemu zariadeniu nie je dokumentácia v simulácii nahradím zariadenie jednoduchým montážnym stolom s dodržaním času lisovania. Čas sa meral od doby spustenia lisovania po dobu ustálenia všetkých základných polôh zariadenia, táto doba je 30 sekúnd.

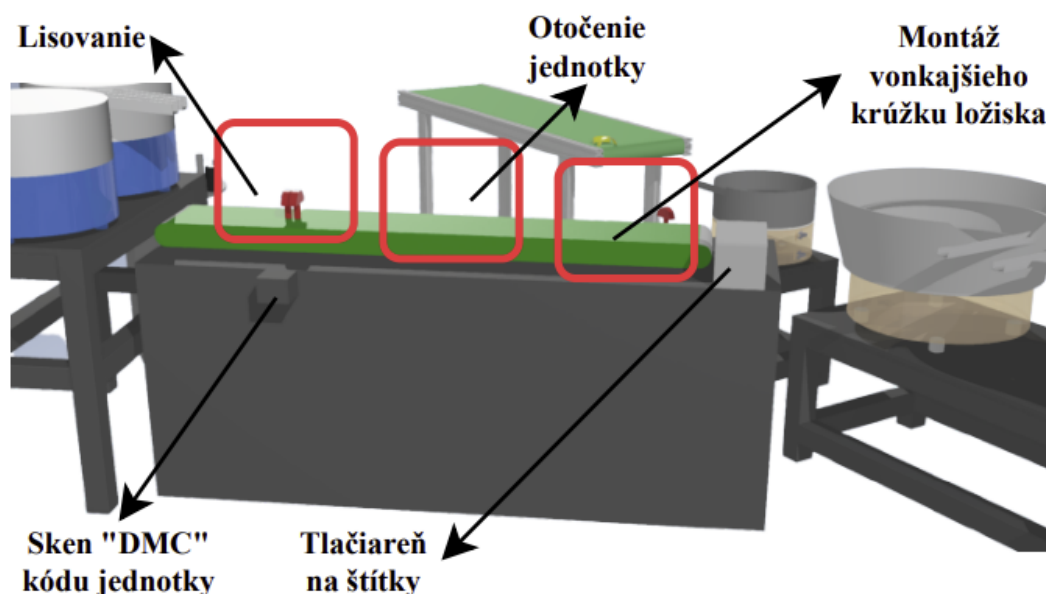


Obr. 42) Popis časti lisu [21]



Obr. 43) Zľava – prípravok na lisovanie poistného krúžku v pracovnej pozícii; Sprava – pozícia pre lisovanie klzných ložísk [21]

Lisovacie zariadenie bude umiestnené na stole, ktorý bude obsahovať dopravník na presun skrine na ďalšie pracovisko, kde v strede bude umiestnený mechanizmus na otočenie jednotky pre možnosť vloženia vonkajšieho krúžku ložiska do skrine pomocou robota IRB 4600. Rozmery tohto pracoviska sú 200x600x800 (D x Š x V). Pred vložením jednotky do lisovacieho zariadenia, robot zastane na určenej pozícii, kde skener zosníma „DMC“ kód skrine. Poistný krúžok je umiestnený v zásobníkoch po ľavej strane pracoviska a lis plní automaticky prostredníctvom vkladania dielov priamo do prípravku lisu. Po ukončení prípravy skrine robot R1 (IRB 4600) presunie jednotku na úroveň tlačiarne na štítky, kde pomocou jazýčka upevneného na tlačiarňi označí jednotku požadovaným štítkom. Model, ktorý je použitý v simulácii s vyznačeným priestorom pre jednotlivé činnosti je na obrázku 44.



Obr. 44) Hlavné pracovisko bunky [21]

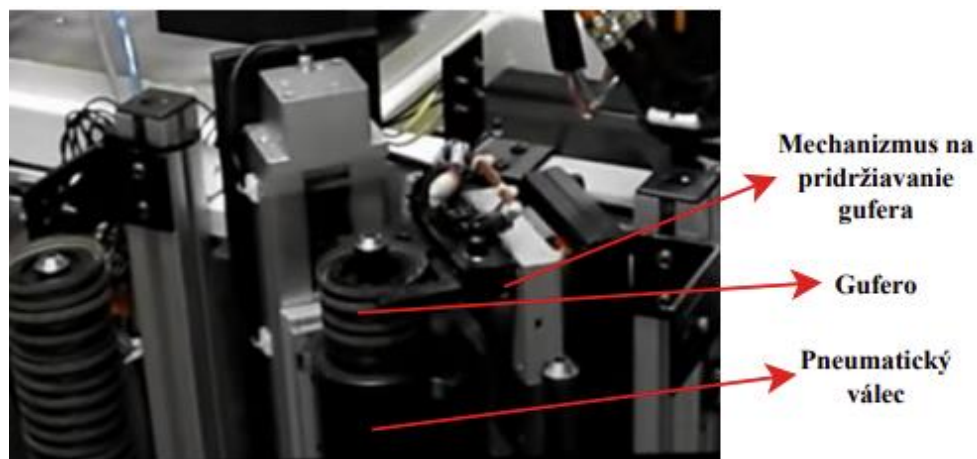
6.5 Zásobníky

Vibračné kruhové zásobníky patria medzi zariadenia, ktoré zaisťujú presnú orientáciu a podávanie jednotlivých dielov do zjednotenej polohy. Zásobníky sú zvyčajne vybavené elektromagnetickým pohonom, ktorý umožňuje plynulú reguláciu dopravy dielov v celom pracovnom rozsahu, taktiež aj okamžité spustenie alebo zastavenie.

Vibračný zásobník pozostáva z nádoby valcového, kužeľového alebo stupňovitého tvaru. Celé zostavy dopravníkov sú pružne uložené a rezonančne naladené. Pohony a nádoby sa vyrábajú v ľavom alebo pravom prevedení.

Voľba druhu nádoby, veľkosť, použitý materiál a prevedenie nádoby je závislé na tvare podávaného dielu, jeho materiáli a požadovanej orientácii. Ďalej voľba nádoby závisí na počte kusov uložených v zásobníku. [32]

V navrhovanom pracovisku je využitých niekoľko dopravníkov. Vibračné kruhové a kužeľové zásobníky sa využívajú na presun poistných krúžkov, vonkajších krúžkov ložiska a kolíkov do klzného ložiska. Štyri samostatné pásové dopravníky sa využívajú na presun klzných ložísk, ktoré na konci obsahujú otočný mechanizmus na zmenu polohy klzných ložísk. Kvôli obsahu mazacej emulzie sú guferá umiestnené v kruhovom otočnom zásobníku, ktorý obsahuje 10 pneumatických valcov, ktoré postupne vytlačujú gufero do pozície odobratia, aby sa zamedzilo vzájomnému nalepeniu gufier. Pri kruhovom disku je umiestnený mechanizmus na pridržiavanie gufera, ktoré je druhé v poradí. Princíp zásobníku gufera je zobrazený na obrázku 45. Pre účel simulácie sú opäť použité jednoduché modely.

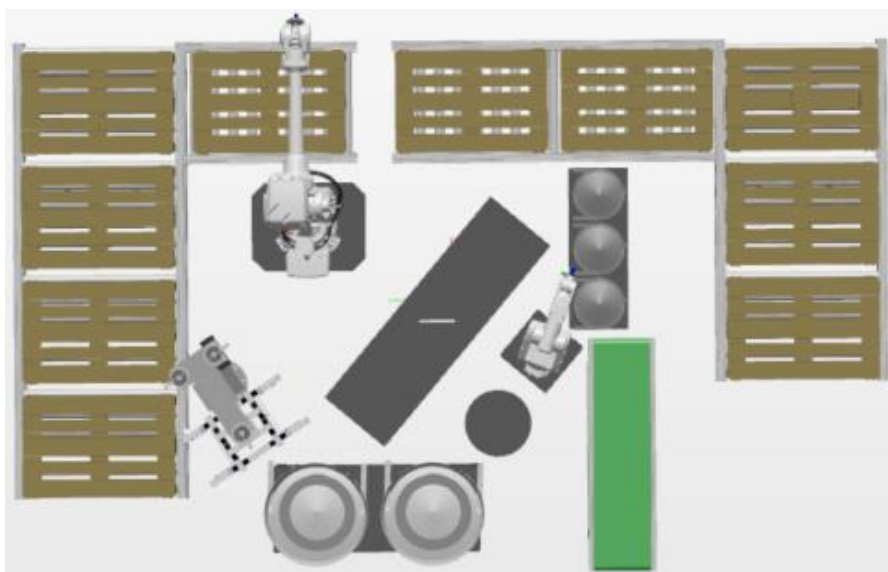


Obr. 45) Zásobník pre guferá [33]

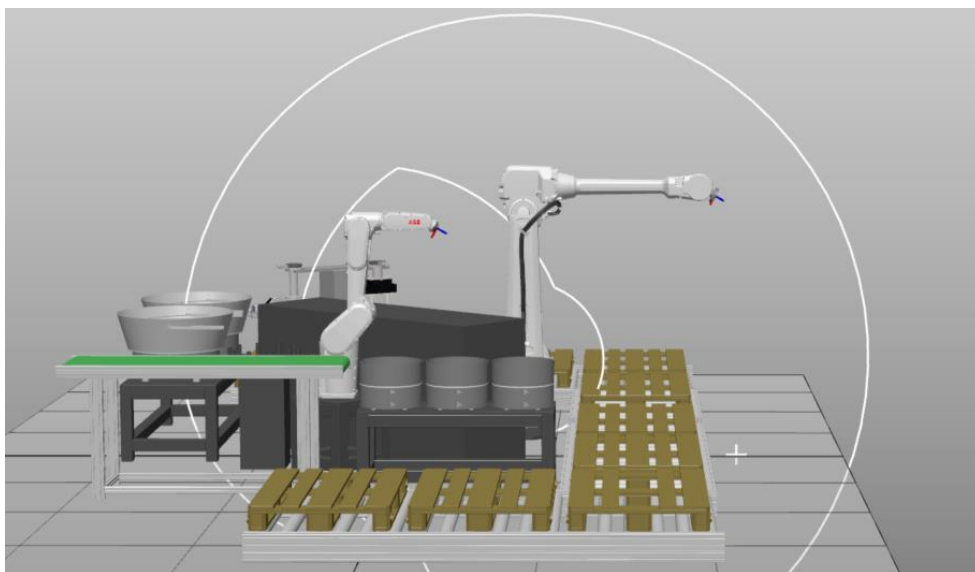
6.6 Konečný model pracoviska

Na základe zvoleného variantu z kapitoly 5.5 bol spracovaný model pracoviska v CAD softvéri a následne skontrolovaný dosah robotov v RobotStudio, ďalej len RS. (Obr. 46)

Kontrola dosahu pre robota IRB 1300 aj napriek stiesneným podmienkam je v každej časti simulácie dostačujúca. Robot IRB 4600 kvôli stiesneným podmienkam, nie je schopný dosiahnuť na krajné jednotky v palete pri dodržaní rozmerov pracoviska. Druhý problém pri spomínanom variante nastáva pri výmene koncových efektorov, kedy pri výbere dochádza ku kolíziám s ostatnými predmetmi. (Obr. 47)

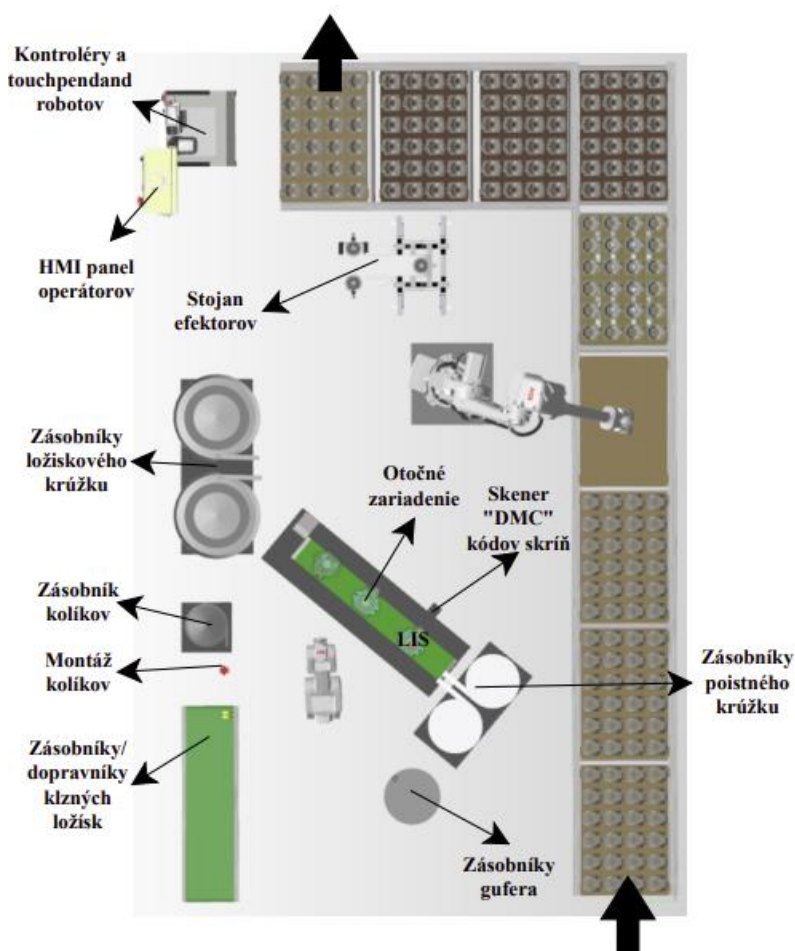


Obr. 46) Layout pracoviska v RS [21]



Obr. 47) Dosah IRB 4600 [21]

Po konzultácii so zákazníkom a upovedomenia ho o nedostatku priestoru na pracovisku, došlo ku zväčšeniu pracovného priestoru a tým k zmene layoutu. Po úprave layoutu sú rozmery pracoviska z pôvodných rozmerov 7x4,2 m zväčšené na 7,65x4,5 m. Layout pracoviska po úprave je zobrazený na obrázku 48.



