

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**ROBOTIZACE MONTÁŽE
ZÁMKOVÉ VLOŽKY**

2022

**THOMAS
ASTER**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Aster** Jméno: **Thomas** Osobní číslo: **466468**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**
Studijní program: **Průmysl 4.0**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Robotizace montáže zámkové vložky

Název diplomové práce anglicky:

Robotization of the lock insert assembly

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše literatury robotizace a montáží
2. Analýza montážního procesu
3. Návrh robotizace
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Kellner ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.06.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **15.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomášovi Kellnerovi za trpělivost a vedení této práce, dále za všechny cenné rady, jež velkým dílem přispěly k dopsání této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je sestavení návrhu optimalizace manuálního pracoviště montáže zámkových vložek za účelem zvýšení ergonomičnosti a následné zpracování plně robotizované varianty s cílem navýšení produktivity. Aby bylo docíleno optimálního výsledného návrhu, bude provedena technická a ergonomická analýza původního pracoviště. Pro následné vytvoření návrhu robotického pracoviště budou nejprve vytvořeny různé varianty založené na momentálních trendech v automatizovaných výrobcích a jedna bude vybrána pro finální zpracování.

Klíčová slova: montáž, robotizace, ergonomie, automatizace

Abstract

The aim of this master thesis is to design an optimization of a manual workplace for the assembly of lock inserts in order to increase ergonomics and then to develop a fully robotized version in order to increase productivity. In order to achieve an optimal final design, a technical and ergonomic analysis of the original workstation will be carried out. For the subsequent creation of the robotic workstation design, different variants will first be created based on current trends in automated manufacturing and one will be selected for final processing.

Key words: assembly, robotization, ergonomic, automation

Obsah

| | |
|--|-----------|
| OBSAH | 6 |
| ÚVOD | 8 |
| 1 TEORIE MONTÁŽE | 9 |
| 1.1 ROZDĚLENÍ METOD MONTÁŽE | 10 |
| 1.1.1 <i>Druh pracoviště</i> | 10 |
| 1.1.2 <i>Pozice ve výrobním procesu</i> | 10 |
| 1.1.3 <i>Z hlediska vyměnitelnosti součástí</i> | 11 |
| 1.1.4 <i>Z hlediska organizace práce</i> | 12 |
| 1.1.5 <i>Z hlediska časové součinnosti strukturálních jednotek</i> | 14 |
| 1.2 NORMOVÁNÍ PRÁCE | 16 |
| 1.2.1 <i>Normativy</i> | 16 |
| 1.2.2 <i>Dílčí složky pracovních operací</i> | 17 |
| 1.2.3 <i>Pracovní normy</i> | 17 |
| 1.2.4 <i>Třídění času</i> | 18 |
| 1.2.5 <i>Měření spotřeby času</i> | 20 |
| 1.2.6 <i>Stanovení norem času</i> | 21 |
| 2 AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE | 24 |
| 2.1 ROBOTIZACE | 24 |
| 2.1.1 <i>Rozdělení robotů</i> | 25 |
| 2.2 TYPY PRACOVIŠŤ | 28 |
| 2.3 KOLABORATIVNÍ PRACOVIŠŤE | 31 |
| 2.4 BEZPEČNOST ROBOTICKÝCH PRACOVIŠŤ | 32 |
| 3 ERGONOMIE | 36 |
| 3.1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST PRÁCE | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2 | LOKÁLNÍ SVALOVÁ ZÁTĚŽ..... | 37 |
| 3.3 | RIZIKOVÉ FAKTORY..... | 38 |
| 3.4 | PRACOVNÍ MÍSTO | 40 |
| 4 | ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU | 44 |
| 4.1 | ROZBOR MONTOVANÉ SOUČÁSTI | 44 |
| 4.1.2 | <i>Základní postup manuální montáže</i> | <i>48</i> |
| 4.2 | VÝCHOZÍ PRACOVNÍ MÍSTO MONTÁŽE..... | 49 |
| 4.2.1 | <i>Varianta A</i> | <i>49</i> |
| 4.2.2 | <i>Varianta B</i> | <i>56</i> |
| 5 | NÁVRH OPTIMALIZACE PRACOVNÍ MÍSTO | 58 |
| 5.1 | NÁVRH OPTIMALIZOVANÉHO RUČNÍHO PRACOVNÍ MÍSTO | 58 |
| 5.1.1 | <i>Ergonomické vyhodnocení</i> | <i>61</i> |
| 5.1.2 | <i>Ekonomické vyhodnocení.....</i> | <i>65</i> |
| 5.2 | NÁVRH PLNĚ ROBOTIZOVANÉHO PRACOVNÍ MÍSTO | 65 |
| 5.2.2 | <i>Rozpracování zvolené varianty</i> | <i>71</i> |
| 5.2.3 | <i>Ekonomické vyhodnocení.....</i> | <i>85</i> |
| 6 | ZÁVĚR | 90 |
| 7 | REFERENCE | 91 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 95 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 96 |
| | SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE..... | 98 |

Úvod

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh několika variant pracoviště montáže cylindrické zámkové vložky. Nejprve ergonomicky optimalizovaného manuálního pracoviště a dále automatizovaného pracoviště za pomoci průmyslového robotu, které bude mít za cíl maximalizování produktivity s co nejmenšími vstupními náklady.

První část této práce se zabývá řešením této problematiky neboli základy strojírenské montáže jako takové, jednotlivých ergonomických pravidel a zásad nutných pro správné vytvoření jednotlivých pracovišť. Dále se bude zabývat automatizací samotnou, a to primárně rozdělením a aplikacemi jednotlivých druhů robotů jejich možnou aplikací a pravidly pro jejich bezpečné používání.

Druhá část se bude zabývat rozborem montované součásti, montážním postupem a analýzou simulovaného manuálního pracoviště, s primárním zaměřením na jeho ergonomičnost, která bude vyhodnocena pomocí programu SIEMENS Tecnomatix Jack. Na základě analýzy bude vytvořeno optimalizované pracoviště, s cílem odstranění veškerých chyb původního pracoviště a s ekonomickým vyhodnocením.

Ve třetí části bude vytvořeno několik koncepčních návrhů robotického pracoviště a na základě zvolených kritických parametrů bude jedno z pracovišť vybráno pro následné důkladné zpracování, ve kterém budou vyhodnoceny jednotlivé problematické aspekty pracoviště a na základě určených požadavků budou vybrána jejich optimální řešení. Práce bude zakončena ekonomickým a technickým vyhodnocením navržených pracovišť.

1 Teorie montáže

Tato diplomové práce se zabývá vytvořením montážních pracovišť, tato kapitola bude tedy zaměřena na seznámení se s problematikou montáže jako takové, jejími pojmy a základními principy.

Montáž je finální částí výrobního procesu a lze ji charakterizovat jako postupné složení všech vyrobených výrobků do uzlů, funkčních skupin, až po finální celek, který vyhovuje požadovaným technickým a kvalitativním parametrům. Z celkového počtu pracovníků v sektoru výroby pracuje téměř 50 % v montáži, avšak toto procento se u větších podniků snižuje z důvodů daleko většího stupně mechanizace a automatizace těchto úkonů.[1] [4]

Základní pojmy

V oblasti montáže se často vyskytují následující pojmy charakterizované jako:

- **Montážní proces** – jedná se o podsystém výrobního systému, jehož cílem je montáž výrobků
- **Montážní operace** – je ukončená část montážního procesu, realizovaná při montáži celku nebo výrobku jedním nebo více pracovníky na jednom pracovišti, povětšinou bez přestavění montážního zařízení
- **Montážní úkon** – je jednoduchá ucelená činnost pracovníka, složená z několika montážních pohybů, například vyndání součásti ze stroje
- **Montážní pohyb** – elementární činnost pracovníků, jedná se o jednotlivé pohyby vykonávané v rámci pracovní pozice
- **Technologický postup montáže** – pro danou součást učený souhrn operací pro spojení jednotlivých součástí výrobku, zároveň zahrnuje jednotlivé nástroje k vykonání těchto úkonů, tak aby vše odpovídalo nárokům výkresů a technickým podmínkám

1.1 Rozdělení metod montáže

Samotnou montáž lze rozdělit na základě několika základních okolností jejího provádění. Ovlivněna je například sériovostí, velikostí a složitostí jednotlivých výrobků. Primárně je dělení prováděno dle 4 faktorů, mezi které se řadí druh pracoviště, tedy zda se jedná o ruční či mechanizované. Dále pak dle pozice ve výrobním procesu, poté z hlediska vyměnitelnosti součásti a posledním faktorem je uvažována organizace práce na pracovišti. Jednotlivé faktory jsou dále rozepsány v následujících podkapitolách.

1.1.1 Druh pracoviště

Jedním z nejzákladnějších způsobů dělení, je dělení na základě rozsáhlosti lidské intervence do montážního procesu. Dle stupně automatizace lze tedy dělit na následující 3 skupiny:

- **Ruční montážní pracoviště** – Jedná se o pracoviště plně obsazené lidským pracovníkem. Výhodou této montáže je vysoká univerzálnost a zároveň velice nízké náklady, avšak za cenu většího počtu pracovníků a nižší produktivity.
- **Mechanizované montážní pracoviště** – V případě vyšší sériovosti je výhodné pro zvýšení produktivity využití poloautomatických pracovišť, u kterých dochází k prolínání specializovaných strojů s lidskými pracovníky.
- **Automatizované montážní pracoviště** – U plně automatizovaného montážního pracoviště je téměř veškerá práce vyhrazena robotům, lidé v tomto pracovišti provádějí pouze kontrolu chodu a výsledku, avšak i kontrolní práce lze realizovat za pomoci kamer a čidel.

1.1.2 Pozice ve výrobním procesu

- **Interní**

Jedná se o montáž, která je prováděna přímo ve výrobním procesu samotného podniku s tím, že po jejím dokončení je výrobek většinou připraven k přímému použití, tedy není zapotřebí dalších montážních operací.

- **Externí**

Je prováděna mimo samotný výrobní závod podniku neboli je třeba předpřipravené součásti montovat až na místě používání. Tato montáž se týká primárně velkých a těžkých strojů, u kterých je daleko jednodušší doprava jednotlivých součástí než finálního zařízení.

1.1.3 Z hlediska vyměnitelnosti součástí

Metoda absolutní vyměnitelnosti

Tato metoda se vyznačuje tím, že umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé členy rozměrového řetězce, zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích, bez předchozího výběru či přizpůsobení a plně zabezpečuje přesnost závěrečného členu. [4]

Metoda částečné vyměnitelnosti

U této metody se předpokládá, že skutečné rozměry jednotlivých členů jsou vlivem nahodilých chyb rozloženy v celé šíři tolerančního pole s tím, že krajní hodnoty jsou méně časté než hodnoty střední, a tedy pravděpodobnost setkání extrémních rozměrů jednotlivých členů klesá se zvětšujícím se počtem členů v řetězci. [4][28]

Metoda výběrová

Tato metoda je uplatňována v případě, že požadovaná vůle či přesah vzhledem k pracovním podmínkám je tak malá, že je velmi obtížné dodržet tolerance rozměrů jednotlivých součástí. Součásti se tedy vyrábí s většími tolerancemi a přesnosti je dosaženo vybíráním součástí, které navzájem požadované přesnosti dosáhnou (např. k díře blížící se horní hranici je vybrána větší hřídel apod.). [4]

Metoda lícování

Je založena na principu výroby jednotlivých součástí s většími tolerancemi, s následným lícováním jedné vybrané součásti tak, aby bylo dosaženo extrémně vysoké přesnosti daného mechanismu. Lícovaná součást se nazývá kompenzátor. Kompenzátor

nelze udělat ze součásti vytvářející paralelní spojení v daném řetězci. V ideálním případě by měl kompenzátor být poslední součástí řetězce. [4]

Metoda regulační

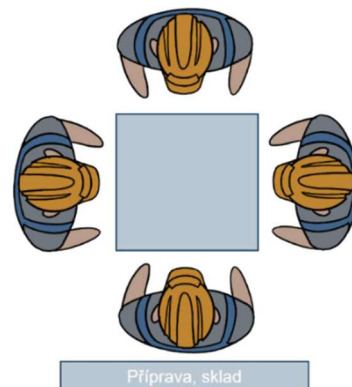
Tato metoda využívá vložení jednoho či více kompenzátorů do řetězce tak aby bylo dosaženo požadované výsledné přesnosti. Popřípadě využívá možnost dosažení tolerance změnou polohy členu. [4]

1.1.4 Z hlediska organizace práce

Stacionární

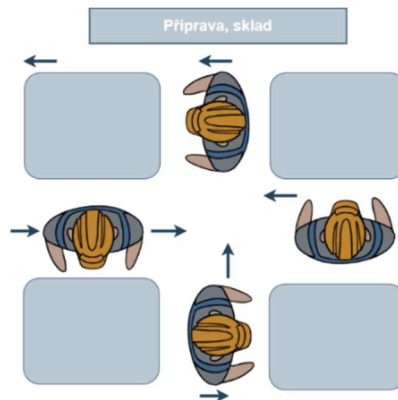
Stacionární montáž je často prováděná na větších výrobcích a je založena na principu nepohyblivého montážního celku, na kterém pracuje jeden či více dělníků. Dále ji lze dělit na soustředěnou a rozčleněnou stacionární montáž:

- **Soustředěná stacionární montáž** (Obr. 1) je prováděná z jednotlivých součástí koncentrovaných na jedné pracovní pozici skupinou pracovníků bez definovaných časových norem na operace. Primárně je tento způsob montáže uplatněn v kusové výrobě například v letectví či kosmonautice. [4]



Obr. 1 - schéma soustředěné montáže [1]

- **Rozčleněná stacionární montáž** (Obr. 2) má výrobek rozdělen na jednotlivé montážní celky, které se souběžně montují na několika pracovních místech a finální montáž je prováděná zvláštní skupinou pracovníků. [4]

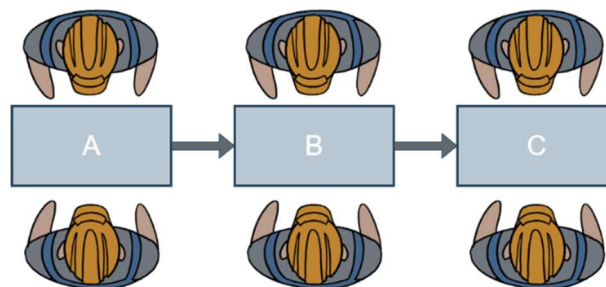


Obr. 2 - Schéma rozčleněné montáže [1]

Pohyblivá

Při pohyblivé montáži jsou jednotlivé výrobky či montážní celky montovány současně v několika montážních operacích. Při tomto procesu se buď pohybují samotné montážní celky k jednotlivým pracovištím nebo se naopak pohybují pracovníci vykonávající neustále stejné úkony po jejichž dokončení se přesunou k montážním stanovištím, kde jsou umístěné jednotlivé výrobky. Montáž s pohybujícím se montážním celkem je koncipována následujícími způsoby:

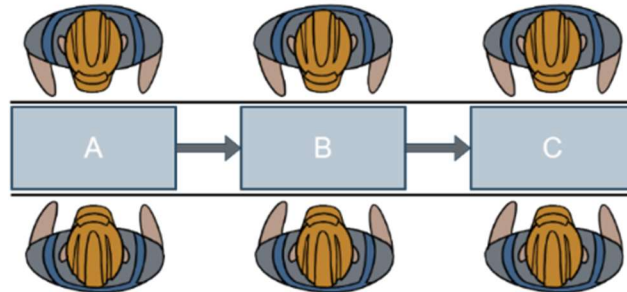
- **Řadová montáž** (Obr. 3) nebo též předmětná montáž, je uspořádána dle montážního postupu, přičemž může být periodická, kdy jednotlivé operace jsou prováděny v pravidelných časových intervalech, nebo neperiodická. [1]



Obr. 3 - Schéma řadové montáže [1]

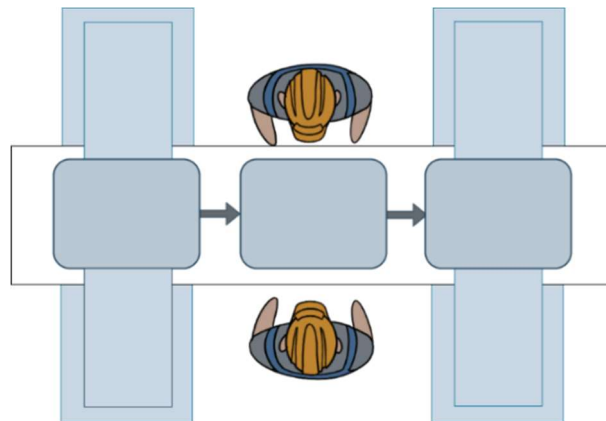
- **Linková montáž** (Obr. 4) se vyznačuje tím, že daný montovaný předmět je posouván k jednotlivým stacionárním pracovištím, na kterých se vykonávají

jednotlivé operace. Dále se vyznačuje asynchronním taktem, který je udáván jednotlivými pracovišti. Je uplatňována ve velkosériové výrobě. [1]



Obr. 4 - schéma linkové montáže [1]

- **Proudová montáž** (Obr. 5) – Při této organizaci montáže jsou veškerá pracoviště synchronizována a jednotlivé montážní práce jsou u jednotlivých stanovišť redukovány až na úroveň jednotlivých úkonů. Je uplatňována výhradně ve velkosériové a hromadné výrobě s vysokým stupněm automatizace. [1]

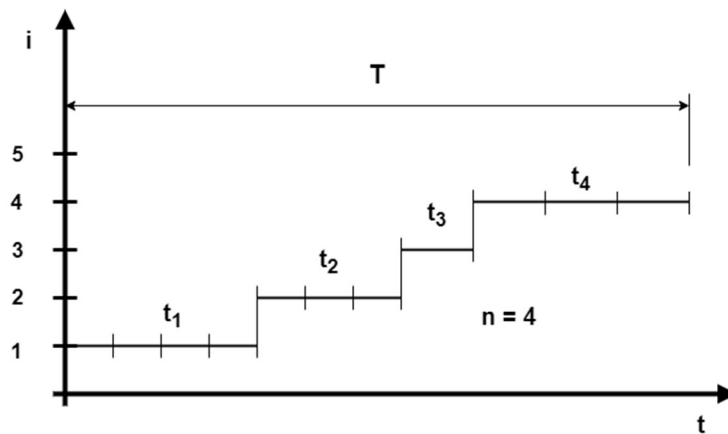


Obr. 5 - schéma proudové montáže [1]

1.1.5 Z hlediska časové součinnosti strukturálních jednotek

Postupná montáž

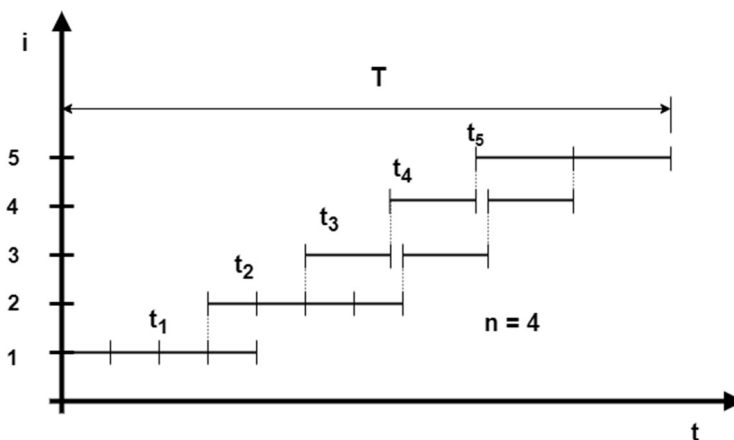
Je založena na sobě navazujících jednotlivých montážních operacích. Její použití je vhodné primárně v jednoduchých malých montážních celcích, jejichž pracoviště lze uspořádat technologickým způsobem. Schéma postupné montáže je na Obr. 6



Obr. 6 - Postupná montáž [4]

Souběžná montáž

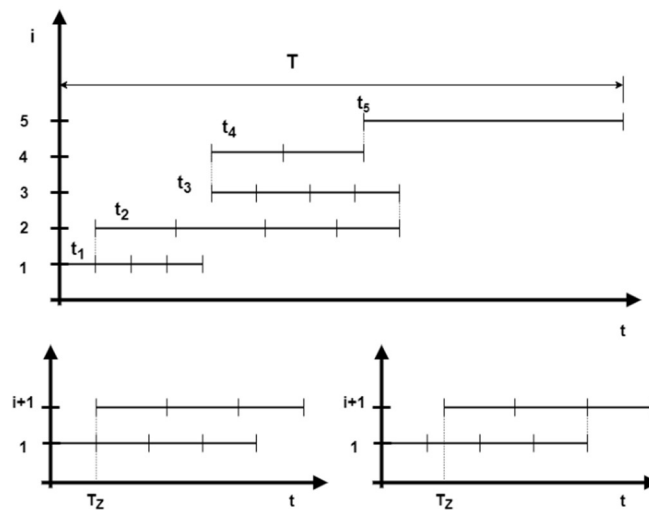
Po provedení i -té montážní operace se výrobek (nebo částečná dávka výrobků) přesune na další pracoviště, kde se bezprostředně začne provádět operace $i+1$ jak je zobrazeno na Obr. 7.