Obr. 48) Upravený layout pracoviska

7 BEZPEČNOST PRACOVISKA

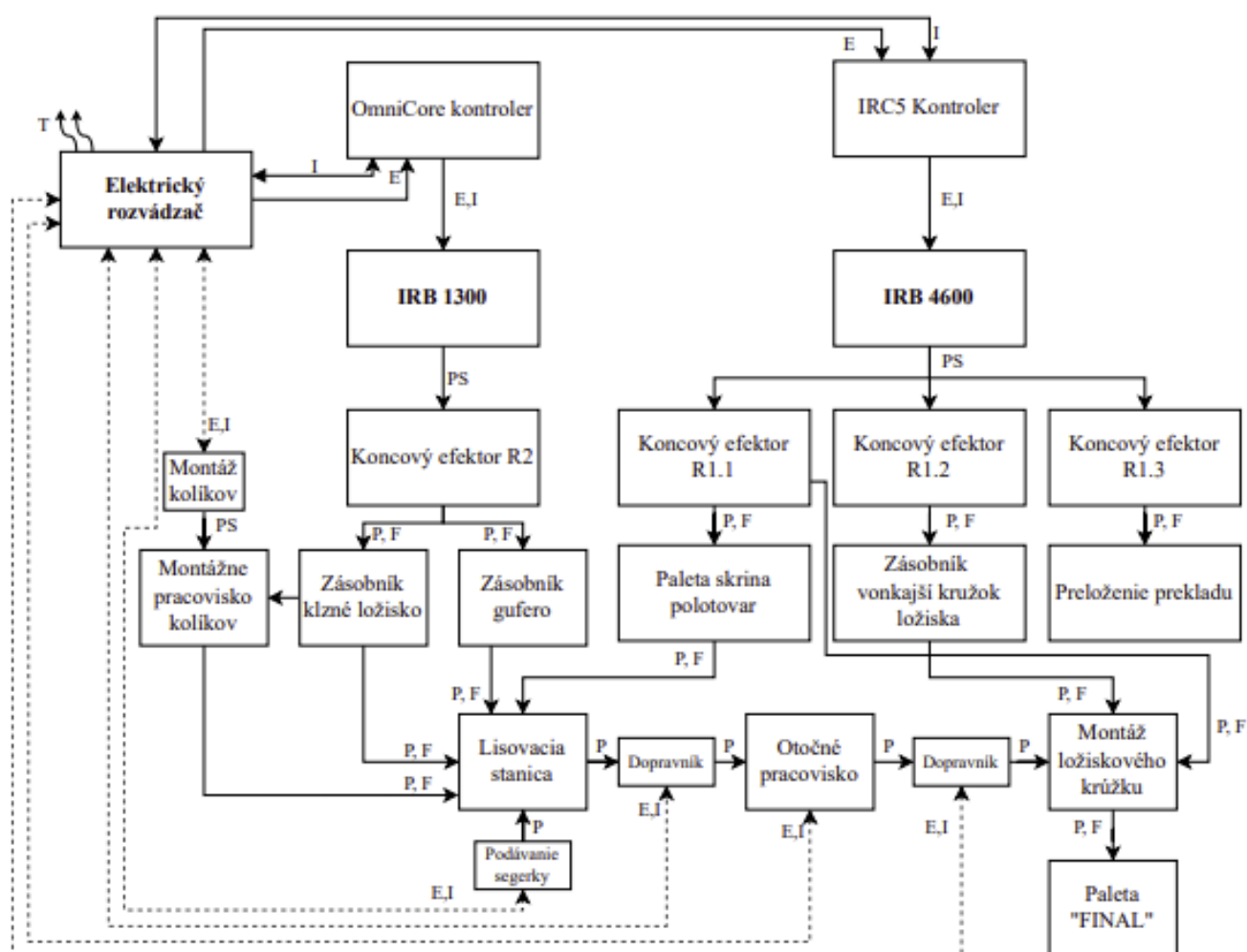
Tak ako bolo už spomenuté v kapitole 2.3 o bezpečnostných zariadeniach, bezpečnosť je neoddeliteľnou súčasťou každého výrobného či montážneho pracoviska. Ide o prvky pracoviska, ktoré majú zabezpečiť bezpečnosť človeka a jeho okolia.

7.1 Analýza rizík robotického pracoviska

Prvým krokom k určeniu dostatočných bezpečnostných prvkov je vykonanie analýzy rizík. Proces posúdenia rizika:

- 1) blokový diagram,
- 2) relatívne nebezpečenstvo,
- 3) analýza významných nebezpečenstiev.

7.1.1 Blokový diagram



Obr. 49) Blokový diagram robotického pracoviska [21]

Kde: E – elektrická energia, I – informačný tok, P – polohová väzba, PS – pasívna polohová väzba, T – tepelná energia, F – sila.

7.1.2 Relatívne nebezpečenstvo

Typy možných nebezpečenstiev zapísaných v norme:

1. mechanické nebezpečenstvo,
2. elektrické nebezpečenstvo,
3. tepelné nebezpečenstvo,
4. nebezpečenstvo hluku,
5. nebezpečenstvo vibrácií,
6. nebezpečenstvo žiarenia,
7. nebezpečenstvo materiálov/látok,
8. ergonomické nebezpečenstvo,
9. nebezpečenstvo spojené s prostredím, v ktorom je stroj používaný,
10. kombinácia nebezpečenstva.

Tab 14) Zdroje relatívneho nebezpečenstva

Názov komponentu v systéme	Umiestnenie v systéme	Typ nebezpečí podľa normy ČSN EN ISO 12100	ČSN EN ISO 12100
ABB IRB 1300	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo, Elektrické nebezpečenstvo, Tepelné nebezpečenstvo	1, 2, 3
ABB IRB 4600	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo, Elektrické nebezpečenstvo, Tepelné nebezpečenstvo	1, 2, 3
Efektor s prstami - IRB 1300	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo	1
Efektor s prstami-IRB4600	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo	1
Efektor s prstami-IRB4600	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo	1
Koncový efektor s prísavkami IRB 4600	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo, Nebezpečenstvo spôsobené poruchami v dodávaní energií	1
Podstavec robota	Pracovný priestor	Nebezpečenstvo pošmyknutia, zakopnutia alebo pádu	10
Lis na ložiská	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo, Elektrické nebezpečenstvo, Tepelné nebezpečenstvo	1, 2, 3
Podávač klzných ložísk	Pracovný priestor	Mechanické nebezpečenstvo, Elektrické nebezpečenstvo, Tepelné nebezpečenstvo	1, 2, 3
Oplotenie bunky	Ochrana prac. priestoru	Mechanické nebezpečenstvo, nebezpečenstvo pošmyknutia a zakopnutia	1, 9
Vstupné dvere	Ochrana prac. priestoru	Mechanické nebezpečenstvo	1
Dopravník	Prac. priestor bunky a okolia	Mechanické nebezpečenstvo, Ergonomické nebezpečenstvo	1,8
Paleta	Prac. priestor bunky a okolia	Mechanické nebezpečenstvo, nebezpečenstvo pošmyknutia a zakopnutia	1, 9
Spínač	Prac. priestor bunky a okolia	Elektrické nebezpečie	2
Prívodný kábel	Prac. priestor bunky a okolia	Elektrické nebezpečie	2

7.1.3 Zoznam významných nebezpečenstiev

Odhad rizika sa uskutoční prostredníctvom priradenia hodnoty nebezpečenstva na základe týchto kritérií: [8]

S – závažnosť škody:

- S0 – žiadne nebezpečenstvo,
- S1 – ľahké poškodenie,
- S2 – ťažké poškodenie,
- S3 – smrť.

A – vystavenie osôb nebezpečenstvu:

- A1 – zriedka až častejšie,
- A2 – často až trvalo.

E – možnosť vyvarovania sa škody:

- E1 – možné,
- E2 – možné za určitých okolností,
- E3 – sotva možné.

W – pravdepodobnosť výskytu škody:

- W1 – malá alebo nepravdepodobná,
- W2 – stredná,
- W3 – veľká.

Hodnota rizika:

- 0-4 prijateľné riziko,
- 5-6 riziko prijateľné po overení,
- 7-18 neprijateľné riziko.

Všetky najvýznamnejšie identifikované nebezpečenstvá sú prehľadne zapísané v Prílohe 1.

Tab 15) Ukážka významných nebezpečenstiev (Príloha 1)

ID	POPIS RIZIKA	PRVKY RIZIKA				Σ	ROZHODNUTIE
		S	A	E	W		
1	MECHANICKÉ RIZIKÁ						
1.1	<i>Nebezpečie vymrštenia</i>						
1.1-1	Nebezpečie vymrštenia obrobku z efektoru robota	S3	A2	E2	W1	15	Neakceptovateľné
1.1-2	Nebezpečie vymrštenia efektoru z robota	S4	A3	E3	W2	6	Neakceptovateľné
1.1-3	Nebezpečie vymrštenia koncovkej čeluste efektoru	S2	A1	E2	W1	6	Neakceptovateľné
1.1-4	Nebezpečie vymrštenia ložiska od lisu	S2	A1	E1	W1	5	Preveriť
1.1-5	Nebezpečie vymrštenia gufera od lisu	S1	A2	E1	W1	2	Akceptovateľné
1.2	<i>Nebezpečie stlačením</i>						
1.2-1	Nebezpečie stlačením od ramena robota	S2	A1	E2	W1	6	Preveriť

7.1.4 Analýza významných nebezpečenstiev

Analýza významných nebezpečenstiev obsahuje fázy životného cyklu, ktoré sa delia na: [34]

- dopravu,
- montáž, inštaláciu a uvedenie do prevádzky,
- prevádzku stroja,
- čistenie a údržbu stroja,
- vyhľadávanie porúch a ich odstránenie,
- vyradenie z prevádzky, demontáž.

Tab 16) Ukážka analýzy významných nebezpečenstiev (Príloha 2)

Analýza významných nebezpečenstiev (počas montáže/ inštalácie; prevádzky, údržby)				
P. č.	Fáza životného cyklu	Typ ohrozenia podľa ČSN EN ISO 12100:2011		Typ stroja: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel
		Stručný popis	ID	Popis nebezpečnej udalosti
1	Montáž a inštalácia/uvedenie do prevádzky			
1.1	Montáž pracoviska	Stlačenie Porezanie Zakopnutie	1.2-1 1.2-2 1.2-3 1.2-4 1.3-1 1.3-2 1.3-3 9.1 9.2 9.3	Pri manipulácii s jednotlivými časťami môže nastať zakopnutie o ukotvené časti. Stlačenie, porezanie medzi jednotlivými časťami zariadenia.

Pre všetky riziká, ktoré dosiahli v tabuľke 17) hodnoty väčšie ako 9, je vytvorený formulár pre postup zníženia daného rizika. Vyplnené formuláre sú k dispozícii v prílohe 3.

Tab 17) Ukážka formuláru pre odhad rizika (Príloha 3)

VUT v Brne, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA Spracovala: Petra Michalová		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel
			Dátum: 30.12.2021
Číslo nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100	
		1. Mechanické nebezpečie	
1.1-1	1	Nebezpečie vymrštenia	
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroja: Prevádzka
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	K vymršteniu môže dôjsť, kvôli nesprávnemu koncovému efektoru robota. V prípade nastavenia malej/ veľkej prítlačnej sily efektor-obrobok, s kombináciou vysokej rýchlosti manipulácie môže dôjsť k vymršteniu obrobku.		

7.2 Bezpečnostné prvky

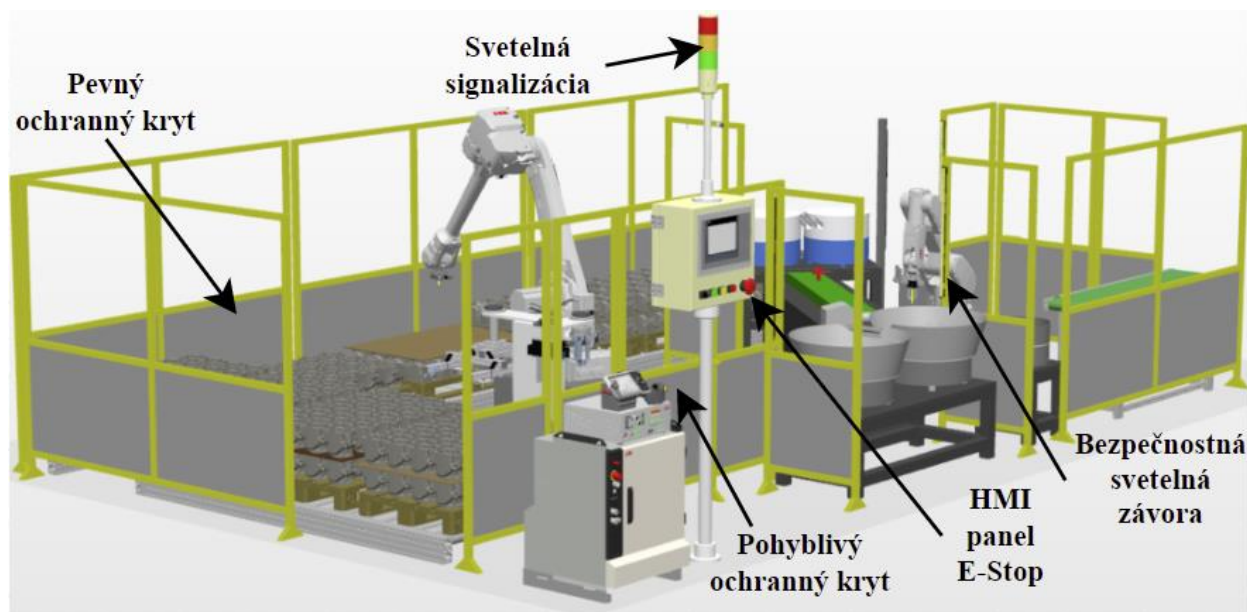
Na základe analýzy rizík je potrebné zabezpečiť pracovisko pevným ochranným krytom a vstupnými pohyblivými ochrannými krytmi. Pohyblivý ochranný kryt je umiestnený na pracovisku, aby bol umožnený servisný vstup. Neoprávnený vstup do pracoviska cez pohyblivé ochranné kryty sa zamedzí použitím blokovacieho zariadenia. (Obr. 50)



Obr. 50) Ukážka zabezpečenia pohyblivého ochranného krytu [35]

V prípade, že dosah robota prechádza za oblasť zásobníkov, čo môže spôsobiť stret osoby a robota je oblasť nad zásobníkmi vybavená ochrannou svetelnou závorou. Ochranná svetelná závara zastaví pohon robotov v prípade, že svetelnú bránu pretne robot alebo osoba, čím sa zamedzí ich vzájomnému kontaktu.

Na to, aby sa zvýšila bezpečnosť pracoviska, je nutné zaistiť prítomnosť vypínača núdzového zastavenia, ktorý slúži na vypnutie zariadení v pracoviska v prípade, že zlyhajú ochranné zariadenia. Pracovisko je doplnené svetelnou signalizáciou, ktorá určuje stav pracovného cyklu (zelená – pracovisko v prevádzke, oranžová – upozornenie, červená – poruchový stav alebo porušenie bezpečnosti). Doplnené pracovisko o ochranné prvky je na obrázok 51.



Obr. 51) Robotické pracovisko s ochrannými prvkami [21]

8 SIMULÁCIA ROBOTICKÉHO PRACOVISKA

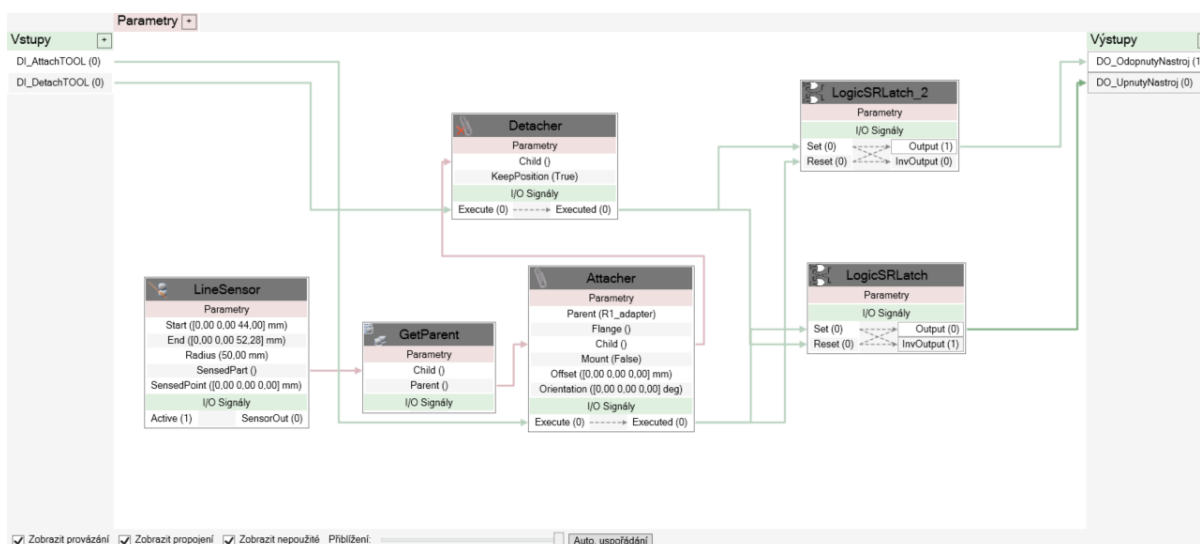
Pre virtuálne spracovanie robotického pracoviska, som si zvolila program RobotStudio od spoločnosti ABB. Vďaka simulačnému softvéru, som odhalila kolízne stavy a optimalizovala riešenie. Základný výstup pre prácu sú časy a reálny priestor pracoviska.

Prvým krokom k tvorbe simulácie bolo vytvorenie 3D modelov v CAD systéme (koncové efekторы a k nim prislúchajúce komponenty a model pracoviska). Zostavy a diely sa následne exportovali vo formáte .sat, ktorý RobotStudio podporuje.

Pre vytvorenie simulácie do RS, boli importované zostavy koncových efektorov pomocou *Importovať Geometriu*. Dôležitým krokom pri vymeniteľných efektoroch, je nastaviť si správne miestny počiatok. Na základe miestneho počiatku sa efektor správne pripojí k robotovi. Následne som upravila efektor na požadované vlastnosti pomocou funkcie *Vytvoriť Mechanizmus*, kde je možnosť nastavenia pohybu a polohy jednotlivých čelústí a hlavný bod nástroja *Tool center point*. Takto nastavený koncový efektor je pripojený na robota, ktorý je do programu vložený pomocou knižnice ABB.

Po nastavení všetkých vlastností koncových efektorov je vytvorený *Smart Komponent*, ktorý zaisťuje správny chod jednotlivých komponentov, vložených do simulácie. Pre *SmartKomponent* slúžiaci na výmenu nástrojov, sú použité prvky *Attacher* (uchopenie objektu) a *Detacher* (pustenie objektu). Na zistenie prítomnosti objektu je použitý *LineSensor* pomocou zadanej priamky. Pre správnu funkciu komponentu je do schémy dva krát zapojený *SR sklopný obvod* a senzor *GetParent*. Na to, aby správne fungovala výmena efektorov, je nutné samotnú *SmartKomponent-u* pripojiť na robota. (Obr.52)

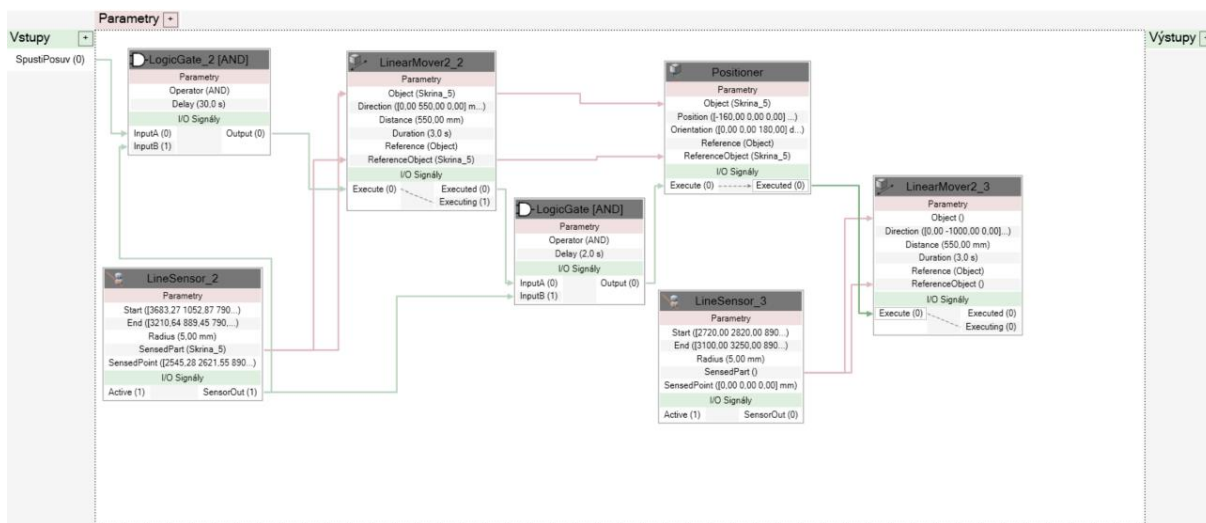
Ďalšie *SmartKomponent-y* efektorov sú vytvorené rovnako s pridaním akcie *PoseMover* pre pohyb čelústí. *SmartKomponent* pre efektor s prísavkami je vytvorený len akciami *Detacher* a *Attacher*. Na to, aby správne fungovala výmena nástrojov, je nutné jednotlivé *SmartKomponent-y* nástrojov odpojiť od robota a *LineSensor* pripojiť na použitý nástroj.