Obr. 7 - Schéma souběžné montáže [4]

Kombinovaná montáž

Spojením dvou předešlých způsobů je dosaženo kombinované montáže, jež je velmi výhodná v tom aspektu, že pracoviště jejichž operační časy jsou relativně krátké vůči ostatním, nemusejí čekat na dokončení delších montážních operací. To znamená, že pracovníci mohou po nakumulování kratších operací přejít k jiné práci, dle grafu na Obr. 8. [4]



Obr. 8 - Schéma kombinované montáže [4]

1.2 Normování práce

V posledních letech je v České republice stále větší problém najít pracovní síly na obsazení pozic ve výrobním procesu. Je tedy stále důležitější co nejvíce optimalizovat veškerou práci a maximalizovat tak produktivitu. Toho lze dosáhnout standardizací pracovních postupů a stanovením nezbytně nutného objemu lidské práce, který je třeba ke kvalitnímu provedení dané činnosti.

Normování lidské práce je tedy využíváno zejména pro plánování výroby, potřebného počtu pracovníků pro naplnění plánu výroby a získání času potřebného pro vykonání jednotlivých činností a následnou kontrolu vykonávaného objemu práce. [26]

1.2.1 Normativy

Často v souvislosti s normami se dále pojí normativy. Normativy vyjadřují dílčí údaj určité normy. Jsou stanoveny pro dílčí složky pracovních operací od úseku až po jednotlivé pohyby, kdežto normy jsou stanoveny pro celou pracovní operaci. [9]

Jejich získávání je založeno na dlouhém vědeckém výzkumu a dlouhodobém systematickém pozorování a měření s využitím matematicko-statistického výpočtu. Tyto výsledky jsou dále zaznamenány do tabulek.

Normativy jsou děleny do tří skupin:

- Normativ času
- Normativ četnosti
- Technologický normativ

1.2.2 Dílčí složky pracovních operací

Pro správné normování lidské práce je třeba rozdělit pracovní činnosti na dílčí prvky, pro které jsou dále určeny samotné normy času. Základní dělení výrobního postupu je následovné [10]:

- **Operace**
Jedná se o časově souvislou část výrobního postupu, může se jednat například o namontování, soustružení či sváření a je přidělována jednotlivým pracovníkům nebo četám.
- **Úsek**
Je část operace (např. našroubování součásti), ze které by bylo možné vytvořit samostatnou operaci, kdyby to ekonomické či organizační podmínky požadovaly.
- **Úkon**
Je souhrn všech vykonaných pohybů, potřebných pro provedení samostatné činnosti (např. šroubování, výměna nástroje apod.)
- **Pohyb**
Základní element operace, který nemá sám o sobě žádný pracovní účinek.
- **Mikro-pohyb**
Jedná se o nejzákladnější pozorovatelnou a měřitelnou složku pracovní činnosti.

1.2.3 Pracovní normy

Jedná se o soubor veškerých předpisů a pravidel jež určují způsoby, kterými se mají jednotlivé práce hospodárně vykonávat, kvalifikaci potřebnou k jejímu provádění a dobu, kterou kvalifikovaný pracovník pro její vykonání bude potřebovat. Do pracovních norem jsou zařazeny následující tři podskupiny [9][10]:

Normy pracovního postupu

Udávají způsoby, kterými je určitá práce, která probíhá za určitých předepsaných technickoorganizačních podmínek, vykonávána.

Normy pracovní kvalifikace

Určují potřebné kvalifikace pro jednotlivé pracovní pozice, pro jednoduší výběr potřebných zaměstnanců.

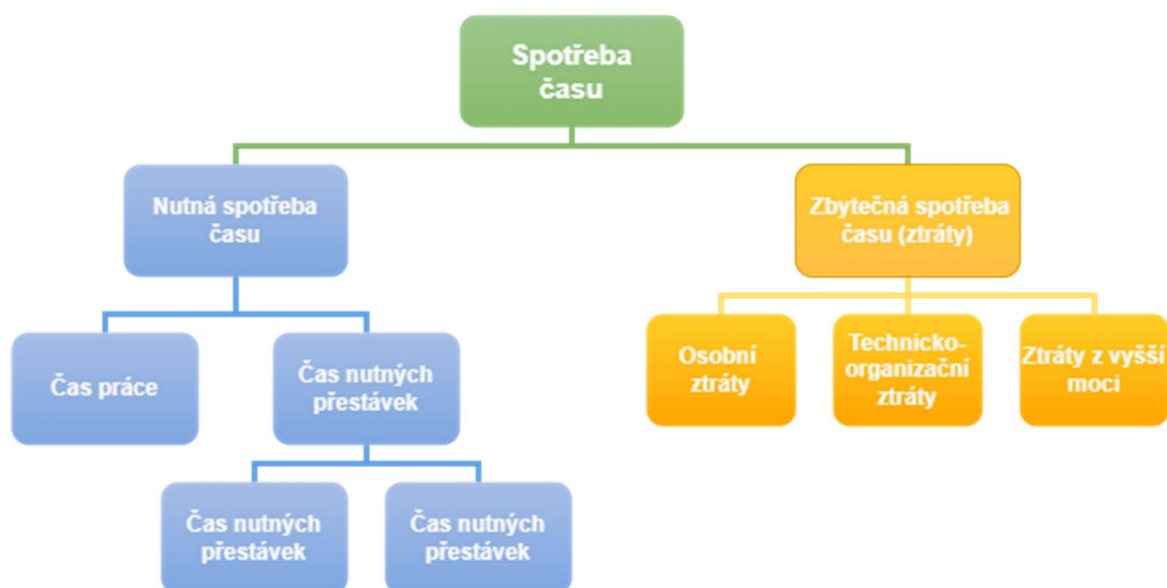
Normy spotřeby práce

Jedná se o normy, které se používají jako měřítko pro vyjádření nutného vynaložení živé práce, potřebné pro správné vykonání zadané práce. Hlavní jednotkou je jednak samotný čas spotřebovaný prací, dále pak složitost dané práce při určité intenzitě jejího vykonávání. [10][13]

Primárně je důležité při jejich sestavování přihlížet na charakter vykonávané práce a na jednotlivé dílčí faktory, jako je požadovaná přesnost, kvalita, technické možnosti a ekonomická účelovost stanovení technologického postupu. Nejčastěji se jedná o normy výkonové, které nám stanovují množství nutného času pro produkci měrné jednotky či určitého množství jednotek za určitý čas.

1.2.4 Třídění času

Pro správné analyzování času, vynaloženého na provádění jednotlivých pracovních operací a následné nalezení a odstranění zbytečných činností, které nijak nepřispívají k naplnění daných úkolů, je třeba spotřebovaný čas rozdělovat do několika kategorií a skrz ně celý proces optimalizovat. Jednotlivé kategorie jsou zobrazeny na následujícím Obr. 9:



Obr. 9 - Schéma třídění časů [27]

Čas nutný (T_n)

Je čas nezbytně potřebný pro dokončení přiděleného úkolu, zahrnující jak časy práce, tak časy nutných, vynucených i nevynucených přestávek.

- **Čas práce** je doba, ve které pracovník vykoná jednotlivé pracovní činnosti, potřebné pro splnění zadaného úkolu. Dále se tento čas dělí na čas manuální práce, čas nutný k dohledu na chod stroje/zařízení, čas regulace, čas potřebný pro seznámení se s prací a čas potřebný na přecházení mezi jednotlivými stroji.
- **Čas přestávek obecně nutných** – Přestávky obecně nutné jsou definovány jako čas plynoucí z fyziologických potřeb pracovníka, tedy například čas na svačinu, oddech a vykonání potřeb.
- **Čas přestávek podmíněčně nutných** vyplývá ze samotné organizace práce na pracovišti. Jedná se například o čas, kdy pracovník čeká na dokončení práce stroje nebo dokončení práce dalších pracovníků.

Čas zbytečný (T_z)

Zahrnuje veškeré časy za směnu, jež nijak nepřispívají k naplnění pracovních úkolů a nejsou tedy zapotřebí. Přesněji tento čas se dále rozděluje na:

- **Osobní ztráty** – jsou takové jež vznikly porušením pracovní disciplíny. Jedná se tedy například o zbytečné rozhovory či pozdní příchod na pracoviště.
- **Technicko-organizační ztráty** – jsou ztráty zapříčiněné špatným technickým nebo organizačním stavem pracoviště a nejsou tedy přímo zaviněné pracovníkem. Lze sem zařadit například poruchu stroje nebo čekání na dodání další dávky součástí či materiálu.
- **Ztráty z vyšší moci** – jsou neovlivnitelné ztráty a dochází k nim náhodně. Primárně se tyto ztráty vyskytují v odvětvích silně ovlivněných počasím a ostatními přírodními vlivy, tedy například zemědělství nebo stavebnictví.

1.2.5 Měření spotřeby času

Základem správného sestavení norem času je zajištění co nepřesnějšího měření a vyhodnocení všech časových ztrát. Základní metodou je snímkování práce, které slouží k získání tzv. pracovního snímku, který je přehledem o rozložení a velikosti jednotlivých časů v průběhu časového úseku nebo celé směny. Tato metoda pracuje na principu sledování analyzovaného pracoviště, z něž vychází zápis o jednotlivých prováděných činnostech a časech k nim potřebných.

Snímek pracovního dne může být:

- **Snímek pracovního dne jednotlivce** je využíván, když je zapotřebí získat podrobných informací ohledně daného pracoviště, jelikož však v průběhu dne může dojít k náhodným jevům, je nutné toto měření provádět několikrát. [10][27]
- **Hromadný snímek pracovního dne** je zaměřen na spotřebu času několika pracovníků vykonávající odlišné úkoly. Při měření pozorovatel obchází jednotlivá pracoviště a připisuje pro každého pracovníka jednotlivé činnosti a spotřebu času. Jedná se sice o méně přesnou metodu, avšak s vyšší produktivitou. [10]
- **Snímek pracovního dne čtyry** lze využít, je-li důležité získat informace nejen o jednotlivcích, ale i o jednotlivých vazbách a vzájemné spolupráci skupin. [10]

- **Vlastní snímek pracovního dne** je na rozdíl od ostatních forem vykonáván pracovníkem samostatným, a ne vnějším pozorovatelem. Pracovník musí být nejprve proveden správnými postupy a metodikou záznamu. Pracovníci mohou rychle definovat vzniklé ztráty, jelikož mají proces často velmi dobře naučený. [10]
- **Momentové pozorování** nevyužívá přímé měření času, ale spočívá na teorii pravděpodobnosti. Dochází při něm k náhodnému pozorování jednotlivých pracovišť a zaznamenání prováděné činnosti. Z výsledných četností jednotlivých činností se následně vyvozují podíly na práci za směnu s předpokladem, že náhodný vzorek lze využít pro odhad skutečného podílu v celém čase směny. Velikou výhodou je možnost pozorování velkého množství pracovišť relativně snadně, avšak pokud je požadována vyšší přesnost, je nutné zvýšení intervalu pozorování. [10][27]

1.2.6 Stanovení norem času

Aby stanovené normy měly požadovaný efekt, je potřeba dbát na nejvyšší kvalitu a přesnost při jejich sestavování. Veškeré normy jsou sestavovány pomocí metod zapadajících do dvou následujících skupin:

Rozborové metody

Jedná se skupinu metod, jejichž podstatou je prvně provedení rozboru normované práce na jednotlivé pracovní složky, u kterých se následně vyhodnotí jejich efektivita, ergonomičnost a ekonomická stránka. Na základě těchto rozborů se stanoví změny a úpravy těchto postupů, vypočítají se potřebné časy změněných sekcí a na těchto základech se sepíše daná norma.

- **Metoda rozborově výpočtová**
Je založena na získávání jednotlivých časů pomocí normativů času, tedy předpokládaných hodnot nutné spotřeby času pracovníka na určitou dílčí složku normované práce. [10][27]

- **Metoda rozborově chrono-metrážní**

Spočívá v důkladném rozboru operace a jejích jednotlivých složek. Pro jednotlivé úkony využívá přímé měření času (chronometráž). Jedná se o velice pracnou, avšak velice důkladnou metodu, je však nutné ji používat pouze v zaběhnutých operacích, kde pracovníci mají dokončenou fázi zácvičku. [10]

- **Metoda rozborově porovnávací**

Tato metoda je založena na principu zkoumání konstrukčně podobné a technologicky stejné součásti a na základě toho vyvozuje normy pro nové, podobné součásti. K získání normy času se provede porovnání poměru ploch, rozměrů, hmotnosti apod. Hlavní výhodou této metody je její rychlost a možnost stanovení normy před zavedením součásti do výroby. [10][27]

Sumární metody

Tyto metody se používají spíše jako dočasné řešení, jelikož jejich sestavení nevychází z rozboru vykonávané operace a nevyužívají tak normativních časů jejích jednotlivých částí. Jsou stanoveny pouze na základě hrubých předpokladů technických a organizačních podmínek a jednotlivé časy jsou získány porovnáním s podobnými operacemi nebo odhadem. Jedná se tedy o metody méně přesné, které se používají například u zavádění nové výroby. [10][27]

- **Metoda sumárních empirických vzorků**

Tato metoda je založena na výpočtu závislosti normy jednotkového času na hlavním činiteli, kterým je například základní rozměr výrobku, za pomoci empirického vzorce. Zejména se tato metoda používá v oblastech malosériové a kusové výroby. [10][27]

- **Metoda sumárně porovnávací**

Tato metoda se na rozdíl od metody rozborově porovnávací, udává čas normy jako celek. Porovnávají se dvě operace, které jsou technologicky i tvarově podobné a určuje se, v čem se odlišují. Identifikují se činitele, kteří mají největší vliv na spotřebovávaný čas. Optimální je využití minimálně dvou výchozích

norem s tím, že čas určované normy by se neměl lišit více, než o 25 % od norem původních.[10]

- **Metoda statistická**

Výsledná norma času je sestavována na základě průměrného výkonu z ostatních operací, které jsou zavedeny do operativní statické evidence. Z průměrného výkonu se dále získává závislost potřebného času na měrnou jednotku výkonu (kus, kg apod.). Takto sestavené normy mají však poměrně nízkou přesnost, jelikož statické evidence ostatních operací v sobě často zahrnují nevidované ztráty. [10][27]

- **Metoda sumárního odhadu**

Jedná se o nejjednodušší způsob, kterým lze určit normu času, avšak je velmi závislý na zkušenostech normovače. Tato metoda by neměla sloužit určování dlouhodobých norem, ale pouze jako základ před vytvořením norem času některou z přesnějších metod. [10]

2 Automatizace a robotizace

Jelikož část této práce bude založena na vytvoření robotického pracoviště montáže, bude v následující kapitole přiblížena problematika automatizace a robotizace výrobních procesů. Primárně bude tato kapitola zaměřena na jednotlivé robotické systémy a jejich správné zabezpečení dle platných norem.

Automatizace ve zkratce označuje použití řídicích systémů (např. regulátorů, počítačů) k řízení průmyslových zařízení a procesů. Z pohledu industrializace jde o krok následující po mechanizaci. Zatímco mechanizace poskytuje lidem k práci zařízení, které jim usnadňuje práci, automatizace snižuje potřebu přítomnosti člověka, při vykonávání určité činnosti. Dalším stupněm je robotizace, která se zabývá uplatňováním univerzálních robotických zařízení. [6]

2.1 Robotizace

Ač velmi zásadní součástí, robotizace jako taková není to samé jako automatizace, ale jen jeden z jejích vyšších stupňů. Kde automatizace popisuje pouze usnadnění práce pomocí nástrojů ať už fyzických nebo softwarových, robotizace nastává ve chvíli, kdy nástroje (roboty) samotné vykonávají danou práci.

V oblasti výroby a montáže u větších podniků je čas jedním z hlavních aspektů ovlivňujících výnosy a s postupnou evolucí robotické práce, která je v mnoha ohledech rychlejší a přesnější než u lidí, je lidská práce stále častěji nahrazována prací robotickou.

Hlavní nevýhodou robotické práce byla v posledních letech její velká pořizovací cena a horší schopnosti jemné manipulace různorodých předmětů. Avšak s vývojem v senzorce a umělé inteligenci se roboti začínají i v této oblasti ukazovat jako lepší volba oproti lidské pracovní síle.

S touto rychlostí vývoje bude pravděpodobně brzy dosaženo bodu, kdy roboty budou ve všech manuálních pracích efektivnější a výkonnější, než lidé a jediným problémem poté

bude jejich cena. Jestliže i ta klesne, a i pro malé podniky bude výhodnější nákup robotu než placení zaměstnanců ve výrobním procesu, bude lidská práce zcela vyřazena.

2.1.1 Rozdělení robotů

Jednotlivé roboty lze členit podle mnoha charakteristik, mezi které patří například stupeň řízení nebo jejich samotné funkce či provedení.

Podle stupně řízení (Obr. 10)



Obr. 10 - Schéma rozřazení robotů [7]

Podle generace robotů

- 1. Generace – jednoúčelové
- 2. Generace – univerzální s pružným programem
- 3. Generace – kognitivní

Podle kinematické struktury

- Sériové
- Paralelní
- Kombinované

Podle geometrie pracovního prostoru

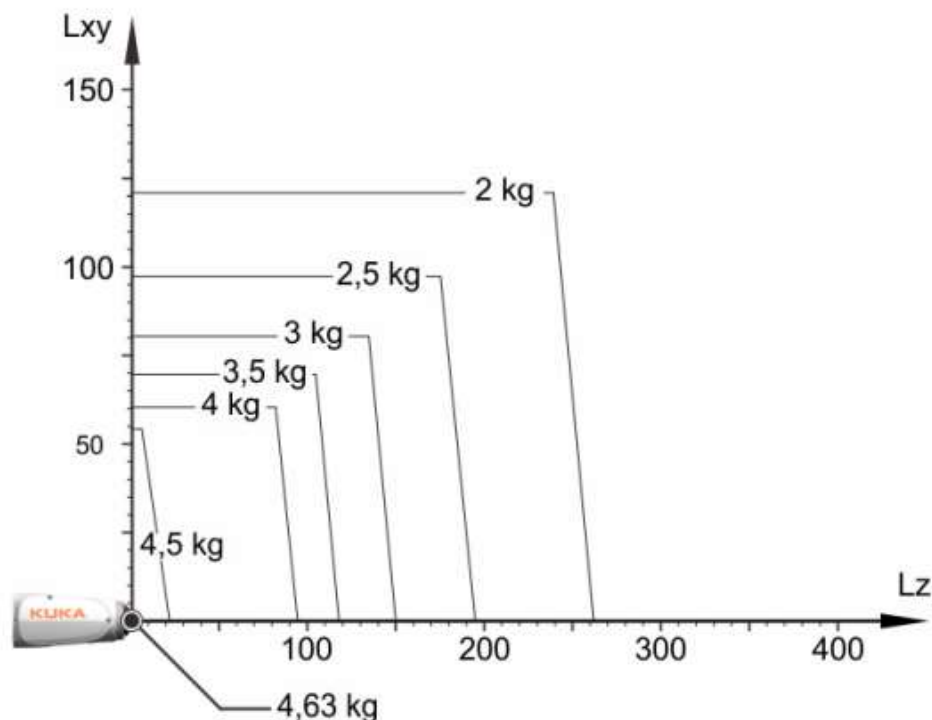
- Kartézské

- Cylindrické
- Sférické
- Angulární
- SCARA

Dále budou rozvedeny primárně dva typy, a to SCARA a angulární, jelikož pro naši montáž jsou nejpraktičtější.