Obr. 52) Návrh SmartKomponenty pre výmenu nástrojov [21]

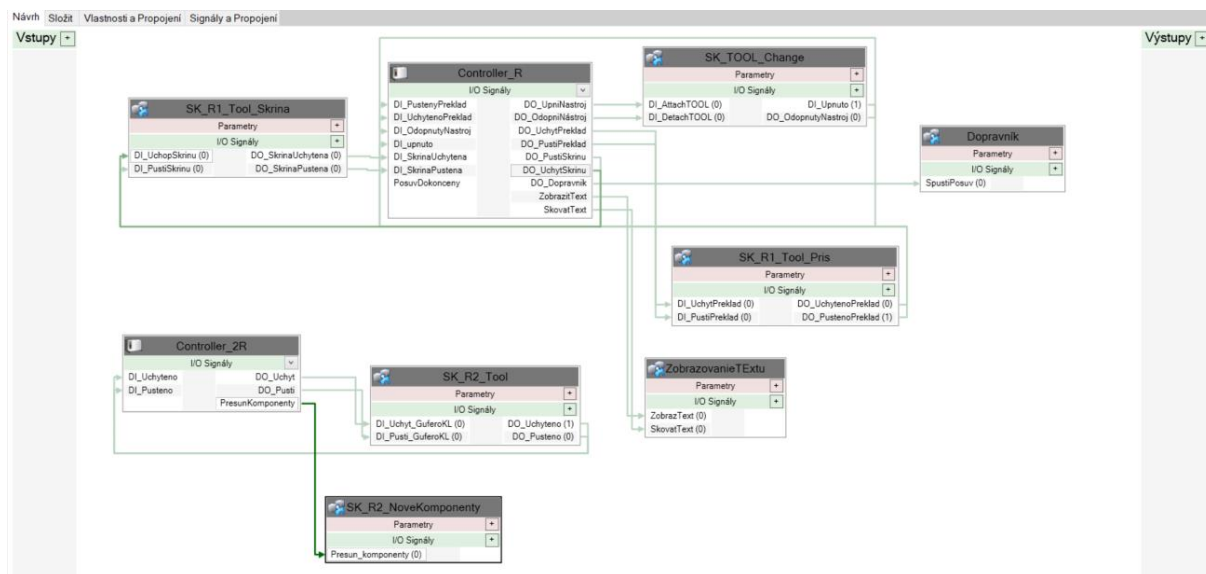
Po nastavení efektorov a dopravníka, je možné pristúpiť k importovaniu zostavy pracoviska a nastavenia polôh jednotlivých častí pracoviska a robotov v rámci layoutu. Nastavenie dopravníka pracoviska pre montáž komponentov sa prevedie opäť prostredníctvom

SmartKomponent, do ktorého sa vložia funkcie *LineSensor*, *MovePositioner* a logická funkcia *AND* pre začatie akcií v čase prítomnosti skrine a spustením akcie v programe RAPID. Oneskorenie 30 sekúnd je z dôvodu prebiehajúceho lisovania dielov do jednotky. (Obr. 53)



Obr. 53) SmartKomponenta pre dopravník pracoviska [21]

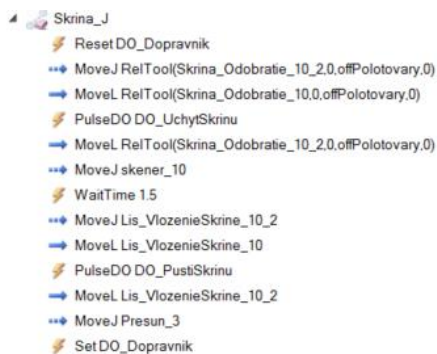
Ďalším krokom je vloženie kontrolérov do pracoviska, ktorý zaisťuje správny chod simulácie. Kontrolér sa vloží pomocou funkcie *Virtuálny radič z rozloženia*. Pre obidva roboty, je nutné založiť dva samostatné kontroléry OmniCore a IRC 5. Pre správne prepojenie *SmartKomponentov* s riadiacim systémom sa vytvoria I/O signály v konfiguráciách kontrolérov. I/O Signály kontroléru a signály zo *SmartKomponenty* sa prepoja v logike stanice. (Obr. 54)



Obr. 54) Logika stanice [21]

Na vytvorenie cesty robota je potrebné zadať body, po ktorých sa má pohybovať. Trasa sa zadáva buď pomocou vytvorenia programu v RAPID alebo cez záložku domov → *Vytvoriť cieľ*. Dráha sa vytvorí pomocou funkcie *Cesta*, do ktorej sa vložia ciele a nastaví sa pohybové inštrukcie. Nastavuje sa rýchlosť nájazdu na bod, zóna a nástroj, ktorý vykoná pohyb jeho TCP.

Zóna bodu znamená, ako sa má robot priblížiť k bodu, napr. v prípade, že je nutné objekt uchytiť, nastaví sa zóna FINE, ak sa jedná o bod, ktorý neurčuje dráhu a nie je nutné vykonať žiadnu akciu, nastaví sa vyššia hodnota zóny. Spustenie akcie na dráhe sa nastaví pomocou vložiť *Inštrukciu Akcie*. Pokiaľ sa jedná o tvorbu dráhy pre ciele, ktoré sú od seba vzdialené na určitú vzdialenosť, je možné určiť ju v RAPID pomocou príkazu *OFFs* alebo *RelTOOL*. *OFFs* sa používa k pridaniu posunutia v súradnicovom systéme objektu a *RelTOOL* sa používa k posunu alebo rotácií v aktívnom systéme nástroja. (Obr. 55)

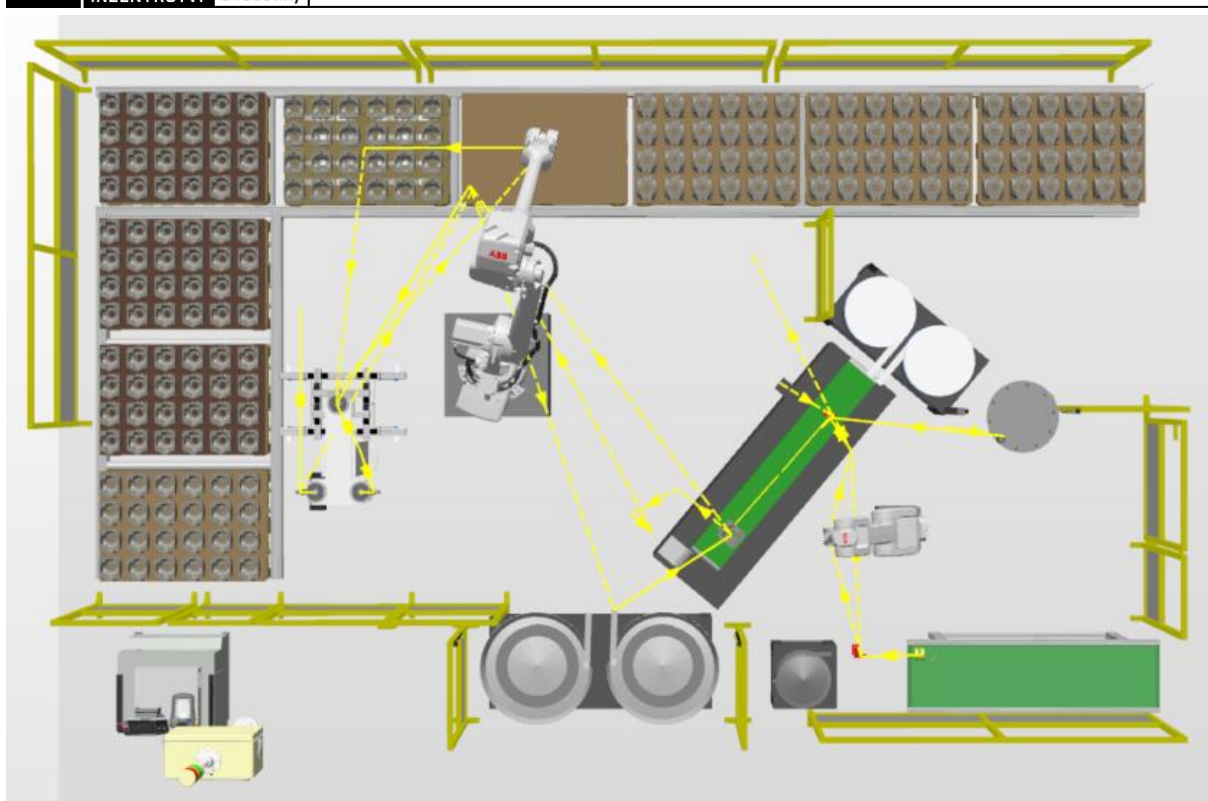


Obr. 55) Príklad vytvorenej cesty v RS [21]

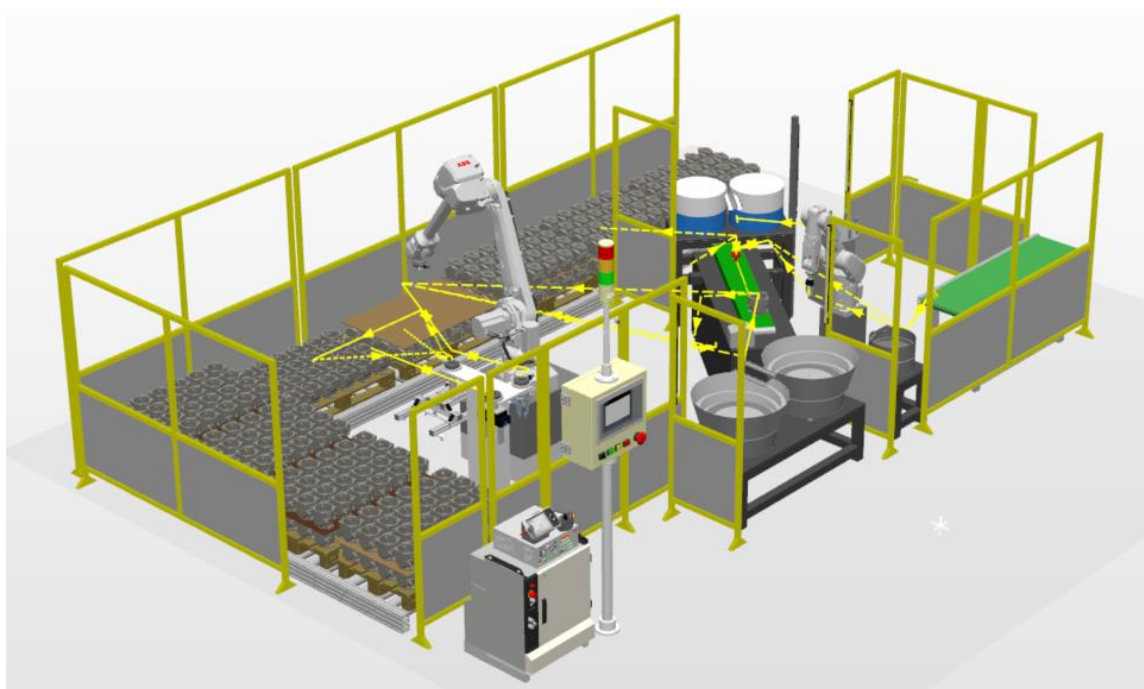
Vytvorené cesty sú vložené do hlavnej dráhy „Main“, ktorá slúži ako vstupný bod simulácie. Úprava vstupného bodu prebieha, buď priamo v pracovnom okne simulácie alebo v RAPID. Na obrázku nižšie je ukážka časti dráhy pre robota IRB 4600 pre manipuláciu so skriňou, vytvorenou v RAPID (Obr. 56). Dráhy ciest pracoviska sú zobrazené na obrázkoch 57 a 58.

```
PROC main()
  Reset ZobrazitText;
  Reset SkovatText;
  PresunPrekladu;
  Gripper_zapnutie;
  Skrina_J;
  PulseDO ZobrazitText;
  cakanie;
  WaitTime 30;
  PulseDO SkovatText;
  offPolotovary := 193;
  offFinally := 0;
  FOR i FROM 1 TO 5 DO
    Reset ZobrazitText;
    Reset SkovatText;
    Skrina_J;
    PulseDO ZobrazitText;
    Gripper_odpnutie;
    VKL_Presun;
    Gripper_zapnutie;
    Skrina_vratenie;
    PulseDO SkovatText;
    offPolotovary := offPolotovary + 198;
    offFinally := offFinally + 193;
  ENDFOR
  Gripper_odpnutie;
  VKL_Presun;
```

Obr. 56) Ukážka nastavenia vstupného bodu v RAPID [21]



Obr. 57) Zobrazené všetky dráhy ciest v simulácii



Obr. 58) Zobrazené všetky dráhy ciest v simulácii

8.1 Výstup simulácie

Výstupom simulácie je približný čas montáže komponentov do skríň čerpadiel. Najdlhšie trvajúca inštalácia komponentov do skrine je spôsobená preložením prekladu medzi vrstvami na palete. Čas zhotovenia prvej skrine z druhej vrstvy na palete je 1,34 minút čo je 80,4 sekúnd (prvá jednotka po presunutí prekladu medzi vrstvami). Čas cyklu na zhotovenie ostatných jednotiek na palete je 51 sekúnd.

Potrebný maximálny takt robotického pracoviska na zabezpečenie dostatočného množstva jednotiek, pre zabezpečenie plynulej montáže na troch linkách je vypočítaný v kap. 4.2, kde je hodnota taktu robotického pracoviska 110 sekúnd. Na základe získaných časov zo simulácie, sa zistilo, že nastavené pracovisko je schopné vyrobiť viac ako dvakrát vyššiu produkciu, než sú linky schopné spracovať.