Angulární roboty


Angulární, nebo též kloubový, robot je nejnámější druh průmyslových robotů, založených na principu několika rotačních kloubů. Primárně se jedná o 6osé roboty, poháněné elektromotory. Tento typ se vyznačuje hlavně svou univerzálností, relativní jednoduchostí a nosností od 3 kg až po několik tun, nicméně tato nosnost je závislá na dosahu ramene, názorně zobrazeno na Obr. 11. Lze jej tedy použít prakticky ve všech částech výrobního procesu.



Obr. 11 - Diagram nosnosti robotu KUKA KR 4 R600 [17]

Jejich hlavní výhoda univerzállosti je však vykoupená pracovními rychlostmi. Ač jsou tyto relativně vysoké, při srovnání například se SCARA roboty jsou méně efektivní. Při jejich nasazování je tedy velmi důležité zvážit, zda nasazení specializovanějších robotů není výhodnější variantou. Jako příklad parametrů angulárních robotů jsou v Tab. 1 uvedeny roboty IRB120 od firmy ABB a CR-7iA od firmy FANUC.

Tab. 1 - parametry angulárních robotů

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Náhled |  Obr. 12 - ABB IRB120 [15] |  Obr. 13 - FANUC CR-7iA[12] |
| Typ | Angulární robot ABB IRB120 | Angulární robot FANUC CR-7iA |
| Maximální dosah | 580 mm | 717 mm |
| Maximální nosnost | 3 kg | 7 kg |
| Přesnost opakování polohy | 0,01 mm | 0,01 mm |
| Rychlost otáčení (Osa 1-3) | 250 °/s | 250 °/s |
| Počet os | 6 | 6 |



SCARA roboty

Samotná zkratka SCARA znamená Selective Compliance Assembly Robotic Arm (kloubové robotické rameno se selektivním přizpůsobením). Jedná se o roboty primárně

se 4 osami, tvořenými dvěma paralelními rotačními klouby a koncový bod může být tvořen kombinací rotací spojenou s lineárním posuvem.

Vyznačují se hlavně svojí obrovskou rychlostí a přesností, a proto jsou primárně používány na montování nebo sundávání objektů z dopravníků. Jejich další výhodou jsou malé rozměry, které tyto roboty po většinou mají, nicméně to opět reflektuje jejich menší nosnost. Dále je třeba pohlédnout na jejich cenu, která je oproti ostatním robotům relativně nízká. [12]

Tab. 2 - parametry SCARA robotů

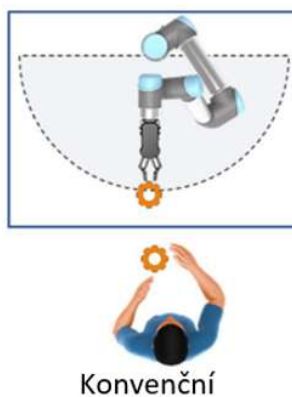
| | | |
|--|--|---|
| <p>Náhled</p> |  <p>Obr. 14 - FANUC SCARA SR-3iA [12]</p> |  <p>Obr. 15 - Mitsubishi RP-1AH [32]</p> |
| <p>Typ</p> | <p>FANUC SR-3iA</p> | <p>Missubishi RP-1AH</p> |
| <p>Maximální dosah</p> | <p>400 mm</p> | <p>250 mm</p> |
| <p>Maximální nosnost</p> | <p>3 kg</p> | <p>1 kg</p> |
| <p>Přesnost opakování polohy</p> | <p>0,01 mm</p> | <p>0,005 mm</p> |
| <p>Rychlost otáčení (Osa 1-2)</p> | <p>780 °/s</p> | <p>480 °/s</p> |
| <p>Počet os</p> | <p>4</p> | <p>4</p> |

2.2 Typy pracovišť

Robotická pracoviště mají dělení na základě různých kritérií, avšak nejvíce využívané je dělení podle stupně spolupráce s člověkem. Na základě tohoto aspektu se dělí na následujících 5 skupin:

Konvenční

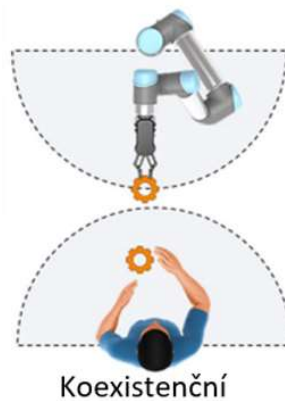
Robot v tomto případě je od pracovníků oddělen ochranou klecí a pracuje bez zásahu člověka do pracovního prostoru, v případě vstupu člověka do tohoto prostoru dojde k okamžitému zastavení robota z důvodu bezpečnosti zmíněné v kapitole 3.2.5. Veškerá komunikace mezi člověkem a robotem je prováděna distančně přes terminál umístěný na vnější straně ochranné klece zobrazené na Obr. 16 jako modrý obdélník. Součásti pro robota jsou člověkem naloženy na otočný nebo výsuvný stůl tak, aby nebylo třeba zasahovat do prostoru robotu. [24]



Obr. 16 - Schéma konvenčního robotického pracoviště [24]

Koexistenční

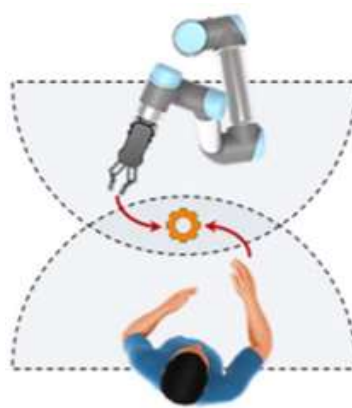
Při koexistenční práci robota s člověkem, schematiky ukázáno na Obr. 17, není robot oddělen bezpečnostní klecí a z toho důvodu je třeba aby z bezpečnostních důvodů byl výkon robota limitován, popřípadě musí být vybaven senzory, které v případě vstoupení člověka do pracovního prostoru robota zpomalí či zcela zastaví. Práce je rozdělena mezi robotického a lidského pracovníka, nikdy však nedochází k přímé spolupráci na jednom dílu. [24]



Obr. 17 - Schéma koexistenčního robotického pracoviště [24]

Synchronizované

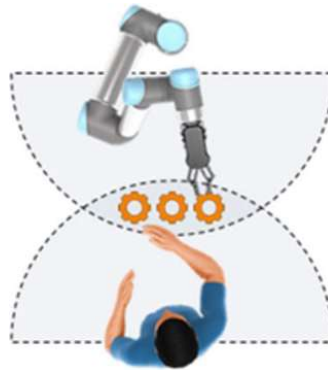
V případě synchronizovaného pracoviště vykonávají jak člověk, tak robot práci na tomtéž dílu / výrobku nikdy však ne ve stejnou chvíli, a tedy nesdílí pracovní prostor. Je velice důležité nastavit jednotlivé úkony tak, aby byl optimálně využit potenciál robota, ale zároveň nedocházelo k přetížení dělníka viz Obr. 18.



Obr. 18 - Schéma synchronizovaného robotického pracoviště [24]

Kooperační

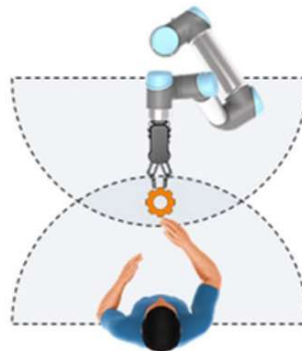
U tohoto pracoviště robot a lidský pracovník sdílejí stejný pracovní prostor, avšak práce je vždy rozdělena tak, aby nikdy nedocházelo ke společné práci na jednom dílu. Často člověk vykoná primární úkony a po přesunu k dalšímu dílu vykoná robot úkony sekundární, dle schématu na Obr. 19.



Obr. 19 - Schéma kooperačního robotického pracoviště [24]

Kolaborativní

Nejvyšší úrovní spolupráce jsou kolaborativní pracoviště viz Obr. 20, při kterých robot s člověkem pracují ve stejnou chvíli na stejném díle. Více popsáno v následující kapitole: Kolaborativní pracoviště



Obr. 20: Schéma kolaborativního robotického pracoviště [24]

2.3 Kolaborativní pracoviště

Toto pracoviště spočívá v blízké spolupráci člověka s robotem a z tohoto důvodu nelze pro tuto práci vzít klasického průmyslového robota, který není vybaven potřebnými senzory a mohlo by u něj dojít k ohrožení člověka. Je tedy využito speciálních kolaborativních robotů, které mají nižší pracovní rychlosti a jsou schopny detekovat přítomnost člověka a v případě srážky okamžitě zareagovat a předejít tak těžkým zraněním. Tento typ pracoviště je zobrazený na Obr. 21 s kolaborativním robotem od firmy FAUDE Tec GmbH.



Obr. 21: Kolaborativní pracoviště [22]

Kolaborativní pracoviště musí dodržovat několik zásad a norem mezi které patří například ISO 10218-1[36] a m ISO 10218-2[36]. I přes velkou využitelnost těchto robotů je jejich nasazení ve firmách stále poměrně nízké, a to hlavně z důvodů vyšší pořizovací ceny oproti průmyslovým robotům kteří mohou navíc pracovat rychleji.

2.4 Bezpečnost robotických pracovišť

Roboty zvyšují rychlost výrobního procesu, avšak aby mohly svých maximálních rychlostí dosahovat, je třeba jejich pracoviště zajistit tak, aby za žádných okolností nemohlo nastat, že při provádění práce dojde ke srážce s pracovníkem, jelikož při velké rychlosti a hmotnosti robota by tato srážka mohla být i fatální.

Pro zabezpečení robotických pracovišť jsou stanoveny normy, které je nutné dodržovat, pro evropskou unii jsou to následující 3:

- **EN ISO 12100** [19] - Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci
- **EN ISO 10218-1/2** [36] - Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů
- **EN ISO ISO/TS 15066** [37] – Roboty a robotická zařízení – Kolaborativní roboty



Obr. 22 - Zabezpečení dle normy EN ISO 10218-2 [23]

Jednoduchou formou zabezpečení dle zmíněné normy EN ISO 10218-1/2 je vytvoření oplocení kolem pracovního prostoru robotu a tím zabránění vstupu za provozu, jak je vyobrazeno na Obr. 22. Tento prostor je dále vybaven čidly na detekci otevřených dveří oplocení, při jejichž aktivaci dojde k okamžitému zastavení robota a znemožnění jeho provozu.

Bezpečnost kolaborace dle ISO 15066

V případě že se nejedná o konvenční robotické pracoviště a robot není oddělen bezpečnostní klecí, je třeba uplatnit dle normy ISO 15066 následující ochranné prvky pro zabránění zranění způsobené kolizí.

- **Monitorované zastavení robota** (Obr. 23) – Pracoviště musí být vybaveno senzory, které detekují přítomnost pracovníka a robota v situaci, kdy pracovník vstoupí do pracovního prostoru, dojde k zastavení robota. Robot a člověk tedy nemohou pracovat ve stejnou chvíli. Tento typ je využíván například v případech, kde automatizace určitých úkonů by byla příliš náročná a je tedy jednodušší, aby je vykonával člověk. [24][25]



Obr. 23 - Schéma monitorovaného zastavení [24]

- **Ruční navádění robota** (Obr. 24) – V případě ručního vedení slouží robot pouze jako manipulátor a nevyvíjí žádnou nadbytečnou sílu, než je třeba k udržení polohy, tedy veškeré pohyby vytváří tlak lidské ruky. Aby robot mohl fungovat v tomto režimu je třeba aby byl vybaven čidly, která budou snímat zatížení zvenčí. Jednou z možností je například snímání kroutícího momentu na kloubech robotu. Tento režim se využívá například při navádění robotu a definování trajektorií pohybu. Z důvodu přímého kontaktu s člověkem je nutné, aby pracovní prostor byl zabezpečen například dříve zmíněným monitorovaným zastavením robotu, dále se pak používá tzv. tlačítko mrtvého muže, které musí být stlačeno, aby byl robot odbrzděn a bylo možné s ním ručně manipulovat. [24][25]



Obr. 24 - Schéma ručního navádění robota [24]

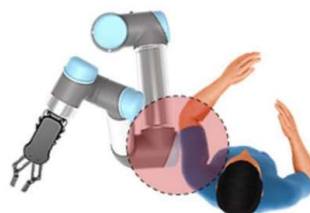
- **Automatické monitorování vzdálenosti a rychlosti** (Obr. 25) – Toto opatření je založeno na principu rozdělení přístupného prostoru kolem robota do několika zón se specifickou rychlostí a výkonem, tedy pokud člověk do těchto oblastí

vstoupí, uzpůsobí se dle toho výkon robota, aby se předešlo rizikům nejen přímé srážky, ale i možného upuštění manipulovaného tělesa. Monitorování je zajištěno buďto senzory nebo kamerovým systémem. Vstoupením do poslední z těchto zón dojde k úplnému zastavení robota.



Obr. 25 - Schéma monitorování vzdálenosti a rychlosti [24]

- **Limitování výkonu a síly** (Obr. 26) – V případě, že je nutné, aby člověk a robot pracovali ve stejném prostoru zároveň, je třeba zajistit, aby moment, se kterým robot může do člověka narazit, byl co nejvíce minimalizován. Norma ISO/TS 15066 přímo stanovuje maximální možnou sílu, kterou může robot při nárazu do určité části těla vyvinout. V tomto případě je tedy nutné použít speciální odlehčené roboty s detekcí nárazu pomocí momentových senzorů tenzometricky nebo popřípadě na základě velikosti proudu, který motor robotu odebírá. Norma ISO 15066 rozlišuje dva druhy nárazu, a to transientní, kde po nárazu má daná část lidského těla kam ustoupit a quasi-statický, kdy dochází k stlačení mezi dva objekty. Pokud k nárazu dojde robot okamžitě zastaví nebo změní směr pohybu, aby přenesená energie nárazu byla co možná nejmenší.



Obr. 26 - Schéma limitování výkonu a síly [24]

3 Ergonomie

Velmi důležitou částí této práce bude vyhodnocení ergonomičnosti samotných navrhovaných manuálních pracovišť a je tedy důležité si tuto problematiku přiblížit.

Samotný název ergonomie vznikl ze dvou řeckých slov ergon (práce) a nomos (zákon) a lze ji charakterizovat jako multidisciplinární obor zabývající se činností člověka na pracovišti a jeho interakcemi s jednotlivými součástmi tohoto pracoviště (stroje a prostředí). Za počátek této disciplíny je považováno 19. století, kdy při průmyslové revoluci bylo mnoho prací nahrazeno sedavou, monotónní prací u pásových dopravníků. Za tvůrce spojení těchto slov je považován polský vědec Wojciech Jastrzebowski, který je poprvé použil roce 1857. [8][9]

Cílem ergonomie je vytvoření optimálních podmínek na pracovišti v závislosti k potřebám jednotlivých pracovníků tak, aby při dlouhodobé práci dosahovali co možná nejlepšího pracovního výkonu bez dlouhodobých následků na jejich fyzické zdraví.[9]

3.1 Energetická náročnost práce

Veškerá práce, kterou člověk vykonává, vyžaduje vynakládání energie, ať už se jedná o fyzickou práci či o práci psychickou. Dlouhodobé vystavení nepřiměřenému vynakládání energie může u jedince způsobit zvýšený stupeň únavy a tím snížit jeho výkon a soustředěnost na danou práci. Je tedy důležité, aby při požadavcích na výkon byl tento aspekt zohledněn a bylo předejito vyčerpání pracovníků a tím zvýšenému nebezpečí úrazu. Jednotlivé energetické zatížení v různých pracovních polohách je zobrazeno v Tab. 3.

Tab. 3 – Energetická náročnost pracovních poloh [8]

| Poloha těla | Energetický výdej (kJ.min ⁻¹) | Množství vytvářeného tepla (W.m ⁻²) |
|-------------|--|--|
| vleže | 0,4 - 1,3 | <10 |

| | | |
|--------------------|-----------|----|
| vsedě | 0,8 - 1,7 | 10 |
| V pokleku | 1,3 - 2,1 | 20 |
| V dřepu | 1,3 - 2,5 | 20 |
| Vstoje | 1,3 - 2,9 | 25 |
| V předklonu | 1,7 - 2,9 | 30 |

3.2 Lokální svalová zátěž

Lokální svalová zátěž je zátěž malých svalových skupin při výkonu práce končetinami. Jako taková je definována v nařízení vlády č.361/207sb pro stanovení podmínek ochrany zdraví při práci. Odvolává na procento maximální svalové síly ($\%F_{max}$), podle kterého se určuje maximální počet pohybů za jednu minutu směny a za celou směnu. Několik vzorků pro průměrné hygienické limity je zobrazeno v Tab. 4. [14]

Tab. 4 - Počet pohybů dle nařízení vlády č.361/207[14]

| $\%F_{max}$ | Průměrný počet pohybů za průměrnou osmihodinovou směnu | Průměrný minutový počet pohybů za průměrnou osmihodinovou směnu |
|-------------|--|---|
| 7 | 27600 | 58 |
| 10 | 19800 | 44 |
| 15 | 13500 | 29 |
| 25 | 8700 | 18 |
| 53 | 1800 | 7 |

Samotná síla F_{max} se určuje z dané námahy buď přímo přes momentové klíče, dynamometry, váhy apod. Tyto metody však nejsou tak přesné z hlediska svalové zátěže.

Pro nejpřesnější měření je využita metoda integrované elektromyografie. Při této metodě je u pracovníka monitorována přímo odezva funkce neurosvalového systému neboli je snímán elektrofyziologický potenciál zkoumané svalové skupiny. [14]

3.3 Rizikové faktory

Každé pracovní místo má spoustu faktorů, které ovlivňují kvalitu a pohodlnost provádění příslušné práce pracovníkem. Pro dlouhodobou udržitelnost kvality odváděné práce je tedy důležité tyto faktory brát v potaz při plánování pracovního místa a v případě silného působení některého z nich, pracovníka a jeho místo správně dovybavit.

Z nařízení č.361/2007sb. České vlády se řadí mezi rizikové faktory následující:

- Nepříznivé klimatické podmínky (teplo, chlad)
- Chemické faktory (karcinogeny, mutageny, asbest atd.)
- Biologické činitele
- Fyzickou zátěž
- Fyzikální faktory (hluk, vibrace, ionizující a neionizující záření) [8]

Dále budou přiblíženy pouze následující nejčastější faktory:

Mikroklimatické podmínky

Nachlazení či přehřátí jsou velmi časté nemoci z povolání a mohou způsobit vyřazení pracovníka na velmi dlouhou dobu. Proto je důležité dodržovat nařízení o délce práce v různých teplotních podmínkách a koncipovat jednotlivá pracoviště tak, aby práce u nich byla dlouhodobě udržitelná. Výše zmíněná vyhláška nařizuje, aby nepřetržitá práce v teplotách mezi 4 a 10 stupni byla nanejvýše 3 hodiny, s teplotou pod -10 je doba práce maximálně 75 minut, po kterých musí zaměstnavatel dovolit 10minutovou přestávku. [10][29]

Aby bylo zamezeno zbytečným přestávkám, je třeba jednotlivé prostory správně zaopatřit pomocí klimatizace, větrání a vytápění.