Na priebehu simulácie (Príloha 4), je viditeľný najväčší nedostatok pracoviska, a tým je nedostatočná využiteľnosť robota IRB 1300 (R2), ktorý ale nemá vplyv na výšku produkcie.

9 ZHODNOTENIE NÁVRHU

9.1 Ekonomické zhodnotenie

Pracovisko je navrhované s cieľom zvýšenia produktivity montážnych liniek, prostredníctvom odobratia niektorých operácií a vytvorenia robotického pracoviska s danými operáciami.

Náklady na zaistenie robotického pracoviska zahŕňujú náklady na návrh daného pracoviska, náklady na jednotlivé komponenty od samotných robotov až po senzory, programovanie, testovacia montáž u zhotovovateľa, montáž u zákazníka atď.

Náklady na jednotlivé časti sprevádzkovania sú uvedené v tabuľke 18), z ktorej vyplýva odhadovaná obstarávacía cena robotického pracoviska 503 000 €.

Tab 18) Náklady na sprevádzkovanie robotického pracoviska

Č. p.	Popis		Cena spolu [€]
	Názov položky	Množstvo	
1	Robot ABB IRB 4600 40/2.55	1	60 000
2	Kontroler ABB IRC 5		
3	Robot ABB IRB 1300 10/1.15	1	45 000
4	Kontroler ABB OmniCore		
5	Kamerový systém pre navádzanie robota ABB	2	20 000
6	Modul výmeny koncových efektorov - pneumatický menič, energetický prvok robot	1	1 800
7	Modul výmeny koncových efektorov - pneumatický menič, energetický prvok koncový efektor	3	4 800
8	Koncový efektor R1 manipulácia s prekladom - 8ks vákuové príslavky, držiak príslaviek, vákuový efektor, hliníkové moduly, doplnky a komponenty na efektor	1	900
9	Koncový efektor R1 manipulácia so skriňami - chápadlo, adaptér nástroja, čelúste	1	1 600
10	Koncový efektor R1 manipulácia s vonkajším krúžkom ložiska - chápadlo, adaptér nástroja, čelúste	1	1 600
11	Stojan efektorov	1	3 000
12	Koncový efektor R2 manipulácia s guferom a klzným ložiskom - chápadlo, adaptér nástroja, čelúste	1	1 300
13	Otočný zásobník s pneumatickými valcami - gufero (300ks) + mech. na pridržiavanie gufera	1	18 000
14	Vibračný kruhový zásobník - poistný krúžok (400 ks)	2	16 000
15	Vibračný kruhový zásobník - Kolík (500 ks)	1	5 000
16	Dopravníkový zásobník - klzné ložisko (4 x 400 ks)	4	24 000
17	Vibračný kruhový zásobník - kolíky + stanica montáže (vkládanie kolíkov do ložísk)	1	7 500
18	Vibračný kužeľový zásobník - vonkajší krúžok ložiska	2	14 000
19	Lisovacia stanica - mechanická časť (rám, 1x horný lisovací servovalec, 2x spodný servovalec, lineárne vedenia, nástroje a výmenné diely)	1	32 000

20	Mechanizmus na otáčanie jednotky	1	6 000
21	Dopravníkový systém hlavného pracoviska	1	13 000
22	Valčekový hnaný dopravník - 820x6400, stopér, nosnosť 3600 kg	1	28 000
23	Valčekový hnaný dopravník - 1250x3400, stopér, nosnosť 2400 kg	1	20 000
24	Pevný a pohyblivý ochranný kryt		10 000
25	Pneumatické prvky, ventilové bloky		3 500
26	Riadiaci systém – PLC Siemens, I/O, HMI, bezpečnostné vstupy		12 000
27	Elektro materiál – rozvádzač, klimatizácia, istiacie a spínacie prístroje, zdroj, bezpečnosť, snímače, ovládacie a signalizačné prvky, skener DMC, checker, snímače, optické závory, kabeláž, žľaby, ostatný elektroinštalačný materiál		22 000
28	Sprievodné služby - projektový manažment, mechanická konštrukcia, testovacia mechanická montáž, programovanie (robotov, kamier, lisu atď.), programovanie PLC, vizualizácie		100 000
29	Inštalácia u zákazníka - inštalácia oživenie, skúšky u zákazníka, zaškolenie obsluhy		32 000
Celková náklady na RP (NCRP)			503 000

9.1.1 Návratnosť

Každá inovácia zo sebou prináša počiatočnú investíciu, preto je dobre si zistiť dobu návratnosti investície do projektu. Návratnosť vypočítame podielom celkových počiatočných nákladov a celkových úspor. [36]

$$\text{Návratnosť} = \frac{\text{Celkové náklady}}{\text{Celkové úspory}} \quad (11)$$

Vzhľadom na to, že sa nejedná o nahradenie celého pracoviska ale len o jeho časť, je nutné určiť si čas, o ktorý sa zníži čas montáže na pracovisku. Čas, o ktorý sa zníži montáž čerpadiel je uvedený v kapitole 4.2.

Výška prevádzkových nákladov je získaná z firemných informácií. Montáž hydraulických čerpadiel prebieha na troch montážnych linkách v trojzmennej prevádzke, päť pracovných dní v týždni. Výpočet nákladov v záverečnej práci prebieha na príklade piatich operátorov na jednej linke. Po zavedení robotického pracoviska sa počet operátorov na linke nemení, ale zvyšuje sa produktivita linky z pôvodných 76 kusov na zmenu/linka na 87 kusov na zmenu/linka. Hodnota nákladov na zariadenie je určená firmou 2,5 € jednotka/rok a po sprevádzkovaní RP sú náklady na zariadenia 2,2 € jednotka/rok. Do týchto nákladov je zahrnutá údržba, servis, emulzie, energie.

Rovnica (12) uvádza výpočet súčasnej ročnej produkcie jednej montážnej linky na zmenu, pri počte 247 pracovných dní v roku 2023. Rovnica je prepočítaná koeficientom, ktorý zahrňuje obdobie nečinnosti montáže z dôvodu neočakávaných opráv/ servisu.

- Produkcia na zmenu jednej linky- $Q_{ZS} = 76 \text{ ks}$
- Neočakávané opravy, servis - $k = 0,85$
- Pracovné dni za kalendárny rok 2023 - $d = 247$

Súčasná ročná produkcia linky pre 5 operátorov:

$$Q_{CS} = Q_{ZS} \cdot d \cdot k \quad (12)$$

$$Q_{CS} = 76 \cdot 247 \cdot 0,85$$

$$Q_{CS} = 15\,956,2 \text{ ks/rok}$$

Personálne náklady, prepočítané na jednotku:

- Ročné náklady na operátora - $N_0 = 21\,500 \text{ €}$
- Počet operátorov - $n_0 = 5$
- Súčasná ročná produkcia - $Q_{CS} = 15\,956,2 \text{ ks/rok}$

$$N_{pS} = \frac{n_0 \cdot N_0}{Q_{CS}} \quad (13)$$

$$N_{pS} = \frac{5 \cdot 21\,500}{15\,956,2}$$

$$N_{pS} = 6,74 \text{ €/osoba}$$

Ročná produkcia po zavedení robotického pracoviska, pri predpokladanej produkcii 87 kusov za zmenu/linka:

$$Q_{CRP} = Q_{ZRP} \cdot d \cdot k \quad (14)$$

$$Q_{CRP} = 87 \cdot 247 \cdot 0,85$$

$$Q_{CRP} = 18\,265,65 \text{ ks/rok}$$

Personálne náklady, prepočítané na jednotku po zavedení robotického pracoviska:

$$N_{pRP} = \frac{n_0 \cdot N_0}{Q_{CRP}} \quad (15)$$

$$N_{pRP} = \frac{5 \cdot 21\,500}{18\,265,65}$$

$$N_{pRP} = 5,89 \text{ €/osoba}$$

Personálne úspory :

$$U_p = N_{pS} - N_{pRP} \quad (16)$$

$$U_p = 6,74 - 5,89$$

$$U_p = 0,85 \text{ €/os}$$

Ročné úspory linky sa vypočítajú súčinom ročnej produkcie a súčtom personálnych úspor a úspor na zariadení na jednotku:

$$U_{CL} = Q_{CRP} \cdot (U_p + U_z) \quad (17)$$

$$U_{CL} = 18\,265,65 \cdot (0,85 + 0,3)$$

$$U_{CL} = 21\,038,91 \text{ €/zmena}$$

Celkové ročné úspory sa vypočítajú prenasobením množstvom liniek a množstvom možných pracovných zmien na linku:

$$U_C = U_{CL} \cdot 3 \cdot 3 \quad (18)$$

$$U_C = 21\,038,91 \cdot (0,85 + 0,3)$$

$$U_C = 189\,350,15 \text{ €}$$

Dosadením vypočítaných hodnôt do rovnice 12 je výsledná hodnota návratnosti:

$$\text{Návratnosť} = \frac{N_{CRP}}{U_C} \quad (19)$$

$$\text{Návratnosť} = \frac{503\,000}{189\,350,15}$$

$$\text{Návratnosť} = 2,7 \text{ rok}$$

Návratnosť investície bude trvať približne v období dvoch rokov a deviatich mesiacov. Súhrn všetkých vypočítaných hodnôt je v tabuľke 19).

Tab 19) Súhrnná tabuľka výpočtu návratnosti

Množstvo liniek	3 linky
Počet zmien	3 zmeny
Pracovné dni v týždni	5 dní
Pracovné dni v roku 2023	247 dní

	Náklady na montážnu linku pred zavedením RP		Náklady po zavedení RP	
Náklady na 1 operátora [€/rok]	21 500	€	21 500	€
Náklady na 5 operátorov [€/rok]	107500	€	107500	€
Počet zmontovaných kusov [linka/ zmena]	76	ks	87	ks
Ročná produkcia linky	15956,2	ks	18265,65	ks
Personálne náklady na jednotku	6,74	€/os.	5,89	€/os.
Náklady na zariadenie na jednotku (údržba, prestoje ...)	2,5	€/zar.	2,2	€/zar.
Personálna úspora	0,85	€/os.		
Úspora na zariadenie (údržba, prestoje...)	0,3	€/zar.		
Ročná úspora na jednu zmenu	21038,91	€/linka		
Celková ročná úspora (3 linky + 3 zmeny)	189350,15	€		
Náklady na zaobstaranie RP	503000	€		
Návratnosť	2,7	Roka		

10 ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberá návrhom automatizácie reálneho montážneho procesu, ktorý je zameraný na montáž hydraulických čerpadiel. Hlavným cieľom automatizácie procesu, je zvýšenie produktivity, vyňatím určitých operácií z montážneho procesu a ich premiestnením do robotického pracoviska.

V teoretickej časti, kapitola 2, sú popísané základy Priemyslu 4.0, robotizácie, bezpečnosti a softvérovej podpory v oblasti robotických pracovísk. Návrh robotickej bunky vychádza z požiadaviek zákazníka a analýzy súčasného stavu montážnych liniek.

V tretej kapitole je rozbor aktuálneho stavu montážnej linky so zameraním na popis montáže riešených komponentov. Štvrtá kapitola predstavuje požiadavky spoločnosti, kde hlavná požiadavka je zaistenie dostatočného množstva predmontovaných skriň čerpadla pre plynulý chod troch montážnych liniek.

Návrh pracoviska pozostáva z vytvorenia troch koncepčných variant layout-u robotických pracovísk. Pri ich vytváraní a nadobúdaním skúseností a poznatkov, neustále dochádzalo k úpravám konceptov. Voľba správnej varianty sa uskutočnila pomocou multikriteriálnej analýzy, podľa ktorej je najvhodnejší prvý návrh. Napriek výsledkom analýzy, bol výsledný návrh upravený kombináciou prvého a druhého návrhu.

Šiesta kapitola sa venuje voľbe a návrhu jednotlivých komponentov pracoviska. Na konci kapitoly je vložený 3D model finálneho návrhu na overenie dosahov robotov v softvéri RobotStudio. Kontrolou manipulačného priestoru robotov bol zistený nedostatočný pracovný priestor prvého robota IRB 4600. Robot IRB 4600 nie je schopný manipulovať so skriňami na palete v jeho blízkosti. Toto zistenie malo za následok opätovnú úpravu layoutu. Výsledky boli prezentované zadávateľom a po konzultácii došlo k zväčšeniu pracovného priestoru a úprave rozloženia komponentov pracoviska.

Bezpečnosť pracoviska je vyhodnotená prostredníctvom analýzy rizík, ktorej výsledky sú implementované do návrhu.