Hluk

Jedním z hlavních problémů ve výrobních halách je hluk okolních strojů. Hluk lze definovat jako kontinuální zvuk který má negativní vliv na lidské zdraví. Hodnoty hluku jsou vyhodnocovány dle základní hladiny akustického tlaku L_p . Ta nám vyznačuje zvukovou energii vycházející ze zdroje hluku. [10]

Vibrace a otřesy

Vibrace lze vnímat jako pohyb pružného tělesa nebo prostředí, jehož body mechanicky kmitají. V pracovním prostředí je důležité dohlédnout na to, aby tyto vibrace nepřecházely z pracovních strojů na člověka. Nejnebezpečnější jsou hlavně vertikální vibrace v rozmezí od 4-7 Hz a horizontální do 2 Hz jelikož při těchto frekvencích dochází k rezonanci lidského těla. [8]

Osvětlení a zraková zátěž

Světelné podmínky mají velký vliv nejen na kvalitu provedené práce, ale zároveň na samotné fyzické a psychické zdraví jednotlivých pracovníků. Hlavní vliv má nedostatek nebo naopak přílišné osvětlení na samotné oko, při dlouhodobé práci při špatných podmínkách dochází k velké zrakové zátěži.

Ke zrakové zátěži se váží následující pojmy:

- **Velikost kritického detailu** – je využívána pro posouzení obtížnosti pracovní činnosti z hlediska zraku. Jedná se o velikost vzdálenosti, při které je člověk schopen jednoznačně určit určitý jednoduchý geometrický útvar.
- **Náročnost diskriminace** – Vyznačuje zrakovou zátěž způsobenou nedostatečným rozdílem kontrastu mezi objektem a okolním prostředím.
- **Zvláštní (ztížené) světelné podmínky** – Lze chápat jako náročnost rozeznávání způsobenou například reflexními a lesklými plochami objektu a jeho okolí.

Psychická zátěž

Výrobní proces je silně spjatý s fyzickou zátěží, avšak v dnešní době neustálé modernizace všech pracovišť a tím i neustálého zvyšování požadavků pro pracovníky na orientaci v těchto systémech, je psychická zátěž stále vyšší a z ní vzniklé potíže byly v USA nahlášeny jako 4 nejčastější důvod pracovní nepřítomnosti u mužů a dokonce 3 u žen. Velikost psychické zátěže je velmi individuální a závisí na vnímání, cítění a hodnocení jednotlivce v dané situaci neboli na jeho percepci. [8][10]

Rozděluje ji do 3 skupin:

- **Senzorická zátěž** – je zátěž smyslových orgánů jako je zrak, sluch, čich a následná zátěž nervového systému za ně odpovědného.
- **Mentální zátěž** – vyplývá z nutnosti koncentrace, paměti a myšlení v závislosti na pracovní úkon
- **Emocionální zátěž** – tato zátěž vychází z požadavků, jež vyvolávají afektivní odpověď

3.4 Pracovní místo

Jedním z důležitých aspektů ovlivňujících kvalitu a rychlost prováděné práce a zároveň její dlouhodobou udržitelnost bez jakýchkoliv fyzických následků pro pracovníka je samotné pracovní místo. Je třeba uzpůsobit jednotlivé pracovní nástroje od jejich tvaru až po jejich umístění, dále samotný pracovní prostor a případně sedačku tak aby vyhovovaly co nejvíce specifickému pracovníkovi, případně aby bylo možno je na místě upravovat dle potřeb nastupujícího pracovníka.[10]

Nářadí a pomůcky

Rychlost a efektivita práce je silně ovlivněna samotným nářadím, kterým je vykonávána, a proto je nutné při jeho navrhování a vybírání dbát na jeho tvar, hmotnost, povrch. Nesprávné řešení pracovních pomůcek může mít za následek nejen zhoršení kvality a rychlosti práce, nýbrž i dlouhodobé zdravotní následky. [10]

Sedadla

Z fyziologického hlediska je výhodnější, aby člověk při práci seděl a z tohoto důvodu je důležité, aby bylo vybráno vhodné sedadlo v závislosti na druhu práce, základní pracovní poloze, hlavních pracovních pohybech, nárocích na střídání polohy a účincích vnějších sil jako jsou například vibrace. Důležitá je nastavitelnost sedadla z pohledu výšky, vzdálenosti jednotlivých opěr tak, aby ji bylo možno uzpůsobit jednotlivým pracovníkům bez ohledu na jejich fyzickou konstituci a věrust. Optimální možnosti nastavení částí sedadla jsou zobrazeny na Obr. 27. [8][10]



Obr. 27 - Schéma nastavitelnosti pracovního sedadla [10]

Základním ergonomickým požadavkem je výška sedadla. Musí být přizpůsobena výšce člověka a určuje se z délky holeně. Lze vycházet ze zásady která říká, že přední hrana sedáku musí být níže, než je světlá výška podkolení jamky, aby nedocházelo ke stlačení cév a nervů na spodní straně stehen. [10]

Pro výpočet správné výšky je možné použít následující vzorec:

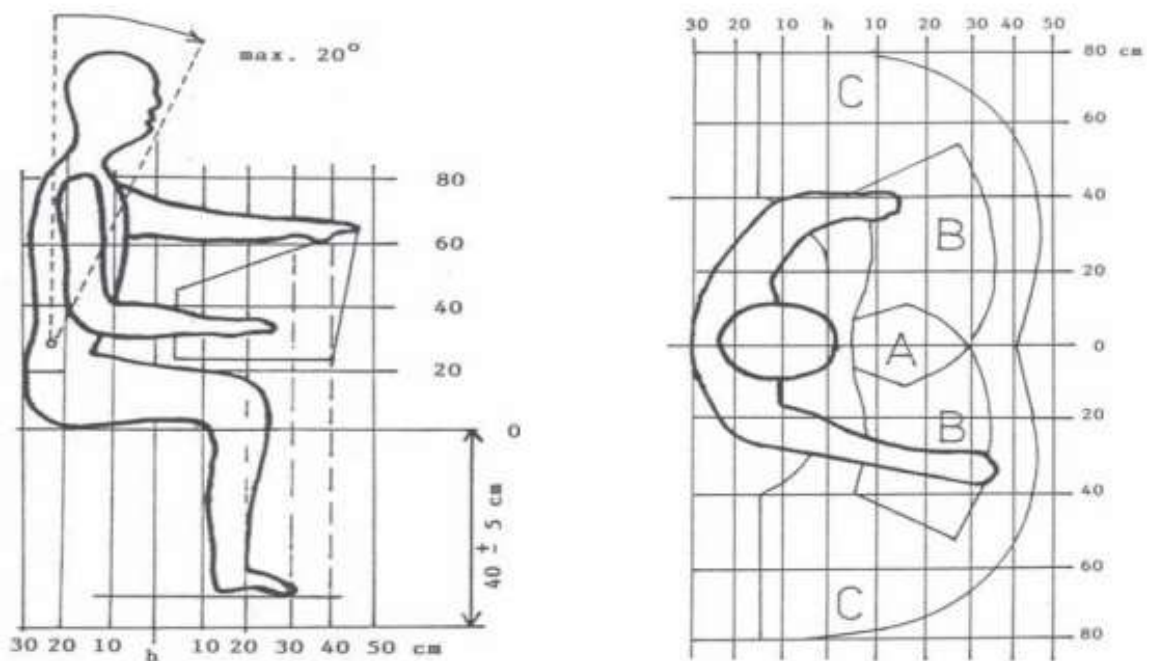
$$v_s = (V_T + v_p) \cdot 0,25 \quad [10]$$

Kde v_s značí výšku sedáku, V_T výšku těla, v_p výšku podpatky

Pohybový prostor

Prostor, ve kterém se pracovník pohybuje při výkonu své práce, je též třeba řádně koncipovat tak, aby vykonávané pohyby byly co možná neplynulejší a nejednodušší.

V oblasti montáže menších součástí lze předpokládat, že primární pohyby budou vykonávány oběma rukama v sedě a důležitý bude tedy dosah rukou tak, aby se pracovník nemusel nijak naklánět a jakkoliv zatěžovat jiné svalové skupiny. Za předpokladu, že je pracovní úkon vykonáván v sedě, měla by vzdálenost mezi sedákem a pracovní rovinou být u mužů mezi 220 až 310 mm (300 u žen). Dosahové zóny jsou zobrazeny na Obr. 28. [8][10][29]

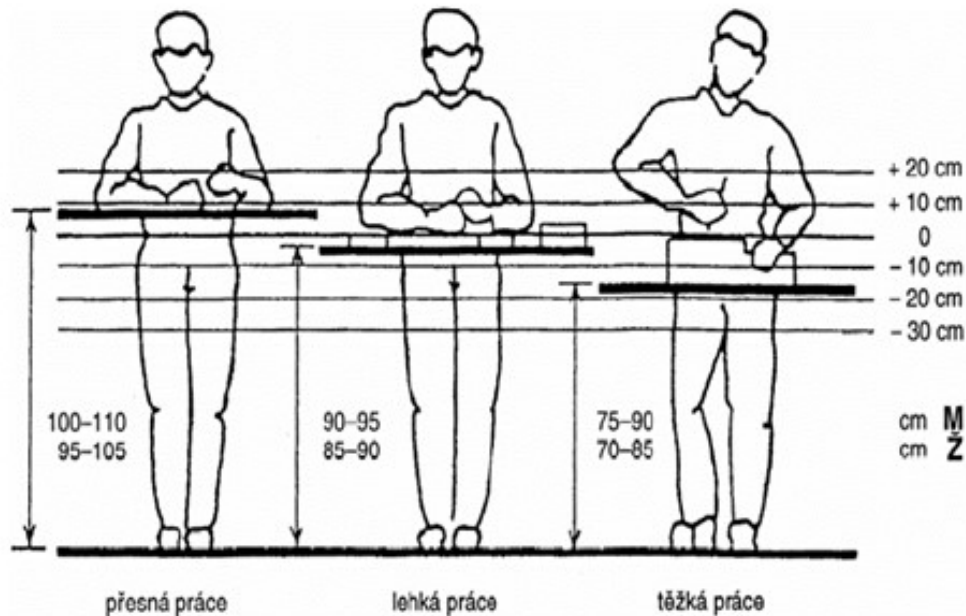


Obr. 28 - Dosahy horních končetin [13]

Rozdělení jednotlivých oblastí

- **Oblast A** – Jedná se o oblast optimálního dosahu, měla by být hlavní pracovní oblastí, kde se provádějí časté a přesné pohyby montáže.
- **Oblast B** – V této oblasti jsou pohyby obou předloktí a při manipulaci s předměty a nástroji bez nutnosti změny pracovní polohy.
- **Oblast C** – Do této oblasti by pracovník měl zasahovat nejméně, vyznačuje se nutností otočení trupu, maximálním dosahem a pomalejšími pohyby. [13]

Optimálním řešením je tedy výškově nastavitelný stůl, bez ostrých hran, s matným povrchem tak, aby nedocházelo k odražení světla a který lze maximálně přizpůsobit charakteru vykonávané práce a pracovníkovi ji vykonávající. Dále je nezbytné, aby měla pracovní plocha maximální stabilitu. Optimální vzdálenosti při práci ve stoje jsou vyobrazeny na Obr. 29.



Obr. 29 - Vzdálenost pracovní plochy dle charakteru práce [13]

Vzdálenost pracovní plochy dle charakteru vykonávané práce:

- **Základní práce** – 5-10 cm pod úrovní loktů
- **Jemné práce** – 5-10 cm nad úrovní loktů
- **Pro manuální práce** - 10-15 cm pod úrovní loktů
- **Těžké práce** - 15-40 cm pod úrovní loktů

4 Analýza současného stavu

Základem této kapitoly bude seznámení se s montovanou součástí, tedy cylindrickou zámkovou vložkou (Obr. 30), jejími jednotlivými díly a samotným montážním procesem. Jednotlivé úkony montážního procesu budou zhodnoceny a na základě tohoto hodnocení budou určeny kritická místa montáže. Následně bude vypracován návrh současného stavu manuálního pracoviště, jež bude vycházet z průzkumu menších podniků. Na toto pracoviště bude následně vypracována technická a ergonomická analýza. Výsledkem tohoto prozkoumání bude stanovení nejdůležitějších částí a problémů pracoviště a samotného procesu tak aby na tomto základě mohla být vytvořena optimalizovaná verze pracoviště.



Obr. 30 - Montovaná cylindrická zámková vložka

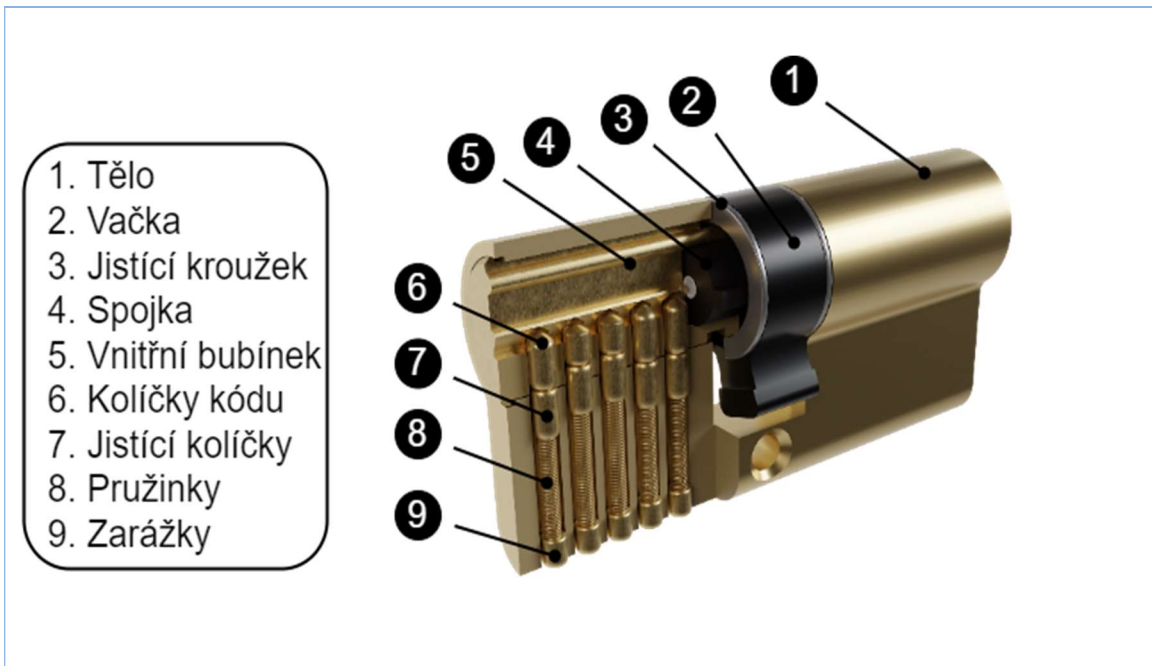
4.1 Rozbor montované součásti

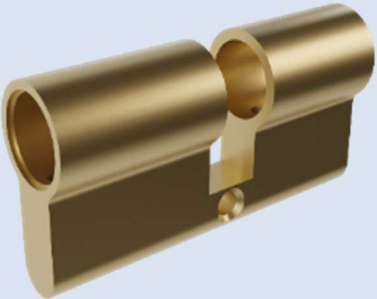
Zkoumaný typ cylindrické zámkové vložky patří mezi nižší bezpečnostní třídy, jedná se tedy o vložku neobsahující žádné speciální mechanismy proti jejímu prolomení. Skládá se z 48 dílů, jež jsou vyobrazeny v Tab. 5. Samotný montážní proces je silně závislý na stupni automatizace a je tedy třeba stanovit uvažované výchozí podmínky. Pro účely

práce bude počítáno se dvěma výchozími stupni, s lisováním vnitřních dílů a bez lisování, popsány více do hloubky v kapitole Výchozí pracoviště montáže. Primárně však bude zaměřena na pracoviště bez lisu.

Přehled jednotlivých dílů součásti

Tab. 5 – Kusovník součásti



| Díl | Váha (g) | Množství | Vizualizace |
|------|----------|----------|--|
| Tělo | 35 | 1 |  |

| | | | |
|--------------------------------------|--------------|-----------|--|
| <p>Vnitřní bubínek 35 mm</p> | <p>17</p> | <p>1</p> |  |
| <p>Vnitřní bubínek 25 mm</p> | <p>15</p> | <p>1</p> |  |
| <p>Jistící kolíčky</p> | <p><1</p> | <p>10</p> |  |
| <p>Kolíčky kódu klíče</p> | <p><1</p> | <p>10</p> |  |
| <p>Pružinky</p> | <p><1</p> | <p>10</p> |  |

| | | | |
|-------------------|----|----|--|
| Vačka | 7 | 1 |  |
| Jistící kroužek | <1 | 2 |  |
| Spojka | 4 | 1 |  |
| Distanční tělísko | 1 | 1 |  |
| Zarážky | <1 | 10 |  |

4.1.2 Základní postup manuální montáže

Pro zjištění kritických míst pro optimalizaci a míst nejvyšší námahy byly napočítané časy jednotlivých úkonů montáže. Jednotlivé časy jsou zaznamenány v Tab. 6. Časy vycházejí ze simulace montáže zajetého pracovníka a hodnoty jsou tedy částečně zkráceny.

Tab. 6 - Časy jednotlivých úkonů montáže

| Pozice úkonu | Úkon | Čas vykonávání (s) |
|----------------------------|--|--------------------|
| 1. | Přípravení těla vložky | 3 |
| 2. | Vložení kratšího bubínku spolu se středovou vačkou | 5 |
| 3. | Vložení distančního tělíška s rotační spojkou do delšího bubínku | 6 |
| 4. | Vložení delšího bubínku do těla | 5 |
| 5. | Zajištění bubínků jisticími kroužky | 6 |
| 6. | Vložení těla do přípravku | 4 |
| 7. | Otočení bubínků do neutrální polohy | 5 |
| 8. | Zjištění kódu klíče | 10 |
| 9. | Vložení kolíčku kódu | 20 |
| 10. | Vložení pojistných kolíčků s pružinkami | 25 |
| 11. | Zdělání jednotlivých zarážek | 26 |
| Celkový čas montáže | | 115 (1:55) |

Z analýzy jednotlivých úkonů lze vyhodnotit, že časově nejnáročnější je vkládání jednotlivých pružinek a jisticích kolíčků s jejich následným zarážením. Samotný proces by mohl být ulehčen přidáním zmíněného speciálního lisu s čtečkou kódu klíče.

4.2 Výchozí pracoviště montáže

V této části proběhne analýza simulovaného výchozího pracoviště montáže, nejprve tedy budou zjištěny veškeré technické nedostatky zhoršující produktivitu pracovníka a dále nedostatky z pohledu ergonomie pracoviště, nejprve vizuálně, následně simulačním programem tak, aby mohlo dojít k následné opravě těchto nedostatků. Pracoviště vychází ze základních pracovišť v menších firmách, které zatím neimplementovaly žádné automatizované prvky.

4.2.1 Varianta A

První vytvořený návrh pracoviště je zaměřen čistě na montáž vložky a neobsahuje tedy stroje na frézování kódu klíče, zároveň pracoviště neobsahuje lis pro zarážky a je tedy nutné manuální zaklepávání. Vyrážení kódu klíče je uvažováno jako vlastní pracoviště, sousedící s pracovištěm montáže. Pracovník nejprve dostane jednotlivé klíče s informací o samotném kódu a na základě to se odvíjí následující vkládání kolíčků do vložky.



Obr. 31 - Výchozí pracoviště montáže

Jak již bylo zmíněno, rozpoložení a základní vybavení pracoviště na Obr. 31 bylo sestaveno podle pracovišť menších firem jež zatím nepřestoupily na automatizovanou výrobu a montáž a obsahuje tedy pouze jednoduchý stůl bez možnosti změny výšky, jednoduchou židli. Krabíčky s jednotlivými díly jsou umístěny ve skříňce vedle pracovního stolu a pracovník si je dle potřeby vykládá na pracovní desku stolu. V případě, že některá ze součástí dojde, musí pracovník pro nové díly do meziskladu. Součástí vybavení je dále kovový přípravek pro uchycení vložky a nástroje potřebné pro montáž. Hotové kusy se odkládají společně s klíči po 20 kusech do polystyrénových bedniček, které jsou následně odkládány na vozík, kterým jsou dále transportovány na balírnu.

Ze základní analýzy lze stanovit hned několik zásadních ergonomických problémů, které budou popsány v následujících podkapitolách.

Problém pracovní plochy

Jedním z hlavních problémů je nemožnost nastavitelnosti výšky pracovní plochy, a tedy neschopnost uzpůsobit pracoviště jednotlivým fyzickým potřebám různých pracovníků.

Za další možný problém lze považovat velikost pracovní plochy a její povrch, jež není nijak uzpůsoben proti skluzu součástí a nářadí.

Problém pozic součástí

Samotná použitelná pracovní plocha stolu je relativně malá, a tak nedovoluje optimální rozložení krabíček s díly. Tím vzniká problém nedodržení optimálních vzdáleností pro dosahy pro jednotlivé díly, stanovených podle NV361 na Obr. 28. Při montáži tak dochází k nadměrnému natahování a otáčení se a tím přílišnému namáhání svalových skupin. Dalším problémem spojeným s polohou součástí je samotné skladování náhradních dílů, jež je založeno na úložné skříni vedle pracoviště. Pracovník tedy v situaci, že mu dojdou díly musí přerušit práci, zvednout se a přesunout nové krabíčky s díly na stůl viz Obr. 32, nápodobně s krabíčkami prázdnými.



Obr. 32 - Přesun krabiček s díly

Problém osvětlení

Poloha pracoviště je uvažována v hale poblíž výroby a hlavní zdroj osvětlení jsou tedy světla haly, což při uvážení charakteru práce není dostačující a je tedy nutné zajistit přímější a nastavitelné osvětlení pracovní plochy, aby byl zaručen dobrý kontrast dílů a tím odlehčena mentální zátěž pracovníka.

Další problémy

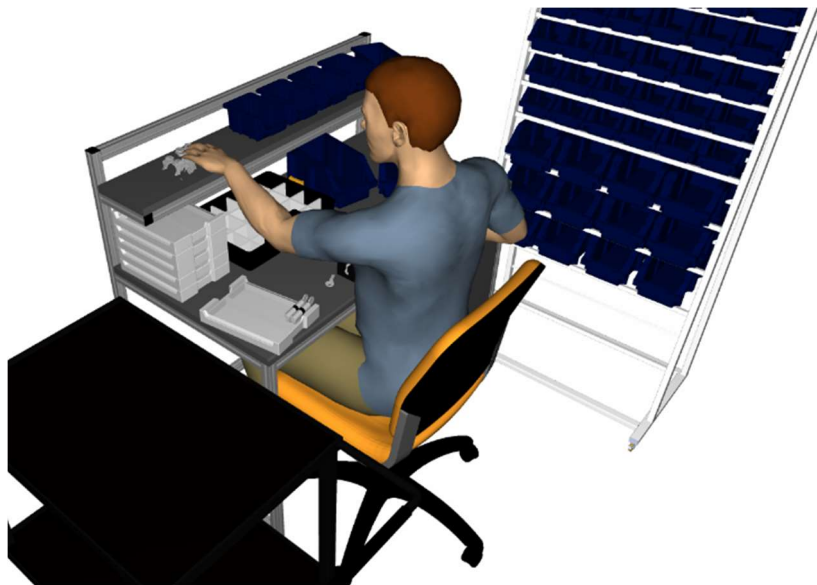
V rámci analýzy montážního procesu bylo zjištěno že největším problémem je uchopování malých dílů, jako jsou pružinky a kolíčky. Tento problém nejen, že přímo prodlužuje samotný čas montáže, ale zároveň zvyšuje mentální námahu a tím zvyšuje pravděpodobnost nesprávného uchopení těchto dílů a jejich upuštění.

Dále bude provedena ergonomická analýza kritických poloh při montáži v programu SIEMENS TECNOMATIX Jack a získaná data budou využita pro sestavení optimálního manuálního pracoviště.

Ergonomické vyhodnocení

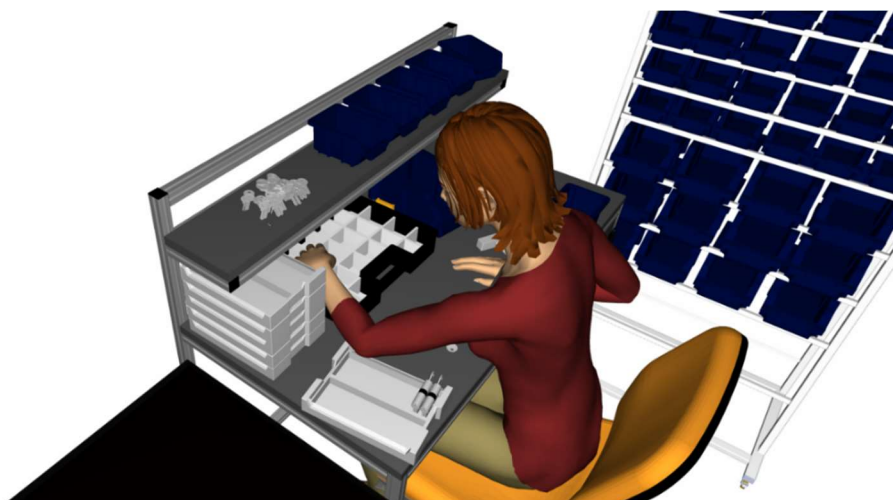
Pro vyhodnocení ergonomičnosti pracoviště byla vybrána 4 nejkritičtější místa montáže na základně analýzy simulované montáže v laboratoři. Vyhodnocování v programu Jack bylo provedeno jak pro průměrného muže, tak pro průměrnou ženu, jejichž hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 7.

- Pozice 1 – Sebrání klíče z horní poličky viz Obr. 33



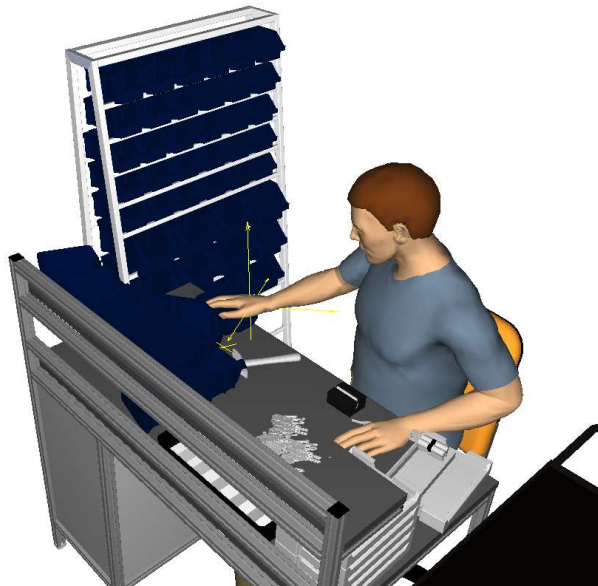
Obr. 33 – Kritická pozice 1

- Pozice 2 – Vybrání kolíčku kódu ze zadní pozice viz Obr. 34



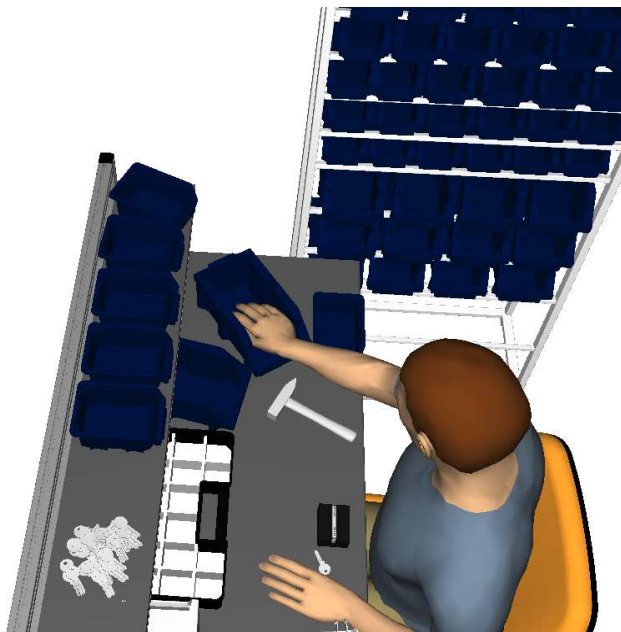
Obr. 34 – kritická pozice 2

- Pozice 3 – uchopení středové vačky z boční krabičky (Obr. 35)



Obr. 35 – kritická pozice 3

- Pozice 4 – uchopení těla vložky z boční krabičky (Obr. 36)



Obr. 36 - kritická pozice 4

Vyhodnocení ergonomičnosti jednotlivých poloh bude prováděno porovnáváním naměřených hodnot úhlů s hodnotami danými nařízením vlády č. 361/2007 Sb., stanovujícím podmínky ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a zajištění

bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy.

Tab. 7 – Hodnoty použité pro průměrného muže a ženy

| | Muž | Žena |
|------------|-----|------|
| Váha [kg] | 79 | 63 |
| Výška [cm] | 175 | 163 |

Software vyhodnocuje všechny úhly pohybu/natočení pracovníka, jelikož se v našem případě jedná o pozici v sedě, byly z hodnocení vypuštěny dolní končetiny, protože jejich poloha je v průběhu montáže neměnná, veškeré ostatní hodnoty byly zaznamenány do následujících tabulek Tab. 8, Tab. 9. První část tabulky je složena z hlavy a trupu, druhá část je soustředěná na jednotlivé části horních končetin, kde jednotlivé části jsou dále děleny dle stran na levou (L) a pravou (P).

Tab. 8 - Vyhodnocení kritických pozic pro muže

| Muž | Druh námahy | Pozice 1 | Pozice 2 | Pozice 3 | Pozice 4 |
|------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| Hlava/ Krk | Flexe [°] | 7,6 | 13,5 | 18,5 | 15,1 |
| | Laterální [°] | -0,3 | -0,1 | 0,6 | 1,1 |
| | Axiální [°] | 4,5 | 1,8 | -12 | -18,7 |
| Hrudník/ Záda | Flexe [°] | 1,6 | 7,5 | 3,6 | 3,9 |
| | Laterální [°] | 0 | 0,2 | 1,7 | 1,1 |
| | Axiální [°] | 0 | 0 | 31,5 | 18 |

| | | L | P | L | P | L | P | L | P |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Paže | Flexe [°] | 64,6 | -20,3 | 62,9 | -15,6 | -30,6 | 24,3 | -15,6 | 42,7 |
| | Abdukce [°] | 3,3 | 32,6 | -25,4 | 22,6 | 21,9 | 31,9 | 22,6 | 22,8 |
| Zápěstí | Flexe [°] | -17,4 | 24,6 | -5,7 | 18 | -23,7 | 6,6 | -18 | -5,7 |
| | Deviace [°] | -3,2 | -8,2 | -8,6 | -17,6 | -21,7 | -44,3 | -17,6 | -26,2 |
| | Pron/Sup[°] | 77 | 25,9 | 74,6 | 77 | 76,4 | 40,5 | 77 | 71,8 |
| Loket | Flexe [°] | 48,9 | 89,2 | 19,1 | 96,9 | 102,4 | 80,5 | 96,3 | 40,3 |

Výsledek analýzy prvního úkonu ukázal hned několik zásadních problémů, způsobených nutností natahování se pro jednotlivé díly do zadních prostorů stolu. Prvním způsobeným problémem je přílišné zvedání levé ruky a velký ohyb zápěstí. Tento problém se objevuje jak u průměrného muže, tak ženy. V případě ženy však dále dochází k vyššímu vytáčení loktů. Pravděpodobným primárním důvodem je špatně nastavená výška pracovní plochy. Výsledné hodnoty pro průměrnou ženu jsou v následující Tab. 9.

Tab. 9 - Vyhodnocení kritických pozic pro ženy

| Žena | Druh námahy | Pozice 1 | Pozice 2 | Pozice 3 | Pozice 4 |
|------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| Hlava/ Krk | Flexe [°] | -2 | 5,7 | 20,3 | 7,2 |
| | Laterální [°] | -0,2 | 1,2 | 1,5 | -0,1 |
| | Axiální [°] | 2,6 | -17,4 | -25,8 | 1,4 |
| Hrudník/ Záda | Flexe [°] | 15,1 | 15,1 | 2,8 | 16 |
| | Laterální [°] | -0,4 | -0,4 | -0,4 | -2,7 |
| | Axiální [°] | 0,4 | 0,4 | 25 | 7,4 |

| | | L | P | L | P | L | P | L | P |
|---------|--------------|------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Paže | Flexe [°] | 112,4 | -1,2 | 12,7 | 56,8 | -40,2 | 14,4 | 71,3 | -22,1 |
| | Abdukce [°] | - 168,4 | 33 | 33,7 | 60,7 | 41 | 23,6 | 27,6 | 27,5 |
| Zápěstí | Flexe [°] | -46,6 | -4,2 | -10,9 | -22,9 | 21,9 | 6,3 | -33,6 | 14,9 |
| | Deviace [°] | 13,9 | -21,5 | -14,6 | -6,8 | -23,5 | -45 | 6,7 | -4,1 |
| | Pron/Sup [°] | 77 | 55 | 64 | 55,7 | 72 | 63,2 | 32,9 | 55,2 |
| Loket | Flexe [°] | 20,2 | 110,5 | 117,5 | 41,4 | 120 | 86,2 | 59,4 | 116,7 |

4.2.2 Varianta B

Druhou vytvořenou variantou, dnes již častěji se vyskytující, je spojení montážního pracoviště s hydraulickým lisem zobrazené na Obr. 37. Při tomto rozpoložení je nejprve sestavována základní kostra vložky a poté je vložena pod lis, který zalisuje veškeré vnitřní součásti na základě přiloženého klíče do čtečky kódu, nejprve z jedné strany a po otočení obsluhou strany druhé.

Ergonomické problémy pracoviště jsou velice podobné variantě A, pouze požadavky na prostor pracovní plochy jsou sníženy z důvodu menšího počtu montovaných dílů. V tomto případě je předpokládáno, že montáž je rozdělena do dvou stanovišť a jsou možné dvě varianty.

První možností je obsluha obou pracovišť jedním pracovníkem s tím, že dochází k periodickému střídání vykonávané práce (složení sta kusů základu vložky a následný přesun k lisu a zalisování daného sta kusů).

Možností druhou je dvoučlenné osazení. Tedy jeden pracovník montuje základní kostru vložky a druhý pracovník zalisovává kolíčky. V tomto případě je problémem nevyrovnanost náročnosti pracovišť, jelikož zalisování je rychlejší než složení základu a

je tedy nutné mít vícero prvních stanovišť na jeden lis, aby bylo využito maximálního potenciálu.



Obr. 37 - Lis na vyplňování cylindrických zámkových vložek [35]

V rámci této práce se však bude primárně nahlížet na variantu A, pro kterou bude vypracována optimalizovaná varianta pracoviště.

5 Návrh optimalizace pracoviště

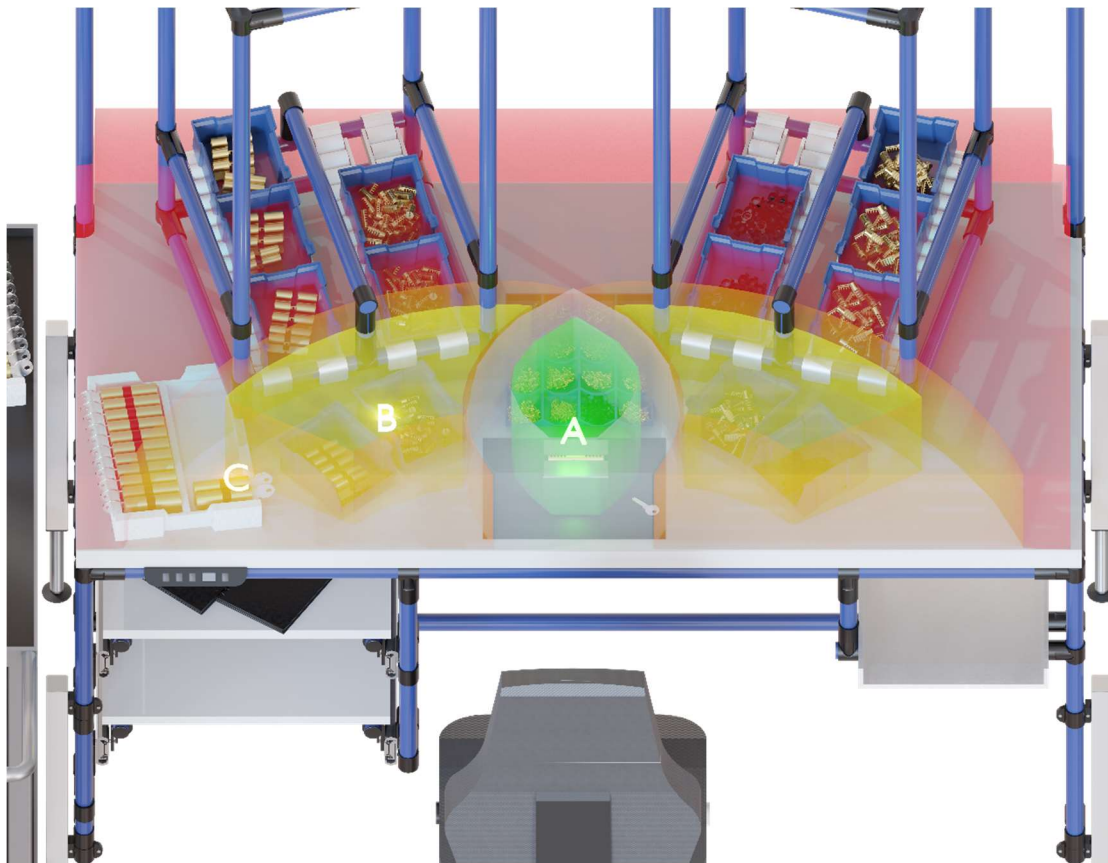
Tato kapitola bude zaměřena na vytvoření optimalizovaného pracoviště. V první řadě bude vypracován návrh s cílem odstranit veškeré odhalené ergonomické a technické nedostatky původního pracoviště. Dále bude navrženo několik variant plně robotizovaného pracoviště. Jednotlivé varianty budou rozpracovány v úrovni koncepčního návrhu a porovnány mezi sebou. Poté bude na základě vyhodnocení vybrána jedna varianta, která bude rozpracována hlouběji. V závěru této kapitoly bude srovnání původního pracoviště s optimalizovaným a robotizovaným, s ohledem na několik aspektů, jako jsou např. efektivita, pořizovací cena, návratnost, složitost údržby, operace a schopnost přeorientování na jiný produkt.

5.1 Návrh optimalizovaného ručního pracoviště

Cílem tohoto návrhu bylo odstranění všech problémů pracoviště, jež byly odhaleny technickou a ergonomickou analýzou v předchozí kapitole tak, aby bylo zajištěno optimální pracovní prostředí neohledně na pracovníkovu tělesnou konstituci, výšku či pohlaví. Výsledné pracoviště je vyobrazené na Obr. 39.

Jako první bylo třeba vyřešit možnost polohovatelnosti stolu pro dosažení optimální výšky pracovní plochy. Pro řešení tohoto problému je možno pořídit pracovní stůl s nastavitelnou výškou pomocí ruční kliky nebo pomocí elektrických lineárních pohonů, připevněných k jednotlivým nohám stolu, popřípadě přímo zabudovaných do konstrukce stolu. Jako řešení byl zvolen stůl se 4 lineárními motory, jež jsou ovládány pomocí panelu umístěného v levé části pracovní desky.

Problém dosahů byl z velké části způsoben nedostatečným prostorem na pracovní desce, její zvětšení tedy umožnilo správné a vyvážené rozložení jednotlivých krabiček s díly. Rozložení lze vidět na Obr. 38. Dále byl pozměněn systém doplňování dílů, z původního záložníku umístěného vedle pracoviště, na několik spádových drah, které budou doplňovány ze zadní strany a pracovník se tak nemusí v průběhu montáže nadměrně otáčet.