Simulácia robotického pracoviska, vytvorená v softvéri RobotStudio, je popísaná v ôsmej kapitole. V kapitole je uvedený zjednodušený postup tvorby simulácie s ukážkou nastavenia komponentov a ich vzájomné prepojenie s kontrolermi robotov. Kapitola obsahuje ukážku dráhy ciest pracoviska spracovaných v softvéri, ako aj ukážku štruktúry spracovania programu.

V poslednej časti práce je vytvorená ekonomická kalkulácia, kde sú porovnané náklady na nové robotické pracovisko a dosiahnuté úspory. Odhadované náklady na realizáciu pracoviska predstavujú 503 000 €, pričom návratnosť investície je vypočítaná na dva roky a deväť mesiacov.

Z výsledkov simulácie robotického pracoviska bol určený takt pracoviska, pričom výsledná produktivita dosahuje dvojnásobné hodnoty potrebnej produktivity. Do praxe sa odporúča uvažovať o úprave pracoviska. Úprava môže spočívať v znížení počtu robotov na pracovisku, napríklad použitím jedného robota so štyrmi koncovými efektormi, čo by viedlo k zníženiu nákladov a doby návratnosti investícií.

Navrhnutý koncept robotického pracoviska predstavuje funkčný celok splňujúci požiadavky zadávateľa.

11 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *Industry 4.0: Budovanie digitálneho podniku* [online]. In: . PWC, 2016, s. 36 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.pwc.com/sk/sk/publikacie/assets/2016/ceo-prieskum/industry-4-0-budovanie-digitalneho-podniku.pdf>
- [2] Průmysl 4.0. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-10-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0
- [3] KIDWAI, Ali. The Nine Pillars Of Industry 40: Technological Advancements. In: Polestar [online]. 2021 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.polestarllp.com/what-is-industry-40-and-its-nine-technology-pillars>
- [4] Technológie štvrtej priemyselnej revolúcie. In: *Quark* [online]. ANASOFT, 2019 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.quark.sk/wp-content/uploads/2019/01/I-priemysel-1.png>
- [5] What is a digital twin?. In: IBM [online]. [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>
- [6] Technológie. In: INDUSTRY [online]. 2021 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://industry4.sk/o-industry-4-0/technologie/>
- [7] WHAT IS A ROBOT CELL?. In: Tera automation [online]. 2020 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.tera-automation.com/en/blog/260-what-is-a-robot-cell>
- [8] BLECHA, Petr, Zdeněk KOLÍBAL, Radek KNOFLÍČEK, Aleš POCHYLÝ, Tomáš KUBELA, Radim BLECHA a Tomáš BŘEZINA. Mechatronika Modul 10: Robotika. In: Docplayer.cz [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8054951-Mechatronika-modul-10-robotika.html>
- [9] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: *Vysoké učení technické v Brně: VUTÍUM*, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [10] Industrial Robots. In: ABB [online]. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots>
- [11] Robot Simulation Software: Everything You Need to Know. In: Visual components [online]. 2021 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.visualcomponents.com/resources/blog/robot-simulation-software-everything-you-need-to-know/>
- [12] EITEL, Lisa. RobotStudio software from ABB optimizes robot setups (with videos). In: The Robot Report [online]. 2017 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/abb-robotstudio-software-optimizes-robot-setups-with-videos/>

- [13] KUKA.Sim. In: KUKA [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/sk-sk/produkty-a-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/softv%C3%A9r/pl%C3%A1novanie-projektovanie-servis-bezpe%C4%8Dnos%C5%A5/kuka,-d,-sim>
- [14] ROBOGUIDE: Offline simulácia pohybu a príkazov s využitím ROBOGUIDE. In: FANUC [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/sk/sk/robots/pr%C3%ADslu%C5%A1enstvo/roboguide>
- [15] Process Simulate: Manufacturing process verification in powerful 3D environment. In: Siemens [online]. 2011 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_gb/Images/7457_tcm642-80351.pdf
- [16] Delmia V5 Robotics. In: Digital Factory [online]. [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/robotika/delmia-v5-robotics>
- [17] Danfoss - The journey to Engineering Tomorrow. In: Danfoss [online]. [cit. 2022-02-02]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/company/history/>
- [18] Series 45 open circuit axial piston pumps. In: Danfoss [online]. [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/products/dps/pumps/hydrostatic-pumps/open-circuit-axial-piston-pumps/series-45-open-circuit-axial-piston-pumps/#tab-overview>
- [19] Kanbanový Systém a kontrola Tahem. In: Manufactus - manufacturing solution [online]. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.kanban-system.com/cs/kanbanovy-system-a-kontrola-tahem/>
- [20] Interné materiály. Danfoss Power Solutions a.s., 2022.
- [21] Vlastné spracovanie.
- [22] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Řízení výroby. 2. Praha: Grada Publishing, spol. s r. o., 2000. ISBN 80-7169-955-1.
- [23] MAREK, JIŘÍ. Systémový přístup a rozhodování v konstrukčním procesu: METODIKA BRNĚNSKÉ KONSTRUKČNÍ ŠKOLY. 1. vydání. Brno, 2021.
- [24] IRB 4600. In: ABB [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4600>
- [25] IRB 1300. In: ABB [online]. 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1300>
- [26] Koncový efektor jako důležitá periférie robotů. In: WP Engineering s.r.o. [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.wpeng.cz/l/koncovy-efektor-jako-dulezita-periferie-robotu/>

- [27] Manipulačná technika. In: ZIMMER group [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.zimmer-group.com/sk/technologie-a-komponenty/komponenty/manipulacna-technika>
- [28] KRATINA, Jakub. SOUČINITEL TŘENÍ: Tabulka *hodnot* součinitele (koeficientu) smykového tření pro různé kombinace materiálů. In: E-konstrukter [online]. 2013 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [29] SRDOŠOVÁ, Michaela. Návrh robotické buňky *pro manipulační operace*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/116748>. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.
- [30] Bezdotykové snímače. In: Festo [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.festo.com/sk/sk/a/538270/?q=~:sortByFacetValues-asc>
- [31] Material Contact Properties Table. In: *Slovenská technická univerzita v Bratislave* [online]. 2008 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: http://atc.sjf.stuba.sk/files/mechanika_vms_ADAMS/Contact_Table.pdf
- [32] Vibrační kruhové zásobníky. In: Libor Kříž *vibrační technika* [online]. [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.liborkriz.eu/vibracni-kruhove-zasobniky>
- [33] Robotic Unitized Oil Seal Assembly. In: *YouTube* [online]. Alliance Automation [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=6W9K1Pz8YzI>
- [34] BLECHA, Petr. Management technických rizik *u výrobních strojů* Technical risk management in production machines: teze habilitační práce. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-4062-3.
- [35] In: SICK Sensor Intelligence [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/c/products>
- [36] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. How Long to *Payback my Robot Investment?*. In: ROBOTIQ [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/how-long-before-i-can-payback-my-robot-investment>

12 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

12.1 Zoznam tabuliek

TAB 1) OZNAČENIE ČIAR NA LAYOUTE	29
TAB 2) SÚHRN POŽIADAVIEK ZÁKAZNÍKA	33
TAB 3) VÝPOČET CYKLOVACIEHO ČASU A ZMENOVÉHO VÝKONU PRE 5 OPERÁTOROV [20]	35
TAB 4) ROZLOŽENIE OPERÁTOROV NA LINKE [20]	36
TAB 5) NAMERANÉ ČASY RIEŠENÝCH OPERÁCIÍ [21]	37
TAB 6) VÝPOČET ČASU CYKLU A ZMENOVÉHO VÝKONU PRE 5 OPERÁTOROV S POUŽITÍM PREDPRIPRAVENÝCH SKRÍŇ Z RP. [21].....	37
TAB 7) ROZLOŽENIE OPERÁTOROV NA LINKE S POUŽITÍM PRED PRIPRAVENÝCH SKRÍŇ Z RP [21]	38
TAB 8) POSTUP JEDNOTLIVÝCH KROKOV NA PRACOVISKU [20]	40
TAB 9) VYPLNENÝ FORMULÁR SO ZVOLENÝMI KRITÉRIAMI [21]	45
TAB 10) ZOZNAM KRITÉRIÍ A ICH PORADIE [21]	45
TAB 11) VYHODNOTENIE VARIANT [21]	46
TAB 12) ŠPECIFIKÁCIA IRB 4600 40/2.55 [24]	48
TAB 13) ŠPECIFIKÁCIA IRB 1300-10/1.15 [25]	49
TAB 14) ZDROJE RELATÍVNEHO NEBEZPEČENSTVA	62
TAB 15) UKÁŽKA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČENSTIEV (PRÍLOHA 1).....	63
TAB 16) UKÁŽKA ANALÝZY VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČENSTIEV (PRÍLOHA 2) 64	
TAB 17) UKÁŽKA FORMULÁRU PRE ODHAD RIZIKA (PRÍLOHA 3).....	64
TAB 18) NÁKLADY NA SPREVÁDZKOVANIE ROBOTICKÉHO PRACOVISKA	71
TAB 19) SÚHRNNÁ TABUĽKA VÝPOČTU NÁVRATNOSTI	75

12.2 Zoznam obrázkov

OBR. 1) DIAGRAM ZNÁZORŇUJÚCI ŠTYRI INDUSTRIÁLNE REVOLÚCIE [2]	16
OBR. 2) RÁMEC PRIEMYSLU 4.0 A DIGITÁLNE TECHNOLOGIE, KTORÉ HO TVORIA [4]	17
OBR. 3) PRINCÍP DIGITÁLNEHO DVOJČAŤA [6]	18
OBR. 4) PRÍKLAD ZLOŽITEJŠIEHO ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISKA S PERIFÉRNÝMI ZARIADENIAMÍ [8]	19
OBR. 5) VPRAVO SÉRIOVÝ ROBOT, VĽAVO PARALELNÝ ROBOT [10]	20

OBR. 6) PRÍKLAD ZABEZPEČENIA ROBOTIZOVANÉHO PRACOVISKA [9] ..	21
OBR. 7) ABB ROBOTSTUDIO – PRACOVNÉ PROSTREDIE [12]	23
OBR. 8) KUKA SIMPRO – PRACOVNÉ PROSTREDIE [13]	23
OBR. 9) ROBOGUIDE – PRACOVNÉ PROSTREDIE [14]	24
OBR. 10) SIEMENS TECNOMATIX PROCESS SIMULATE – PRACOVNÉ PROSTREDIE [15]	25
OBR. 11) DELMIA V5 ROBOTICS – PRACOVNÉ PROSTREDIE [16]	25
OBR. 12) LOGO SPOLOČNOSTI DANFOSS POWER SOLUTIONS A.S. [17]	26
OBR. 13) SÉRIA HYDRAULICKÝCH ČERPADIEL S45 [18]	27
OBR. 14) LAYOUT MONTÁŽE [20]	28
OBR. 15) RUČNÁ INŠTALÁCIA KLZNÉHO LOŽISKA S KOLÍKOM [21]	30
OBR. 16) VLOŽENÝ VONKAJŠÍ KRÚŽOK HRIADEĽOVÉHO LOŽISKA [21]	30
OBR. 17) INŠTALÁCIA HRIADEĽOVÉHO TESNENIA (GUFERO) POMOCOU CHRÁNIČKY TESNENIA [21]	31
OBR. 18) VKLADANIE POISTNÉHO KRÚŽKU DO LISU [21]	31
OBR. 19) LISOVANIE LOŽISKA A POISTNÉHO KRÚŽKU [21]	31
OBR. 20) VYHRADENÁ PLOCHA PRE ROBOTICKÉ PRACOVISKO [21]	32
OBR. 21) OZNAČENIE PREDMONTOVANEJ SKUPINY [21]	33
OBR. 22) ZOBRAZENIE TVARU SKRÍŇ ČERPADLA (V OZNAČENOM POLI JE ZOBRAZENÁ POZÍCIA DMX KÓDU) [21]	34
OBR. 23) ZOBRAZENIE TVAROV UPÍNACEJ PRÍRUBY [21]	34
OBR. 24) OBJEKTY MANIPULÁCIE [21]	34
OBR. 25) REZ SKRINE ČERPADLA S OZNAČENÝMI POZÍCIAMI DIELOV	35
OBR. 26) VĽAVO - PALETA SO VSTUPNOU JEDNOTKOU, VPRAVO - PALETA S VÝSTUPNOU JEDNOTKOU [21]	39
OBR. 27) LAYOUT PRVÉHO NÁVRHU [21]	41
OBR. 28) LAYOUT DRUHÉHO NÁVRHU [21]	42
OBR. 29) LAYOUT TRETIEHO NÁVRHU [21]	43
OBR. 30) FORMULÁR PRE VÝBER HODNOTIACICH KRITÉRIÍ METÓDOU POROVNÁVANIA V TROJUHOLNÍKOVOM PÁRE [23]	44
OBR. 31) FINÁLNY NÁVRH PRACOVISKA [21]	47
OBR. 32) PRACOVNÝ ROZSAH ROBOTA IRB 4600-40/2.55 [24]	48
OBR. 33) PRACOVNÝ ROZSAH IRB 1300-10/15 [25]	49
OBR. 34) VÝMENA KONCOVÝCH EFEKTOROV [21] [27]	50
OBR. 35) KONCOVÝ EFEKTOR NA MANIPULÁCIU SO SKRIŇOU [21] [27]	51
OBR. 36) KONCOVÝ EFEKTOR R1 NA MANIPULÁCIU VONKAJŠÍCH KRÚŽKOV LOŽISKA [21] [27]	52