Obr. 38 - Dosahové zóny dle VN 361/2007

Prázdné krabičky pak pracovník pokládá na spádovou dráhu po své pravé straně, která vede k bedně, kterou vyprazdňuje pracovník doplňující krabičky s díly. Tento systém zaručuje, že pracovník nemusí přerušovat práci pro doplnění dílů a odstranění prázdných krabiček.

Pro usnadnění braní jednotlivých dílů bylo ke stolu připevněno několik přípravků na naklonění položených krabiček a dále byla do středu pracovní plochy umístěna gumová podložka pro zvýšení kontrastu mezi součástí a pracovní plochou a zjednodušení případného zvedání spadlých dílů.

Hotové díly jsou opět ukládány spolu s klíči do polystyrenových bedýnek a ukládány na vozík umístěný po levé straně pracoviště. Výsledné pracoviště je vyobrazeno na Obr. 39.

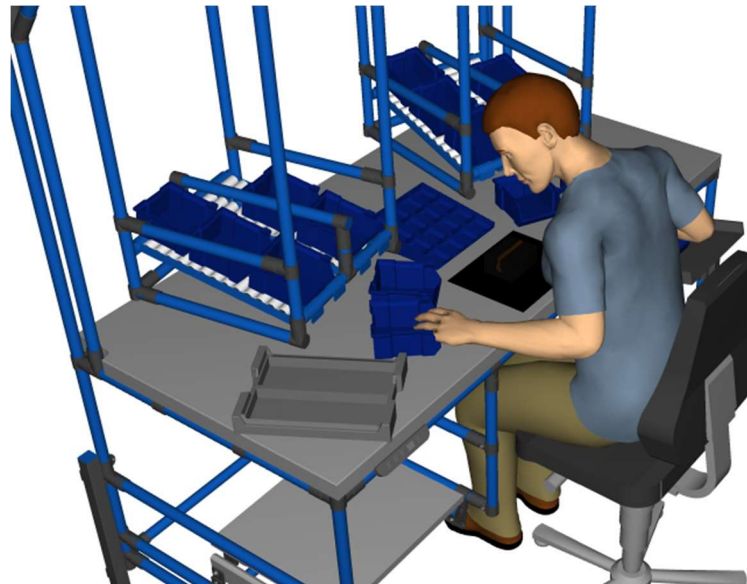


Obr. 39 – Finální podoba optimalizovaného pracoviště

5.1.1 Ergonomické vyhodnocení

Z důvodu změny rozpoložení pracoviště bylo nutné přehodnotit kritické pozice a pro optimalizované pracoviště byly tedy vybrány následující 4 pozice:

- Pozice 1 (Obr. 40) – Uchopení středové vačky z boční krabičky



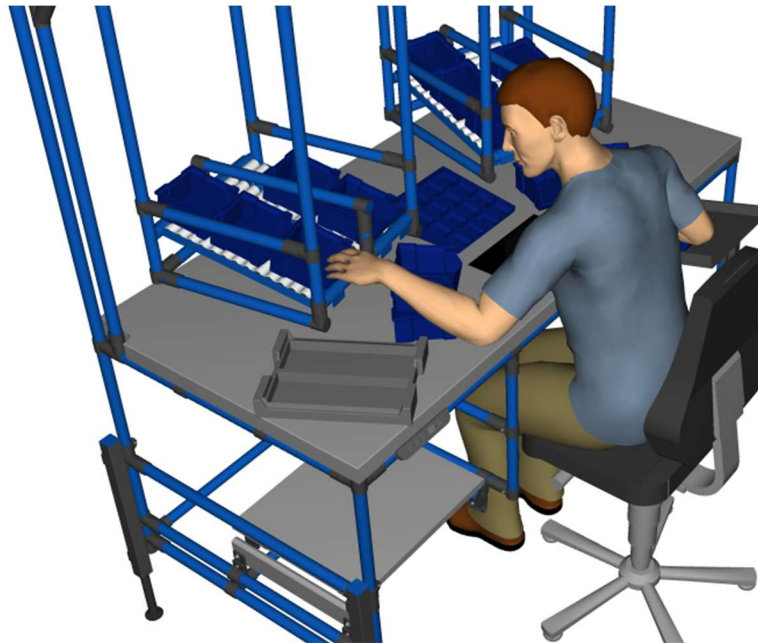
Obr. 40 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 1

- Pozice 2 (Obr. 41) – Sebrání jednotlivých kolíčků kódu



Obr. 41 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 2

- Pozice 3 (Obr. 42) – Odebrání nové krabičky z horní rampy



Obr. 42 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 3

- Pozice 4 (Obr. 43) – Odložení prázdné krabičky na spodní rampu



Obr. 43 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 4

Výsledky optimalizace ergonomického aspektu pracoviště jsou zobrazeny v následujících tabulkách:

Tab. 10 – Vyhodnocení kritických pozic na optimalizovaném pracovišti (muži)

| Muž | Druh námahy | Pozice 1 | | Pozice 2 | | Pozice 3 | | Pozice 4 | |
|------------------|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | L | P | L | P | L | P | L | P |
| Hlava/ Krk | Flexe [°] | 21,2 | | 17,7 | | 9,5 | | 19,3 | |
| | Laterální [°] | -0,6 | | -0,2 | | -1 | | 0,5 | |
| | Axiální [°] | 12,7 | | 3 | | 5,2 | | 3,9 | |
| Hrudník/ Záda | Flexe [°] | 1,5 | | 6,4 | | 1,6 | | 7,8 | |
| | Laterální [°] | -0,9 | | -0,6 | | 0,2 | | 1,2 | |
| | Axiální [°] | 18 | | 9 | | 0 | | 8,7 | |
| | | L | P | L | P | L | P | L | P |
| Paže | Flexe [°] | 11 | -13,2 | 33,9 | -7 | 32,4 | 6,2 | 9,3 | -8,7 |
| | Abdakce [°] | 18,4 | 19,7 | 6,1 | 20,9 | 33,3 | 21,4 | 17,6 | 9,5 |
| Zápěstí | Flexe [°] | 20,5 | -7,2 | 6,5 | -2,4 | -3,4 | -7 | 16,4 | -19,4 |
| | Deviace [°] | -22,1 | -11,4 | -12,8 | -5,3 | -0,4 | -12,7 | 6,8 | 18,3 |
| | Pron/Sup [°] | 37,3 | 14,5 | 33,4 | 17,4 | 36,1 | 12,3 | 29,4 | -32,2 |
| Loket | Flexe [°] | 78 | 108,5 | 76,3 | 102,8 | 63,5 | 98,2 | 84,1 | 61,7 |

Ač se nepodařilo docílit 100 % optimálních hodnot, z výsledků uvedených v Tab. 10 lze usoudit, že většina kritických problémů byla vyřešena. Ve třech pozicích bylo shledáno přílišné naklonění hlavy což lze interpretovat jako špatně nastavenou výšku pracovní plochy/židle. Vyobrazené hodnoty je však třeba brát jako přibližné a ne absolutní, jelikož jsou velice závislé na polohování jednotlivých končetin, které v reálném provozu nebude

vždy dodržováno. Hodnoty jsou zároveň velice závislé na správnosti nastavení výšek pracovní plochy a židle.

Jak lze pozorovat v Tab. 11, možností velké polohovatelnosti bylo v analýze docíleno daleko lepších hodnot pro průměrnou ženu, ač opět nebylo dosaženo absolutně optimálních hodnot ze stejných důvodů zmíněných výše.

Tab. 11 - Vyhodnocení kritických pozic na optimalizovaném pracovišti (ženy)

| Žena | Druh námahy | Pozice 1 | | Pozice 2 | | Pozice 3 | | Pozice 4 | |
|------------------|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | L | P | L | P | L | P | L | P |
| Hlava/ Krk | Flexe [°] | 15,3 | | 12,3 | | 4,4 | | -0,9 | |
| | Laterální [°] | -1 | | -0,1 | | -0,8 | | 0,4 | |
| | Axiální [°] | 13,1 | | 0,9 | | 11,7 | | -12,3 | |
| Hrudník/ Záda | Flexe [°] | 9,4 | | 9,7 | | 9,7 | | 18,5 | |
| | Laterální [°] | -6,3 | | -6,3 | | -6,5 | | 5,4 | |
| | Axiální [°] | 15,2 | | 15,2 | | 15,2 | | 2,7 | |
| Paže | Flexe [°] | 13,4 | -0,5 | 55,5 | -2,3 | 58,5 | -3,9 | 12,7 | 11,6 |
| | Abdakce [°] | 35,8 | -1,9 | -4,1 | 29,2 | 52,2 | 24,4 | 35,3 | 31,3 |
| Zápěstí | Flexe [°] | 4 | -23 | -14,1 | 23,2 | -16,6 | 3,4 | -6,5 | -30,8 |
| | Deviace [°] | -21,3 | -6,8 | 1,8 | -26,7 | -0,9 | -13,9 | 9,7 | -23,8 |
| | Pron/Sup [°] | 27,1 | 28,3 | 39,3 | 13,5 | 20,1 | 9,2 | -18,8 | -10,8 |
| Loket | Flexe [°] | 98,3 | 100,8 | 56,7 | 108,4 | 69,2 | 100 | 99 | 24,3 |

5.1.2 Ekonomické vyhodnocení

Důležitou součástí návrhu je i vyhodnocení celkových nákladů na optimalizaci pracoviště. Vzhledem k zastaralosti původního vybavení bylo třeba nahradit všechny části pracoviště. Největší investicí bylo pořízení polohovatelného stolu, spolu se spádovými dráhami na krabičky s díly i na prázdné krabičky. Jeho odhadovaná cena je 120 000 Kč, dále ergonomická židle s přibližnou pořizovací cenou 15 000 Kč. Poté bylo vyměněno nářadí a krabičky malých dílů, společná odhadovaná cena je 3 000 Kč, dále je uvažován nákup nového vozíku na odvoz složených vložek v hodnotě 6 000 Kč. Poslední položkou jsou malé prvky pracoviště, jejichž cena byla stanovena na 3 000 Kč. Souhrn všeho kupovaného vybavení a jednotlivých cen je zobrazen v následující Tab. 12

Tab. 12 - Cenové vyhodnocení optimalizovaného pracoviště

| Optimalizované pracoviště | |
|---------------------------|-------------------|
| Nastavitelný Stůl | 120 000 Kč |
| Židle | 15 000 Kč |
| Krabičky + nářadí | 3 000 Kč |
| Vozík | 6 000 Kč |
| Ostatní prvky konstrukce | 3 000 Kč |
| Celkem | 147 000 Kč |

5.2 Návrh plně robotizovaného pracoviště

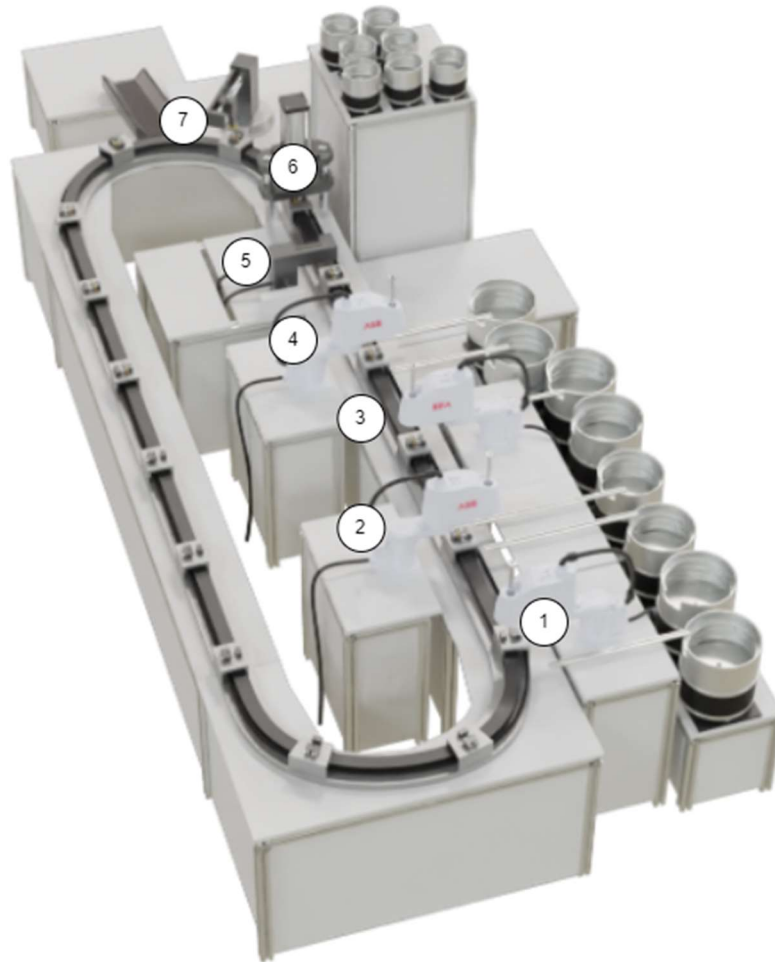
Tato kapitola se bude zabývat vytvořením několika konceptů plně robotizovaného pracoviště. V první řadě budou vytyčena kritická místa montážního procesu a následně vyhodnoceny možné varianty řešení těchto problémů. Na základě jednotlivých porovnání bude sestaven konečný návrh daného pracoviště, který bude následně porovnán s původním a optimalizovaným manuálním pracovištěm.

Největším problémem montáže je vložení vnitřních součástí do těla zámkové vložky. Při ruční montáži tato práce zabere 65 % času celé operace. V automatizované montáži je tento problém vyřešen zakomponováním speciálního lisovacího stanoviště do samotného pracoviště. Jelikož tento způsob je nejefektivnějším řešením tohoto problému, bude uvažován ve všech návrzích, s menšími rozdíly v samotné aplikaci do pracoviště.

Varianta A

První zvažovanou variantou je pracoviště založené na 7 stanovištích propojených speciálním dopravníkem. Každý úkon je vykonáván na jiném stanovišti jiným robotem nebo manipulátorem. Rozpoložení jednotlivých stanovišť je zobrazeno na Obr. 44 - Koncepční návrh varianty A

Počátkem procesu (1) je vložení těla do přípravku na dopravníku jednoduchým manipulátorem. Druhé stanoviště bude sloužit k zasazení středové vačky a následně kratšího bubínku, jelikož vačka musí pro další stanoviště být ve speciálně nakloněné poloze. Pro vložení otočné spojky je přípravek přesně tvarován pro uchopení výstupku vačky. Na následujícím stanovišti (3) dochází k zasunutí dané spojky do těla vložky. Jelikož se jedná o součást tvořenou dvěma částmi, které se mohou nezávisle na sobě otáčet a je nutné, aby při zasouvání skrz tělo vložky byly obě části pod stejným úhlem, je nutné uvažovat vytvoření speciálního vkládacího přípravku.



Obr. 44 - Konceptní návrh varianty A

Další stanoviště (4) obstarává zasunutí distančního tělíska do druhého bubínku a následné vložení bubínku do těla vložky. Dále přicházejí lisovací stanoviště (5-6). Nejprve je na vedlejším stanovišti určen kód zámku, ten je následně vyryt do klíče, který je uložen do zámkové vložky na dopravníku. Spolu s uloženým klíčem je předána informace o potřebných kolíčcích kódu dalšímu stanovišti. Po vložení všech vnitřních částí do těla vložky dojde k zalisování zářezek a vložka je přesunuta do výstupní bedny (7).

Dodávání dílů jednotlivým stanovištím by bylo zařízeno pomocí vibračních podavačů, popřípadě doplňováním součástí do zásobníků obsluhou.

Velká výhoda této varianty je rychlost taktu, jelikož veškeré kroky montážního procesu mají vlastní pracoviště a celý proces je závislý jen na rychlosti nejpomalejšího kroku. Nicméně rychlost je vykoupená velkým množstvím potřebných strojů, a tedy vyšší vstupní investicí. Dále je třeba počítat s většími potřebnými prostory, což by pro menší podniky mohl být problém.

Varianta B

Pro vyřešení problémů stanovených u první varianty byl počet stanovišť pro druhou variantu redukován. Pracoviště je v zásadě rozděleno na tři části, první je složena z robotu a manipulátoru, druhá je složena z rotačního stolu a dvou manipulátorů, a třetí obsahuje rotační stůl s lisem a několika manipulátory pro vkládání vnitřních tělísek do přípravku.

První stanoviště je složeno z několika vibračních podavačů, jednoho robotického ramene, lisu a přípravku, ve kterém bude skládána samotná vložka. Robot nejprve uloží tělo vložky do přípravku spolu se středovou vačkou a následně vloží první bubínek, který se pomocí pneumatického lineárního pohonu zasune do těla. Dále je třeba vložit rotační spojku. K tomu slouží speciální přípravek, jež bude umístěn vedle přípravku pro uložení těla, robot jej uchopí pouze na daný úkon a následně jej opět uloží na původní pozici, kde se automaticky vloží spojka pro další kus. Následně robot uloží druhý bubínek s vloženým distančním tělískem, který bude opět zasunut pneu-pohonem. V dalším kroku proběhne zacvaknutí pojistných kroužků pomocí lisu umístěného nad ukládacím přípravkem a celé složené tělo je přesunuto robotem na rotační stůl, kde je nejprve spárována vložka s vyrobeným klíčem a na základě tohoto klíče je vyplněna správným kódem. O vložení správných kolíčků kódu a ostatních vnitřních dílů se stará druhý otočný stůl, kde jsou nejprve všechny potřebné díly naskládány do přípravků, které jsou následně zasunuty pod lis, spojující oba otočné stoly a následně zaraženy do těla vložky. Posledním stanovištěm je odkládání jednotlivých hotových kusů do připraveného boxu/bedny.

Doplňování dílů je stejně jako u varianty A zařízeno pomocí vibračních podavačů, které jsou umístěny v zadní části konstrukce tak, aby bylo možné jejich společné doplňování z jedné pozice. Výroba klíčů je uvažována na jiném pracovišti, ze kterého budou přeneseny a obsluhou doplněny do jednoduchého zásobníku, z něž je bude stroj brát a pomocí speciálního kamerového systému bude vyhodnocen kód klíče. Tato informace bude poslána do systému, který na základě toho určí správné doplnění vnitřních kolíčků.



Obr. 45 - Konceptní návrh varianty B

Výhodou této varianty je nižší pořizovací cena, dále pak menší zástavbový prostor a vyšší modulárnost. Jelikož je ale velká část procesu založená na práci jednoho robotu, dochází k velké prodlevě mezi prvním a druhým okruhem a tím k nižší produktivitě.

Vyhodnocení variant

Pro vyhodnocování jednotlivých variant bylo třeba stanovit hlavní kritéria výběru, mezi které patří zejména cena (pouze hrubý odhad na základně nejdražších složek), využití

potenciálu robota, náročnost provedení, rychlost taktu, složitost obsluhy a údržby, velikost potřebného prostoru pro konstrukci. Samotné hodnocení pak probíhalo udělováním bodů od jedné do deseti, kde jedna znamená nejhorší skóre a deset nejlepší skóre. Výsledky hodnocení jednotlivých variant lze nalézt v Tab. 13.