OBR. 37)ROZLOŽENIE PRÍSAVIEK NA EFEKTORE [21] [29]	53
OBR. 38)KONCOVÝ EFEKTOR PRE MANIPULÁCIU S PREKLADOM [21] [29]	53
OBR. 39)POLOHA SNÍMAČOV A DRÁŽOK V STOJANE EFEKTOROV [21]	54
OBR. 40)STOJAN S KONCOVÝMI EFEKTORMI [21].....	54
OBR. 41)KONCOVÝ EFEKTOR PRE MANIPULÁCIU S GUFEROM A KLZNÝM LOŽISKOM [21].....	56
OBR. 42)POPIS ČASTI LISU [21]	57
OBR. 43)ZĽAVA – PRÍPRAVOK NA LISOVANIE POISTNÉHO KRÚŽKU V PRACOVNEJ POZÍCIÍ; SPRAVA-POZÍCIA PRE LISOVANIE KLZNÝCH LOŽÍSK [21]	57
OBR. 44)HLAVNÉ PRACOVISKO BUNKY [21]	58
OBR. 45)ZÁSOBNÍK PRE GUFERÁ [33]	59
OBR. 46)LAYOUT PRACOVISKA V RS [21].....	59
OBR. 47)DOSAH IRB 4600 [21]	60
OBR. 48)UPRAVENÝ LAYOUT PRACOVISKA	60
OBR. 49)BLOKOVÝ DIAGRAM ROBOTICKÉHO PRACOVISKA [21].....	61
OBR. 50)UKÁŽKA ZABEZPEČENIA POHYBLIVÉHO OCHRANNÉHO KRYTU [35] 65	
OBR. 51)ROBOTICKÉ PRACOVISKO S OCHRANNÝMI PRVKAMI [21]	65
OBR. 52)NÁVRH SMARTKOMPONENTY PRE VÝMENU NÁSTROJOV [21]	66
OBR. 53)SMARTKOMPONENTA PRE DOPRAVNÍK PRACOVISKA [21]	67
OBR. 54)LOGIKA STANICE [21]	67
OBR. 55)PRÍKLAD VYTVORENEJ CESTY V RS [21].....	68
OBR. 56)UKÁŽKA NASTAVENIA VSTUPNÉHO BODU V RAPID [21].....	68
OBR. 57)ZOBRAZENÉ VŠETKY DRÁHY CIEST V SIMULÁCIÍ.....	69
OBR. 58)ZOBRAZENÉ VŠETKY DRÁHY CIEST V SIMULÁCIÍ.....	69

13 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Zoznam významných nebezpečenstiev

Príloha 2 - Analýza významných nebezpečenstiev

Príloha 3 - Formulár pre odhad rizika

Príloha – SimuláciaDP_Michalova.mp4

PRÍLOHY

Príloha 1

ID	POPIS RIZIKA	PRVKY RIZIKA				Σ	ROZHODNUTIE
		S	A	E	W		
1	MECHANICKÉ RIZIKÁ						
1.1	Nebezpečie vymrštenia						
1.1-1	Nebezpečie vymrštenia obrobku z efektoru robota	S3	A2	E2	W1	15	Neakceptovateľné
1.1-2	Nebezpečie vymrštenia efektoru z robota	S4	A3	E3	W2	12	Neakceptovateľné
1.1-3	Nebezpečie vymrštenia koncovej čeľuste efektoru	S2	A1	E2	W1	6	Preveriť
1.1-4	Nebezpečie vymrštenia ložiska od lisu	S2	A1	E1	W1	5	Preveriť
1.1-5	Nebezpečie vymrštenia gufera od lisu	S1	A2	E1	W1	2	Akceptovateľné
1.2	Nebezpečie stlačením						
1.2-1	Nebezpečie stlačením od ramena robota	S2	A1	E2	W1	6	Preveriť
1.2-2	Nebezpečie stlačením od dopravníku	S2	A1	E1	W2	6	Preveriť
1.2-3	Nebezpečie stlačením od lisu	S2	A1	E1	W2	6	Preveriť
1.2-4	Nebezpečie stlačením od ochranných dverí	S2	A2	E2	W1	9	Neakceptovateľné
1.3	Nebezpečie porezaním alebo oddelením						
1.3-1	Nebezpečie porezaním od obrobku	S1	A1	E3	W1	1	Akceptovateľné
1.3-2	Nebezpečie porezaním od lisu	S1	A2	E3	W1	4	Akceptovateľné
1.3-3	Nebezpečie porezaním od palety	S1	A1	E3	W1	1	Akceptovateľné
1.4	Nebezpečie trenia alebo odrenia						
1.4-1	Nebezpečie odrenia od palety	S1	A1	E3	W1	1	Akceptovateľné
1.4-2	Nebezpečie odrenia od obrobku	S1	A1	E3	W1	1	Akceptovateľné
1.5	Nebezpečenstvo narazenia						
1.5-1	Nebezpečenstvo narazenia od robota	S1	A1	E1	W1	0	Akceptovateľné
1.6	Nebezpečenstvo navinutia						
1.6-1	Nebezpečenstvo navinutia do dopravníka	S2	A1	E1	W1	5	Preveriť
2	Elektrické nebezpečenstvo						
2.1	Dotyk osôb s časťami, ktoré sa stali živými						
2.1-1	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom od robotov	S3	A2	E2	W3	17	Neakceptovateľné
2.1-2	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom od lisu	S3	A2	E2	W3	17	Neakceptovateľné
2.1-3	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom od živých káblov	S3	A2	E2	W3	17	Neakceptovateľné
2.1-4	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom od automatického dopravníku	S3	A2	E2	W3	17	Neakceptovateľné
2.1-5	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom od elektrickej skrine	S3	A2	E2	W3	17	Neakceptovateľné

3	Tepelné nebezpečenstvo						
3.1	<i>Nebezpečenstvo požiaru</i>						
3.1-1	Nebezpečenstvo požiaru od skratu/poruchy robota	S3	A1	E2	W2	13	Neakceptovateľné
3.1-2	Nebezpečenstvo požiaru od skratu/poruchy lisu	S3	A1	E2	W2	13	Neakceptovateľné
3.1-3	Nebezpečenstvo požiaru od skratu/poruchy dopravníku	S3	A1	E2	W2	13	Neakceptovateľné
3.1-4	Nebezpečenstvo požiaru od vzplanutia zdroja napätia	S3	A1	E2	W2	13	Neakceptovateľné
4	Nebezpečenstvo spôsobené hlukom						
4.1	Nebezpečenstvo poškodenia sluchu od nadmerného hluku zariadení	S0	A1	E2	W1	0	Akceptovateľné
5	Nebezpečenstvo vytvárané vibráciami						
7	Nebezpečenstvo materiálov/ látok						
7.1	<i>Nebezpečenstvo infekcie</i>						
7.1-1	Nebezpečenstvo infekcie od prevádzkových látok	S1	A1	E1	W1	0	Akceptovateľné
7.1-2	Nebezpečenstvo infekcie od čistiacich látok	S0	A1	E2	W1	0	Akceptovateľné
8	Ergonomické nebezpečenstvo						
8.1	<i>Ľudské chyby</i>						
8.1-2	Nebezpečenstvo ľudskej chyby od nesprávneho umiestnenia užívateľských zariadení	S2	A1	E2	W2	7	Preveriť
8.2	<i>Nebezpečenstvo nepohodlia</i>						
8.2-1	Nebezpečenstvo nepohodlia od vývoja nátlaku a stresu	S0	A1	E2	W1	0	Akceptovateľné
8.2-2	Nebezpečenstvo nepohodlia vzniknuté zlým prístupom	S0	A1	E2	W1	0	Akceptovateľné
8.3	<i>Nebezpečenstvo únavy</i>						
8.3-1	Nebezpečenstvo únavy od nesprávneho nastavenia osvetlenia	S2	A2	E1	W1	8	Neakceptovateľné
9	Nebezpečenstvo pošmyknutia, zakopnutia alebo pádu						
9.1	Nebezpečenstvo zakopnutia o ochranné oplotenie	S1	A2	E1	W1	2	Akceptovateľné
9.2	Nebezpečenstvo zakopnutia o dopravník	S1	A2	E1	W1	2	Akceptovateľné
9.3	Nebezpečenstvo zakopnutia o zásobník	S1	A2	E1	W2	3	Akceptovateľné
10	Nebezpečenstvo spôsobené poruchami v dodaní energie						
10.1	Nebezpečenstvo straty uchopovacej sily koncového efektoru	S2	A1	E1	W1	5	Preveriť
10.2	Nebezpečenstvo straty tlaku v koncovom efektore s prísavkami	S2	A1	E1	W1	5	Preveriť
10.3	Nebezpečenstvo vypadnutia energie ochranných zariadení	S2	A2	E1	W1	8	Neakceptovateľné

Príloha 2

Analýza významných nebezpečenstiev (počas montáže/ inštalácie; prevádzky, údržby)				
P. č.	Fáza životného cyklu	Typ ohrozenia podľa ČSN EN ISO 12100:2011		Typ stroja: Robotická bunka na predmontáž skriní čerpadiel
		Stručný popis	ID	Popis nebezpečnej udalosti
1	Montáž a inštalácia/uvedenie do prevádzky			
1.1	Montáž pracoviska	Stlačenie Porezanie Zakopnutie	1.2-1 1.2-2 1.2-3 1.2-4 1.3-1 1.3-2 1.3-3 9.1 9.2 9.3	Pri manipulácii s jednotlivými časťami môže nastať zakopnutie o ukotvené časti alebo stlačenie. Pri dopĺňaní zásobníkov môže dôjsť ku kontaktnému úrazu osoby a robota, porezanie medzi jednotlivými časťami zariadenia.
1.2	Pripojenie do elektrickej siete	Zasiahnutie elektrickým prúdom, požiar.	2.1-1 2.1-2 2.1-3 2.1-4 2.1-5 3.1-4	Pri zapojení k dodávke energií alebo pri zapojení stroja do elektrickej siete hrozí nebezpečenstvo úrazu el. prúdom alebo vznik požiaru.
1.3	Montáž ochranného oplotenia	Stlačenie, zakopnutie elektrické nebezpečenstvo	1.2-4 9.1 10.1	Pri manipulácii s montovanými časťami môže nastať stlačenie alebo zakopnutie. Pri poruche elektrickej energie môže dôjsť k vypnutiu funkcií ochranných zariadení.
1.4	Nastavenie robota a jeho montáž	Stlačenie, naráženie, zasiahnutie elektrickým prúdom, požiar	1.2-1 1.5-1 2.1-1 2.1-3 2.1-5 3.1-1	Pri pohybujúcom sa ramene robota a medzi akýmkoľvek predmetom hrozí nebezpečné stlačenie alebo naráženie. Pri zapájaní robota do siete hrozí nebezpečenstvo elektrickým prúdom alebo požiarom.
1.5	Nastavenie a skúšanie koncového efektoru	Vymrštenie, tlačenie, 3.1-3	1.1-2 1.1-2 10.1 10.2	Pri príprave, pri zobrazení výrobku s koncového efektoru alebo pri testovaní funkčnosti koncového efektoru hrozí vymrštenie efektoru alebo obrobku. Počas skúšania zariadení môže dôjsť k poruche dodávke energie, ktorá môže spôsobiť uvoľnenie koncového efektoru alebo manipulovaný diel.
1.6	Nastavenie a skúšanie dopravníku	Stlačenie, navinutie, elektrické	1.2-2 1.6-1 2.1-4 3.1-3	Pri nastavovaní dopravníku môže nastať stlačenie končatín, navinutie voľného odevu alebo vlasov do jednotlivých častí