Tab. 13 – Bodové vyhodnocení jednotlivých variant

| Varianta | A | | B | |
|---------------------|---|------------------------|---|--|
| Vizualizace |  | |  | |
| Kritérium | Č. | Bodové ocenění (1 -10) | | |
| Odhadovaná cena | 1 | 4 | 7 | |
| Využití robotu | 2 | 7 | 10 | |
| Složitost provedení | 3 | 5 | 3 | |
| Rychlost taktu | 4 | 10 | 3 | |
| Složitost obsluhy | 5 | 7 | 7 | |
| Složitost údržby | 6 | 5 | 6 | |
| Velikost konstrukce | 7 | 3 | 9 | |
| Součet | - | 41 | 45 | |

Na základě toho, že pracoviště A vyžaduje daleko větší množství robotů, jež jsou nejdražší položkou, je v tomto ohledu varianta B výhodnější. Zároveň je u robotu varianty B oproti variantě A, kde jednotlivé roboty jsou vždy specializované na 1-2 pohyby, více využít potenciál. Co se složitosti konstrukce týče, obě varianty přinášejí různorodé problémy spojené s jejich konstrukcí, avšak varianta B byla ohodnocena hůře z důvodu daleko menšího prostoru, na kterém lze celý montážní proces vykonávat. Rychlost taktu, jak již bylo zmíněno v koncepčním návrhu, je daleko vyšší u varianty A z důvodu užší specializace jednotlivých stanovišť. Co se složitosti obsluhy týče, byly oba návrhy brány jako srovnatelné. Důležitým bodem je též rozdíl jednotlivých velikostí těchto pracovišť, jelikož lze předpokládat, že pracoviště by mělo prostorově nahradit původní manuální pracoviště a proto zde varianta B získá daleko více bodů, jelikož je velikostně srovnatelnější s původním pracovištěm.

5.2.2 Rozpracování zvolené varianty

V následující kapitole byla do hloubky rozpracována výše zvolená varianta B. Nejprve se bude zabývat stanovením postupu robotické montáže, na základě kterého bude následně vypracováno rozložení samotného pracoviště. Poté bude následovat vybrání jednotlivých prvků ovlivňujících funkčnost pracoviště, jako je typ robotu, senzory či dodávání dílů. Dále bude vypracováno řešení samotného řízení pracoviště. Součástí návrhu pracoviště bude i návrh efektoru robotu a koncepční návrh jednotlivých přípravků, jako například přípravku pro vkládání spojky. Výsledný návrh pracoviště je zobrazen na následujícím Obr. 46.



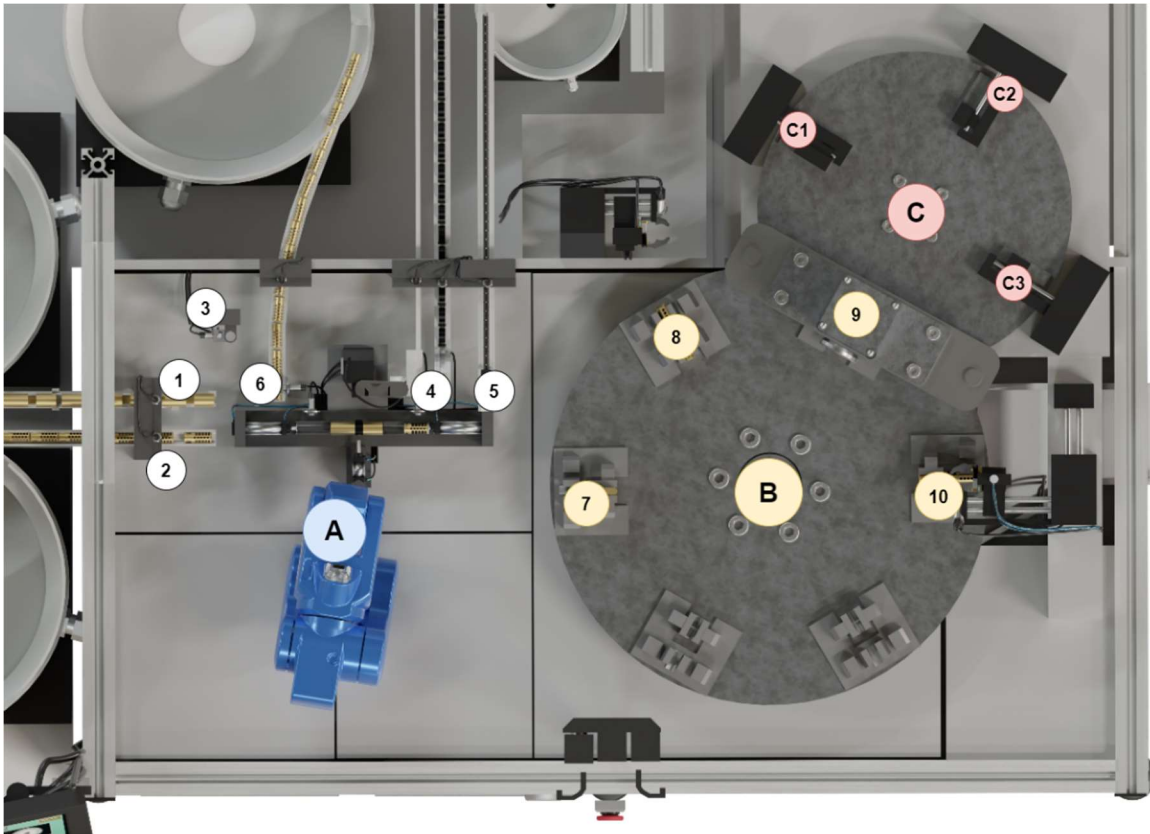
Obr. 46 - Finální podoba pracoviště

Postup robotické montáže

Jak bylo zmíněno v koncepčním návrhu, samotné pracoviště lze rozdělit do 3 hlavních částí zobrazených v Obr. 47 jako A,B a C.

První část je složena ze samotného robotu přípravku pro vkládání vložky, jednoduchého manipulátoru a několika pneumatických lineárních pohonů. Robot nejprve uchopí tělo vložky (1) a vloží je do přípravku před sebou, poté uchopí první bubínek(35 mm) (2), do

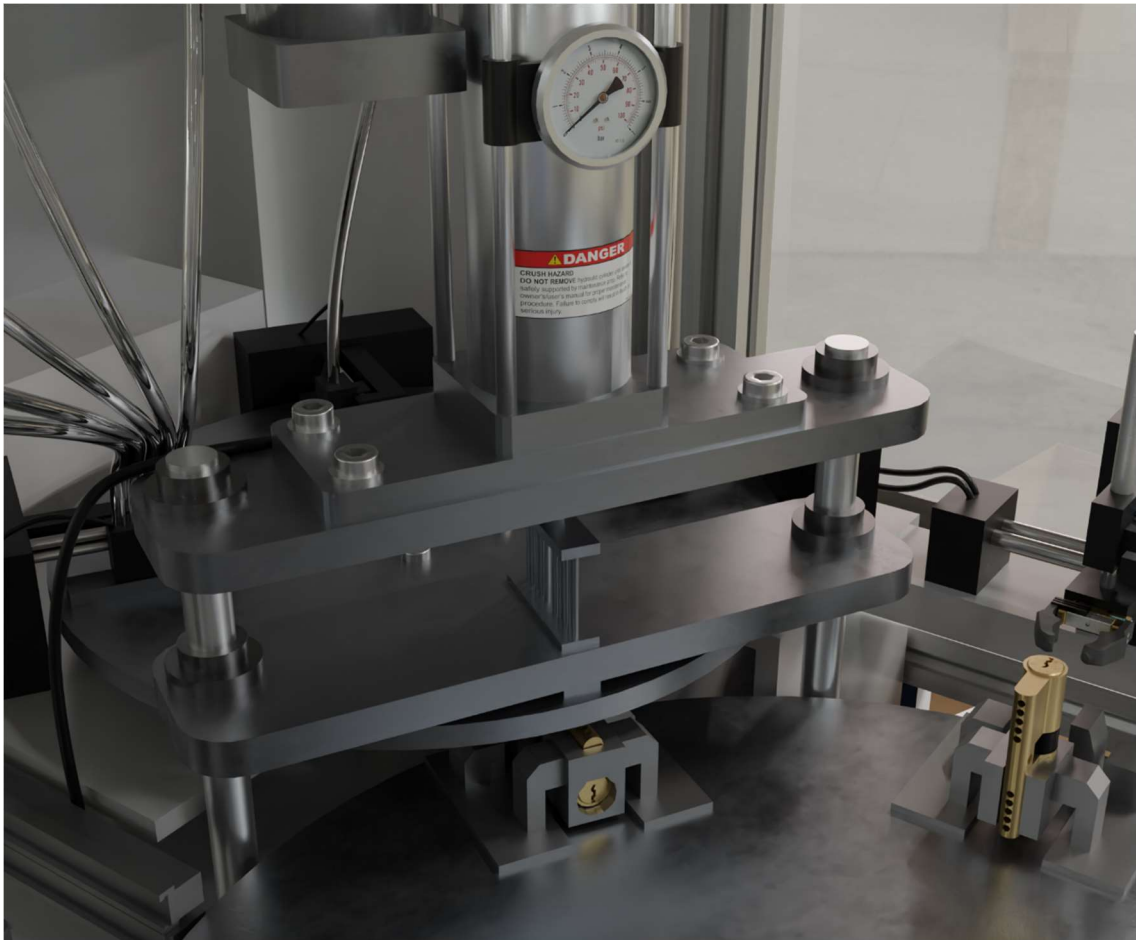
kterého bude nejprve vloženo distanční tělísko v pozici 3 a poté jej uloží vedle těla vložky pro zasunutí pomocí lin. pneu-pohonu.



Obr. 47 - Rozložení robotického pracoviště

Následně uchopí středovou vačku (4) a vloží ji do těla, kde bude zajištěna vsunutím bubínku a potočena do správné polohy pomocí dalšího lin. pneu-pohonu. Následně robot uchopí přípravek s vloženou spojkou (5) a uloží jej do druhého přípravku, kde dojde k zasunutí a vložení spojky. Poté robot přípravek vrátí na původní místo (5). Následuje vložení druhého bubínku (6). Poté dojde k zacvaknutí pojistných kroužků a přesunutí vložky na rotační stůl (7). V pozici 8 dojde ke spojení zámkové vložky s klíčem, který je neprve naskenován pro vyhodnocení správného kódu. Informace o kódu je dále předána lisovacímu okruhu C1-C3. Vložka je zároveň přitlačena do přípravku, aby byla zaručena správná poloha před lisováním (9) vnitřních částí těla, které se ukládají na druhém rotačním stole(C) na pozicích C1-C3 do přípravků tak, aby poté byly vlisovány do těla

vložky(9)(Obr. 48). Finálním krokem je přesunutí hotové vložky se založeným klíčem do krabice přes spádovou dráhu (10).

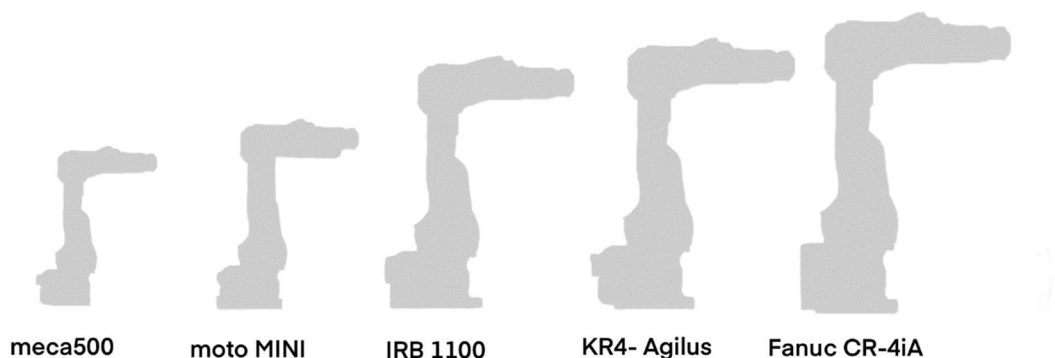


Obr. 48 -Zalisování vnitřních tělísek

Volba robotu

Dále bylo nutné vybrat správného robota pro zvolené rozpoložení. Jelikož se jedná o relativně přesnou montáž lehkých dílů, byly jako základní požadované parametry rozhodování zvoleny cena, opakovatelnost, rychlost, dosah s ohledem na velikost robotu. Z důvodu různorodosti požadovaných pohybů byly pro tuto práci uvažovány pouze roboty kloubové.

Do finálního výběru byly zařazeny typy jejichž sledované parametry jsou uvedeny v Tab. 14. Vybrané typy jsou vždy nejmenším prodávaným typem daného výrobce. Pro rozměrové srovnání bylo vytvořeno schéma na Obr. 49.



Obr. 49 - Velikostní porovnání uvažovaných robotů

Tab. 14 - Parametry robotů [12][15][17][34][39]

| Značka | Mecademic | Yaskawa | Kuka | ABB | Fanuc |
|------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Typ | meca500 | MotoMINI | Kr 4 | IRB 1100 | CR-4iA |
| Dosah [mm] | 350 | 350 | 601 | 475 | 550 |
| Opakovatelnost [mm] | 0,005 | 0,02 | 0,015 | 0,01 | 0,01 |
| Rychlost otáčení [°/s] | 150 | 315 | - | 460 | 340 |
| Nosnost [g] | 500 | 500 | 4630 | 4000 | 4000 |
| Ochrana | IP40 | IP20 | IP40 | IP40 | IP67 |
| Hrubá cena [Kč] | 400 000 | 500 000 | 1 000 000 | 1 000 000 | 1 000 000 |

Jelikož není zapotřebí příliš velký dosah, ba dokonce menší zástavbový prostor je výhodou, lze uvažovat dosahy všech typů za dostatečné. Opakovatelnosti všech typů se pohybují do dvaceti mikronů, v rámci navrhované montáže se nevyskytují úkony vyžadující takto přesné pohyby a proto lze opět považovat veškeré stroje v tomto aspektu za vyhovující. Zmíněné rychlosti otáčení se vztahují k první ose robota. Jedná se tedy o rychlost otáčení kolem základny robota. Zde jsou velké rozdíly, kde robot od firmy ABB je schopný až 3x vyšší rychlosti, než meca500. Co se nosností týče jsou opět

veškeré zmíněné typy plně dostačující. Jelikož se jedná o montáž v čistém prostředí, jsou hodnoty ochrany proti prachu a vodě více než dostačující u všech typů.

Z porovnání jednotlivých variant bylo vyhodnoceno, že optimálními parametry, při relativně nízké ceně pro stanovenou úlohu, disponuje robot motoMINI od firmy Yaskawa (Obr. 50) a proto byl vybrán do finálního návrhu.



Obr. 50 - Yaskawa motoMINI [34]

Zabezpečení

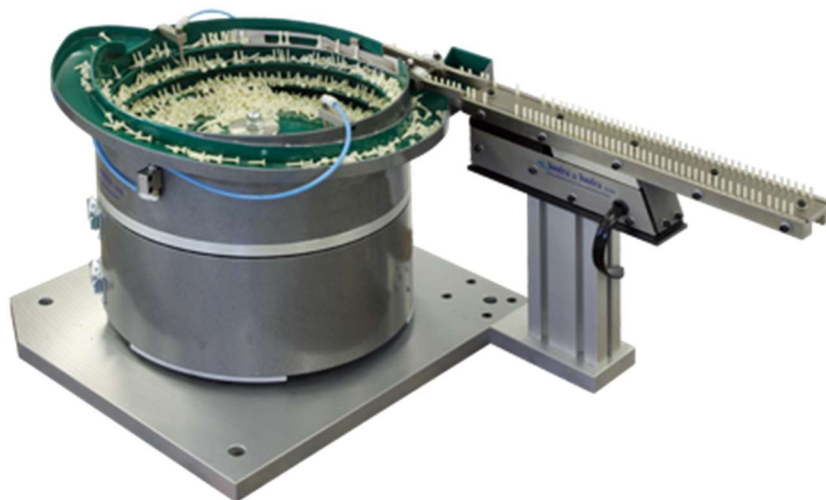
Důležitým aspektem každého robotického pracoviště je zabezpečení bezpečí pracovníků pohybujících se v okolí či přímo interagujících s pracovištěm. Jelikož v tomto případě se jedná o velmi malé robotické rameno, manipulující s lehkými díly, nebude třeba tak robustní ochrany proti upuštění dílu robotem v rámci provozu či nouzového zastavení, avšak je naprostou nutností zajistit zastavení robota při narušení pracovního prostoru.

První vrstvou zabezpečení pracoviště je samotná skříň, jež je složená z hliníkových profilů propojených plexisklem a jež by měla zabránit případnému vyletění upuštěného

dílu. Přístup do samotného pracovního prostoru je zařízen pomocí dvou dvířek, jež jsou vybavena senzory zavření. Pokud tedy budou kterákoliv dvířka otevřena, bude provoz robotu znemožněn. Poslední vrstvou ochrany je senzor pohybu v pracovním prostoru. Pracoviště je dále vybaveno tlačítkem pro nouzové zastavení umístěné pod řídicí obrazovkou pracoviště.

Zásobování a dodávání dílů

Pro zajištění plynulosti procesu bylo nutné vyřešit dodávání dílů na jednotlivá stanoviště tak, aby nevznikala žádná prodleva čekáním na dodání. Jako řešení tohoto problému se nabízelo několik možností. Větší díly, jako jsou bubínky či tělo vložky, by bylo možné rovnat manuálně do jednoduchých zásobníků, avšak daleko vhodnější variantou pro veškeré díly byly určeny automatické vibrační podavače/zásobníky vyobrazeny na Obr. 51, které lze modifikovat takovým způsobem, aby docházelo k automatickému rovnání dílů do potřebné polohy pro uchopování robotem či jiným mechanismem.



Obr. 51 - Vibrační zásobník [38]

Zásobníky jsou umístěny vedle centrální konstrukce na vlastních stolech tak, aby nepředávaly svým provozem vibrace do konstrukce robotu a tím silně ovlivňovaly jeho přesnost/opakovatelnost. Pro naše účely bylo zvoleno 12 vibračních zásobníků pro každý montovaný díl jeden.

Řízení

Pro společnou komunikaci a správné fungování jednotlivých prvků jako jsou senzory, počítač a samotný robot, je nutné vybrat správnou řídicí jednotku. V automatizaci a robotizaci tuto funkci zastávají programovatelné logické automaty, zkráceně PLC (Programmable Logic Controller). Pro zvoleného robota Yaskawa Motomini je doporučena řídicí jednotka YRC1000micro, zobrazená na Obr. 52 a byla proto zvolena pro navrhované pracoviště. Zmíněná jednotka bude umístěna do skříně pod pracovní prostor s přístupem pomocí dvířek. Její cenu lze odhadnout na 100 000 Kč.



Obr. 52 - Řídicí jednotka YRC1000micro [34]

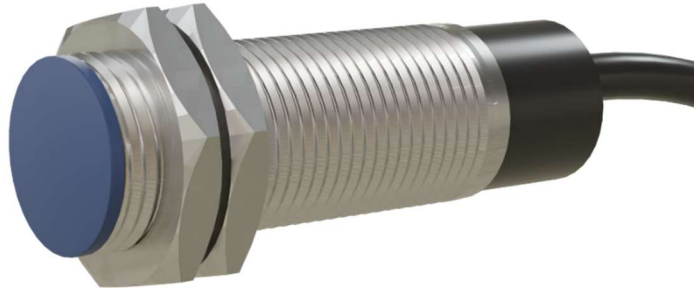
Na samotnou řídicí jednotku bude napojený dotykový display, který se bude nacházet na přední straně pracoviště a bude sloužit k ovládání a nastavování celého pracoviště. Pro přímé ovládání bude pracoviště obsahovat teach pendant Yaskawa Motoman Dx200, zobrazený na Obr. 53, zavěšený pod ovládacím panelem.



Obr. 53 - Teach-pendant Yaskawa Motoman Dx200 [34]

Senzory

Jednotlivá stanoviště pracoviště budou monitorována pomocí několika senzorů, primárně byly použity senzory polohy pro sledování přítomnosti dílů v jednotlivých částech montážního procesu. Pro tyto účely byly zvoleny indukční senzory polohy viz. Obr. 54



Obr. 54 – Indukční senzor polohy

Informace o poloze dílů budou poskytovány robotu tak, aby byl celý proces monitorován a bylo zamezeno situaci, kdy zaseknutí jednoho dílu způsobí práci robota naprázdno a došlo okamžitě k nahlášení poruchy obsluze.

Dále bude pracoviště vybaveno senzorem pohybu, zmíněným v kapitole zabezpečení, jenž bude monitorovat prostor pracoviště a v případě narušení prostoru v průběhu práce robotu zastaví chod pracoviště.