		nebezpečenstvo, požiar		dopravníka. Pri nesprávnom zachádzaní s elektrickými káblami a inými zariadeniami môže nastať skrat alebo požiar.
1.7	Nastavenie a testovanie lisov	Vymrštenie, Stlačenie, porezanie, elektrické nebezpečenstvo	1.1-3 1.1-4 1.2-3 1.3-2 2.1-2	Počas nastavovania alebo skúšania lisov môže dôjsť ku vymršteniu montovaných dielov, stlačeniu končatín do pohyblivých častí lisu, porezanie sa o ostré hrany lisu, elektrický skrat zariadenia .
2	Prevádzka			
2.1	Manipulácia s výrobkami	Vymrštenie, odretie, porezanie	1.1-1 1.3-1 1.4-2	Pri neočakávanom vymrštení výrobku zo zariadenia alebo pri manipulácii s výrobkom.
2.2	Kontrola prevádzky	Ergonómia	8.1-2	Pri dlhodobom pozorovaní dielov alebo obrazovky v nesprávnej polohe dochádza ku zdravotným komplikáciám.
2.3	Manipulácia s komponentami	Stlačenie, vymrštenie, odretie	1.1-2 1.1-3 1.1-4 1.2-2 1.2-3 1.2-4 1.4-1	Pri akejkoľvek manipulácii s výrobkami, pri manipulácii s paletami a vykonávanie práce v blízkosti dopravníku môže nastať stlačenie, odrenie.
2.4	Hlučné prostredie	Hluk	4.1	Dlhodobá práca v pracovisku pri zvýšenej hlučnosti môže viesť k narušeniu sluchu.
2.5	Pohyb po pracovisku, kontrola	Porezanie, stlačenie, nepohodlie, zakopnutie	1.3-1 1.3-2 1.3-3 1.2-2 8.1-2 8.3-1 9.1 9.2 9.3	Komponenty nie sú uložené na určenom mieste alebo upadnutie časti zariadenia pri nesprávnej montáži môže spôsobiť stlačenie, porezanie alebo odrenie. Počas kontroly zmontovaných dielov pri nesprávnom použití svetla dochádza k únave očí a neskôr bolesti hlavy. Počas kontroly môže dôjsť k zakopnutiu o niektoré časti zariadení.
2.6	Programovanie a nastavovanie robota	Ergonómia, nepohodlie	8.1-2 8.2-1 8.2-2	Pri programovaní a upravovaní programov robota nastáva pri nesprávne určenom rozložení pracoviska bolesť určitých častí tela a pri vyvíjaní nátlaku na pracovníka dochádza ku pocitu nepohodlia.
3	Údržba a servis zariadení			
3.1	Servis a údržba zariadení	Porezanie, navinutie Infekcia, požiar,	1.3-2 1.6-1 2.1-1 2.1-2	Pri údržbe alebo servise zariadení môže naraziť na ostré hrany a porezať sa alebo môže nastať zasiahnutie el. prúdom, poprípade pri výmene

		elektrické nebezpečnost	2.1-3 2.1-4 2.1-5 7.1-1 7.1-2	kvapalín môže dôjsť ku kontaktu s pokožkou.
3.2	Výmena	Stlačenia, vymrštenie	1.1-2 1.1-3 1.2-1 1.2-2 1.2-3	Pri výmene ľubovoľnej časti v robotickej bunke môže nastať stlačenie alebo vymrštenie.

Príloha 3

VUT v Brne, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel
	Spracovala: Petra Michalová		Dátum: 15.3.2022
Označenie nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečí podľa ČSN EN ISO 12100	
		1. Mechanické nebezpečie	
1.1-1	1	Nebezpečie vymrštenia	
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroje: Prevádzka
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	K vymršteniu môže dôjsť, kvôli nesprávnemu koncovému efektoru robota. V prípade nastavenia malej/ veľkej prítlačnej sily efektor-obrobok, s kombináciou vysokej rýchlosti manipulácie môže dôjsť k vymršteniu obrobku. Počas dopĺňania materiálu do zásobníkov môže dôjsť ku kontaktu robota a obsluhujúcej osoby.		
Počiatočné riziko:	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika 15
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často až trvale	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii			
Popis opatrení:	Označenie efektorov a obrobkov (skriň čerpadla). Obmedziť prístup do priestorov nepovereným osobám. Vybaviť pracovisko v oblasti zásobníkov ochrannou svetelnou bránou a zariadením pre bezpečnostné zastavenie všetkých pohonov/zariadení pracoviska.		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika 12
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia			
Popis opatrení:	Vysoké fyzické oplotenie pracoviska, používanie ochranných prilieb, ktoré sa nachádzajú pred vstupom do pracoviska.		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké zranenie (trvalé následky)	Veľkosť rizika 6
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Krok 3: Informácie pri používaní			
Popis opatrení:	Upozornenie pred vstupom k pracovisku: "Pred vstupom do priestorov robotického bunky nasadiť PRILBU"		
Zníženie rizika po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S1 - ľahké poranenie	Veľkosť rizika 0
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Validácia: Opatrenia sú dostatočné.		Michalová Petra	15.3.2022

VUT v Brně, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA Spracovala: Petra Michalová		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel	
			Dátum: 15.3.2022	
Označenie nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100		
		1. Mechanické nebezpečie		
1.1-2	2	Nebezpečie vymrštenia		
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor	
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroje: Prevádzka	
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	K vymršteniu môže dôjsť, kvôli nesprávnemu koncovému efektoru robota. V prípade nastavenia malej/ veľkej prítlačnej sily efektora, nesprávne dosadenie efektora do upínača alebo poruchou v dodávke energií. Počas dopĺňania materiálu do zásobníkov môže dôjsť ku kontaktu robota a obsluhujúcej osoby.			
Počiatočné riziko:	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika 12	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii				
Popis opatrení:	Zníženie rýchlosti na minimálnu možnú, nastaviť pomalé upínanie efektora. Vybaviť pracovisko v oblasti zásobníkov ochrannou svetelnou bránou a zariadením pre bezpečnostné zastavenie všetkých pohonov/zariadení pracoviska.			
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké zranenie (trvalé následky)	Veľkosť rizika 12	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia				
Popis opatrení:	Vysoké fyzické oplotenie pracoviska, Pridanie senzoru uchopovanie efektora			
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S0 - žiadne nebezpečie	Veľkosť rizika 0	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 3: Informácie pri používaní				
Popis opatrení:	Príkaz nosenia ochranných prilieb. Upozornenie pred vstupom k pracovisku: "Pred vstupom do priestorov robotického bunky nasadiť PRILBU"			
Zníženie rizika po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S0 - žiadne nebezpečie	Veľkosť rizika 0	
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Validácia: Opatrenia sú dostatočné.		Michalová Petra		15.3.2022

VUT v Brne, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA Spracovala: Petra Michalová		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skríň čerpadiel	
			Dátum: 15.3.2022	
Označenie nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100		
		1. Mechanické nebezpečie		
1.2-4	3	Nebezpečie stlačenia		
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor a jeho blízke okolie	
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroja: Prevádzka	
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	Pri spustení predmontáže na pracovisku sa spustí automatické zatvorenie ochranného pohyblivého krytu, hrozí stlačenie časti tela, alebo končatín.			
Počiatočné riziko:	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké zranenie (trvalé následky)		Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii				
Popis opatrení:	Zníženie prítláčnej sily zatvárania ochranného pohyblivého krytu a pridanie senzorov sledovania zmeny zatvárania/ otvárania pohyblivého ochranného krytu.			
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S1 - ľahké poranenie		Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia				
Popis opatrení:	Pridanie gumových dorazov na pevnú časť dverí			
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S0 - žiadne nebezpečie		Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Krok 3: Informácie pri používaní				
Popis opatrení:	Viditeľná tabuľa s varovaním "Automatické zatváranie ochranných pohyblivých krytov - dodržuj odstup"			
Zníženie rizika po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S0 - žiadne nebezpečie		Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka až často		
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností		
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá		
Validácia: Opatrenia sú dostatočné.		Michalová Petra		15.3.2022

VUT v Brně, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA Spracovala: Petra Michalová		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel Dátum: 15.3.2022
Označenie nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100 2. Elektrické nebezpečenstvo	
2.1-1	4	Nebezpečie stlačenia	
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor bunky
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroja: Servis, údržba
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	Nebezpečenstvo zasiahnutia el. prúdom pri opravovaní zariadení		
Počiatočné riziko:	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často	17
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W3 - veľká	
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii			
Popis opatrení:	Potrebné zaistiť splnenie požiadavkou na elektrické zariadenia predpísané normu ČSN EN 60204-1:2007.		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často	16
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W2 - stredná	
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia			
Popis opatrení:	Zabezpečiť prístup k práci na elektronickom zariadení iba osobám, ktoré splnili elektrotechnickú vyhlášku kvalifikácie (vyhlášky 50/1978 Sb.).		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké poranenia	Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A2 - často	9
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E1 - možné	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W2 - stredná	
Krok 3: Informácie pri používaní			
Popis opatrení:	Umiestnenie štítku na zariadenie s upozornením na nebezpečie vzniku možného úrazu el. prúdom. Upozornenie v návode na použitie: „Prácu s el. zariadením môže uskutočňovať iba oprávnená osoba.“		
Zníženie rizika po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké poranenia	Veľkosť rizika
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka	5
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečiu	E1 - možné	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Validácia: Opatrenia sú dostatočné.		Michalová Petra	15.3.2022

ID: 2.1-2; 2.1-3; 2.1-4; 2.1-5 = Rovnaký priebeh znižovania rizík

VUT v Brne, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA		Stroj: Robotická bunka na predmontáž skriň čerpadiel
	Spracovala: Petra Michalová		Dátum: 15.3.2022
Označenie nebezpečia	Identif. číslo	Označenie nebezpečie podľa ČSN EN ISO 12100	
		3 Tepelné nebezpečenstvo	
3.1-1	5	Nebezpečenstvo požiaru	
Životná etapa stroja:	Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor bunky
Ohrozené osoby:	Operátor, programátor, údržba		Prevádzkový stav stroja: Servis, údržba
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	Nebezpečenstvo požiaru v prípade skratu		
Počiatkové riziko:	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika 13
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečeniu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W2 - stredná	
Krok 1: Opatrenia zabudované v konštrukcii			
Popis opatrení:	Výrobca musí zaistiť, aby požiadavky na elektrické zariadenia spĺňali predpísanú normu ČSN EN 60204-1:2007. Zabudovanie ochranných krytov na elektrické zariadenia.		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S3 - smrť	Veľkosť rizika 12
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečeniu	E2 - možné za určitých okolností	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Krok 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia			
Popis opatrení:	Uskutočnenie práce na elektronickom zariadení iba osobám, ktoré splnili elektrotechnickú vyhlášku kvalifikácie (vyhlášky 50/1978 Sb.). Vybavenie pracoviska a jeho okolia vyhovujúcimi hasiacimi prístrojmi určené na hasenie elektrických zariadení.		
Znížené riziko po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké zranenia	Veľkosť rizika 9
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečeniu	E1 - možné	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Krok 3: Informácie pri používaní			
Popis opatrení:	Štítok umiestnený na zariadení s upozornením na nebezpečie vzniku možného úrazu el. prúdom. Upozornenie v návode na použitie: „Prácu s el. zariadením môže uskutočňovať iba oprávnená osoba.“ „Umiestnenie bezpečnostného upozornenia:“ POZOR, elektrický prúd.“ Označiť umiestnenie hasiacich zariadení		
Zníženie rizika po opatreniach	Závažnosť možnej škody na zdraví	S2 - ťažké zranenia	Veľkosť rizika 5
	Početnosť a doba trvania ohrozenia	A1 - zriedka	
	Možnosť vyvarovania sa nebezpečeniu	E1 - možné	
	Pr. výskytu nebezpečnej udalosti	W1 - malá	
Validácia: Opatrenia sú dostatočné.		Michalová Petra	15.3.2022

ID: 3.1-2; 3.1-3; 3.1-4 --> Rovnaký priebeh znižovania rizík