Návrh efektoru

Velmi důležitým aspektem pro přesnou robotickou montáž je samotný koncový efektor robotu, jenž zajišťuje přesné a dostatečně pevné uchopení jednotlivých dílů. Jelikož montáž cylindrické zámkové vložky vyžaduje uchopování dílů různých velikostí a tvarů, je třeba efektor navrhnout tak, aby byl schopný bezproblémové operace se všemi těmito díly.

Vybraný robot Yaskawa MotoMini disponuje univerzální připínací hlavou a je tedy možné připojit velké množství efektorů. Uchopení rozmanitých součástí lze vyřešit několika způsoby.

První zvažovanou možností bylo tvarovat čelisti gripperu takovým způsobem, aby jeho různé části mohly uchopovat různé součásti. Tento způsob je preferovaný, avšak ne vždy jej lze použít.

Další variantou bylo napojení více koncových efektorů najednou. Tento způsob však přinášel několik problémů, jako například vyšší náročnost manipulace v těsných prostorech a byl tedy zavrhnut.

Dále byla uvažována varianta vyměnitelného efektoru, kde by robot pro specifické úkony přešel do zásobníku, kde by byly připraveny různé efekty, které by byly nandávány dle potřeb. Tento způsob by však zvýšil délku taktu a potřeba více efektorů by navýšila cenu sestavy.



Obr. 55 - Koncový efektor

Pro výsledné řešení byla zvolena první možnost, tedy použití jednoho koncového efektoru, pro jehož základ bylo zvoleno jádro KGG 60-40 firmy SCHUNK, ke kterému byly vymodelovány speciální čelisti pro usnadnění uchopování vnitřních bubínek zámkové

vložky a speciálního přípravku na vkládání spojky. Výsledný model je vyobrazen na Obr. 55 a uchopení bubínku na Obr. 56.

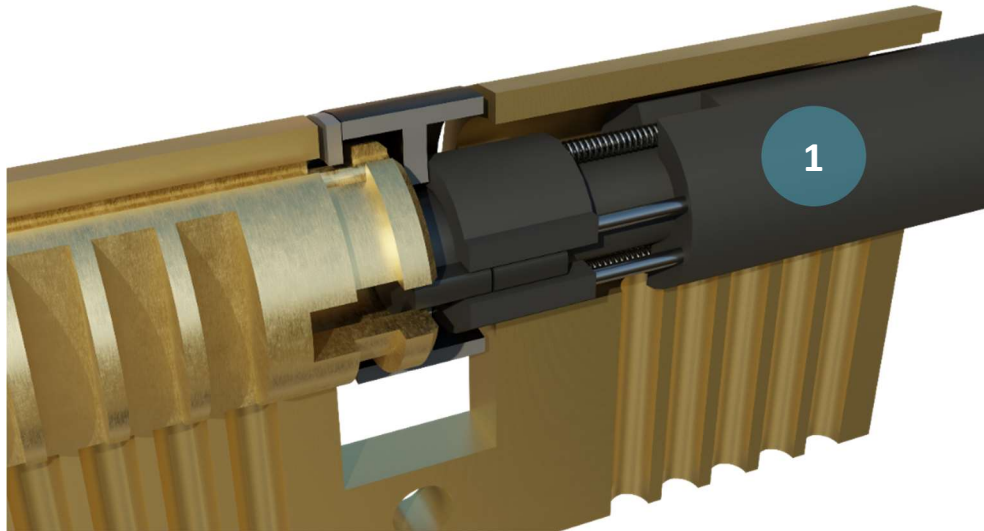


Obr. 56 - Uchopení bubínku gripperem

Návrh přípravků

Nejnáročnější částí dané montáže je uložení spojky do bubínku skrz vačku. Jelikož se jedná o otočný mechanismus, který se sebemenším pohybem může dostat do špatné polohy, je nutné, aby byl držen po celou dobu v přesném natočení a vtlačen skrze vačku do bubínku. V případě ruční montáže je tato část vyřešena schopností člověka potáčet jednotlivé části do té doby, dokud spojka nezapadne ve správné poloze, avšak vytvoření podobných podmínek v robotické montáži by bylo při nejmenším velice náročné. Proto byl tento problém řešen vytvořením speciálního přípravku (Obr. 57 – 1), který bude robot uchopovat pouze pro daný úkon a ukládat jej do přípravku, ve kterém bude vložka skládána. Přípravek bude zachycen k pístu lineárního pneumatického pohonu, po zasunutí spojky a zpětného vysunutí přípravku jej robot opět uloží na původní pozici.

Pro zajištění správného uložení spojky do přípravku bylo odkládací místo přípravku napojeno přímo na výstup z vibračního zásobníku, který zaručuje správné natočení spojky.



Obr. 57 - Konceptní návrh přípravku na vkládání spojky

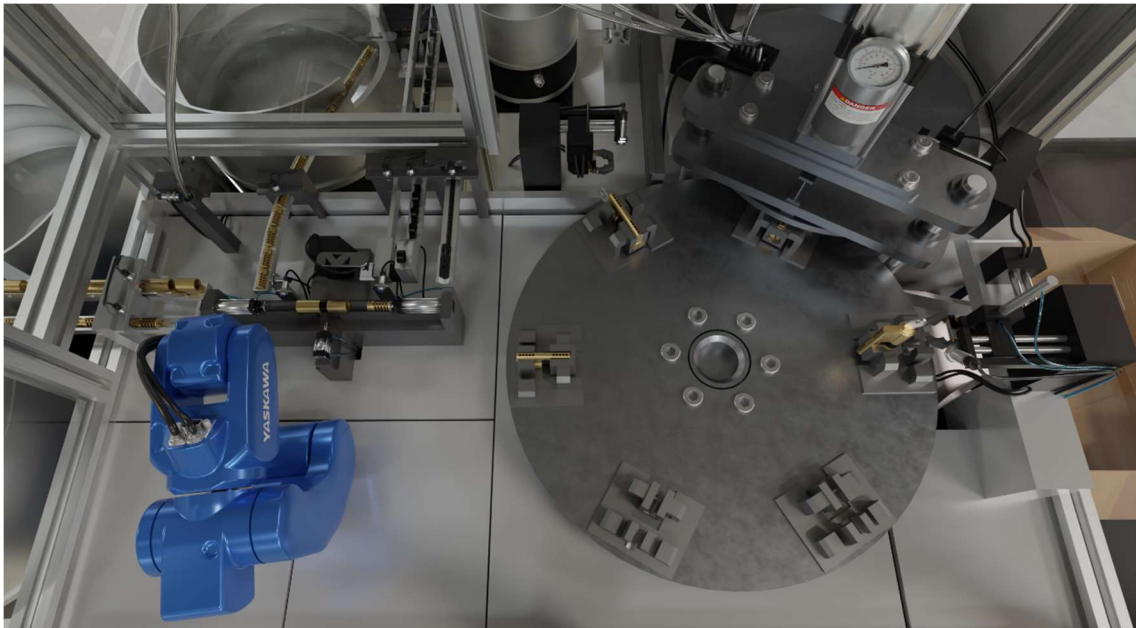
Dále bylo třeba vytvořit několik přípravků pro uchycování těla vložky jak pro část skládání robotem, tak na rotačním stole. V případě prvního přípravku byl volen jednoduchý tvar protikusů pro jednoduché uložení těla bez zvláštního zajištění. U přípravku na rotačním stole bylo uvažováno se zasazováním vložky ve vertikální poloze a následným otočením do polohy pro lisování, vyobrazeno na Obr. 58.



Obr. 58 – Návrh přípravku rotačního stolu

Takt pracoviště

Pro zjištění produktivity pracoviště a jejího navýšení oproti původnímu pracovišti byla vytvořena hrubá animace robotu, ukázka z průběhu na Obr. 59, na základě technických parametrů pohonů a byly odečteny orientační časy jednotlivých operací. Výpis těchto časů je v Tab. 15.



Obr. 59 – Ukázka z průběhu animace

Tabulka je rozdělena dle zařízení, které vykonává operaci na robota (R) manipulátor (M) a lis a sním spojený okruh (L). Při výpočtu času taktu je třeba zohlednit fakt, že různé operace jsou prováděny paralelně a nelze tak výsledný čas určit pouze jejich sečtením.

Tab. 15 – Časy jednotlivých operací

| Zařízení | Operace | Čas (s) |
|----------|---------------------------|---------|
| R | Uchopení těla vložky | 4 |
| R | Vložení těla do přípravku | 3 |
| R | Uchopení bubínku (35 mm) | 3 |

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| R | Vložení distančního tělíska | 3 |
| R | Uložení bubínku do přípravku | 2,5 |
| R | Uchopení středové vačky | 3 |
| R | Vložení středové vačky | 3 |
| M | Vsunutí bubínku | 1 |
| M | Natočení vačky | 1 |
| R | Uchopení přípravku | 3,5 |
| R | Uložení přípravku | 2,5 |
| M | Vsunutí spojky | 2 |
| R | Odebrání přípravku | 3,5 |
| M | Zacvaknutí pojistných kroužků | 3 |
| R | Odebrání vložky a její uložení na rotační stůl | 4 |
| M | Stanovení kódu klíče | 5 |
| M | Vložení klíče | 4 |
| L | Vkládání distančních kolíčků do přípravku | 6 |
| L | Vkládání pružinek do přípravku | 6 |
| L | Vkládání kolíčků kódu do přípravku | 6 |
| L | Zalisování vnitřních tělísek | 2 |
| M | Odebrání vačky z rotačního stolu | 4 |
| Souhrn všech časů | | 75 |
| Takt odladěného pracoviště | | 50 |

5.2.3 Ekonomické vyhodnocení

Pro vyhodnocení nákladů bylo pracoviště rozděleno do 3 částí, a to část pro stroje a pohyblivé segmenty pracoviště, dále elektronické vybavení pracoviště a poslední částí byla uvažována samotná konstrukce pracoviště. Veškeré ceny jsou brány jako odhad založený na průzkumu trhu.

Ač nejdražší položkou pracoviště je samotný robot, který vyjde na 400 000 Kč (bez řídicí jednotky která musí být koupena zvlášť, s odhadovanou cenou 100 000 Kč), spojením cen všech vibračních podavačů, u kterých cena jednoho kusu může dosahovat až 150 000 Kč, dojdeme až na cenu 750 000Kč. V rámci návrhu je uvažováno se 3 většími podavači v hodnotě 85 000 Kč, 3 středním na menší součásti v hodnotě 60 000Kč a 7 malými pro pružinky/kolíčky kódu o hodnotě 45 000 Kč. Další drahou částí jsou jednotlivé jednoduché manipulátory, jež jsou využity na 4 stanovištích a další 3 speciální manipulátory pro ukládání vnitřních tělísek u druhého otočného stolu. Odhadovaná cena jednoho manipulátoru je 40 000 Kč. Lis pro uložení vnitřních tělísek byl naceněn na 50 000Kč. Oba otočné stoly byly odhadnuty na 45 000 Kč.

Nejdražší položkou v části elektroniky je již zmíněná řídicí jednotka robotu, dále pak zabezpečení celého pracoviště, do kterého jsou zařazeny jak senzory na konstrukci pro hlídání zavřených dveří, tak senzor pohybu. Odhadovaná cena těchto částí je 100 000 Kč.

Dále jsou zde zařazeny senzory hlídající chod jednotlivých stanovišť, tedy uvažujeme 10 senzorů polohy a senzory lisu s odhadovanou cenou 30 000 Kč. Poslední složkou je ovládací panel pracoviště, se kterým bude interagovat obsluha, jehož hodnota je 7 000 Kč.

Konstrukce celého pracoviště je složena z kombinace hliníkových profilů(40x40mm), jejichž cena se pohybuje okolo 1 000 Kč/m, dále je nutné uvažovat veškeré spojovací prvky, kterých vzhledem ke konstrukci bude velké množství, celková cena byla odhadnuta na 80 000 Kč, cena boční desky a plexiskla dostatečné tloušťky byla stanovena v hodnotě 15 000 Kč. Zbývající malé prvky konstrukce byly naceněny na 5 000

Kč. Důležitou položkou jsou jednotlivé specializované přípravky, jejich cena byla spolu s nástroji odhadnuta na 150 000 Kč.

Soupis všech součástí pracoviště a jejich cen je vyobrazen v Tab. 16.

Tab. 16 - Ceny jednotlivých složek pracoviště

| Robotické pracoviště | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Složka | Cena |
| Robot | 400 000 Kč |
| Přípravky a nástroje | 150 000 Kč |
| Vibrační zásobníky/podavače | 750 000 Kč |
| Manipulátory (3x) | 290 000 Kč |
| Lis vnitřních tělísek | 50 000 Kč |
| Otočný stůl | 45 000 Kč |
| Lineární pneumtické pohony | 10 000 Kč |
| Řídící jednotka robotu | 100 000 Kč |
| Senzory | 30 000 Kč |
| Ovládací panel | 7 000 Kč |
| Zbylá elektronika | 30 000 Kč |
| Hliníkové profily + spojovací prvky | 80 000 Kč |
| Plexiskla + boční desky | 40 000 Kč |
| Ostatní konstrukční prvky | 30 000 Kč |
| Součet | 2 012 000 Kč |

Vyhodnocení návratnosti a srovnání s původním pracovištěm

Finálním krokem návrhu, bude vyhodnocení samotného zvýšení efektivity produkce a zjištění hrubého odhadu návratnosti této konfigurace.

Vyhodnocení návratnosti probíhalo následujícím způsobem. Nejprve byla vzata data o zvýšené produktivitě pracoviště a vyhodnocena produkce jednoho dne s uvažovaným časem provozu 16 hodin. Tento údaj byl aplikován na jeden rok produkce. Z času provozu bylo odečteno 20 dní simulujících čas odstávek způsobených nucenou údržbou a kontrolou zařízení, náklady na roční údržbu stroje byly stanoveny na 200 000 Kč. O provoz robota se bude starat jeden operátor, s uvažovaným platem 350 Kč/h. V dnešní době stoupajících cen energií je zároveň důležité nahlížet na energetickou náročnost pracoviště, pro pracoviště bude tedy uvažována spotřeba 3kW při ceně elektřiny 6 Kč/kWh.

Poté byla vyhodnocena původní produkce dvou manuálních pracovišť, u kterých byl uvažován 2 směnný provoz. Plat pracovníka byl stanoven na 150 Kč/h. Víkendový provoz v tomto výpočtu nebyl uvažován. Čas směny pracovníka byl dále přepočten na čas samotné práce neboli od času směny jsou odečteny časy podmíněčně vynucených přestávek a nutných přestávek. Pro tyto časy je uvažováno 30 minut, dále je odečteno 30 minut na oběd.

Z výše zmíněných hodnot byl vypočítán čistý zisk, získaný zavedením robotického pracoviště, vycházející z navýšení produkce. Prodejní hodnota jednoho kusu zámkové vložky byla stanovena na 150 Kč a čistý zisk z jednoho kusu byl stanoven na 8 %. Návratnost byla poté stanovena jako rozdíl pořizovací ceny spojené s ročními náklady a ročního zisku. Jednotlivé hodnoty jsou vypsány v Tab. 17.

Tab. 17 – Porovnání parametrů jednotlivých pracovišť

| | Robot | 2 Manuální pracoviště |
|------------------------------------|----------------|-----------------------|
| Čas práce za rok | 4160 h | 3640 h |
| Odstávky/údržba | 320 h | - |
| Takt pracoviště | 50 s | 115 s |
| Vyrobených kusů za rok | 276 480 ks | 227 895 ks |
| Čistý zisk jednoho kusu | 12 Kč | |
| Zisk všech kusů | 3 317 760 Kč | 2 734 747 Kč |
| Plat pracovníka/operátora (1 rok) | 682 000 Kč | 292 500 Kč |
| Plat všech členů obsluhy (2 směny) | 1 365 000 Kč | 1 170 000 Kč |
| Náklady na údržbu | 200 000 Kč/rok | 15 000 Kč/rok |
| Náklady na energie | 69 120 Kč/rok | 5 000 Kč/rok |
| Pořizovací cena | 2 012 000 Kč | - |

Výpočet návratnosti:

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{Pořizovací náklady} + \text{provozní náklady}}{\text{zisk} + \text{provozní náklady původních pracovišť}} = \frac{3\,646\,120}{1\,773\,012} = 2,05 \text{ roku}$$

Výsledná návratnost pracoviště byla vypočtena na dva roky a jako taková by se mohla považovat za velmi dobrou. Je však nutné podotknout že tento výpočet je spíše orientační a lze předpokládat, že reálná návratnost bude delší. Analýza totiž počítá s poptávkou po všech navíc vyrobených kusech. K přesnějšímu stanovení návratnosti by bylo zapotřebí sestavit daleko hlubší analýzu jednotlivých složek nákladů a výnosů.

V dnešní době musí firmy při rozhodování pracovat s daleko více aspekty než dříve, jen poslední roky ukázaly, že výpadek velké části pracovní síly může nastat bez sebemenšího varování a může ochromit výrazným způsobem výrobu podniku. Robotizace tento problém alespoň částečně zmírňuje, nicméně s rostoucími cenami na burze s elektřinou se velmi rychle navýší náklady energeticky náročných robotických pracovišť. Přesto však je automatizace takovýchto pracovišť, i přes potíže s tím spojené, jasnou cestou vpřed pro většinu podniků.

6 Závěr

Tato diplomová práce měla za cíl vytvoření a vyhodnocení několika variant pracovišť zaměřených na montáž zámkových vložek. Nejprve manuálního pracoviště a poté automatizovaného pracoviště s průmyslovým robotem.

V úvodu práce byla zpracována teorie problematiky montáže, jejích základních pojmů, dělení a její postupné automatizace, dále pak byla sepsána problematika ergonomie pracoviště, od níž se odvíjela analýza původního pracoviště. V rámci zpracování teorie automatizace a robotizace byl proveden průzkum trhu průmyslových robotů, jež byl následně využit při volbě robotu v praktické části práce.

V druhé části práce byla nejprve analyzována samotná montovaná zámková vložka a její jednotlivé části a montážní postup, dále byl také vypracován předpokládaný stav původního pracoviště montáže, u kterého byla provedena ergonomická analýza, která objevila několik závažných nedostatků, které bylo nutné v návrhu optimalizovaného pracoviště odstranit. Po dokončení optimalizovaného pracoviště bylo provedeno ekonomické vyhodnocení této varianty pracoviště.

Následně bylo vypracováno několik variant plně automatizovaného pracoviště montáže na úrovni koncepčního návrhu a byl nastíněn princip jejich montážního postupu. Poté bylo vytyčeno několik zásadních aspektů, na základě, kterých byla tato pracoviště vyhodnocena a bylo vybráno pracoviště více odpovídající žadaným parametrům. Pro výsledné pracoviště byly následně podrobně vypracovány jeho jednotlivé části, od volby robotického ramene, po zabezpečení pracoviště. V závěru práce bylo vypracováno srovnání robotického pracoviště vůči původnímu manuálnímu pracovišti a na tomto základě bylo vytvořeno vyhodnocení návratnosti robotického pracoviště.

7 Reference

- [1] PETRŮ, J. a ČEP, R. Základy montáže: [učební text]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2022-04-15]. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [2] HAVLÍČEK, D. Základní pojmy z automatizace: 32 termínů, které musíte znát. Factory Automation. [Online] 25.ledna 2015. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-zautomatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>.
- [3] VITRALAB, Automatizační a robotická technika. Leonardo da Vinci Programme [online] Košice 9/2011 https://docplayer.cz/7785561-Llp-ldv-toi-2009-sk-93100530.html#show_full_text
- [4] Doc. Ing. Anton HUMÁR, CSc. Technologie montáže: [učební text]. [cit. 2022-04-15].
- [5] JIŘÍ MERENDA – AUTOMATIZACE VE VÝROBNÍCH PROVOZECH VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [učební text] [online] <https://adoc.pub/automatizace-ve-vyrobnich-provozech.html>
- [6] Doc. Ing. František Novotný, CSc., Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. Technická univerzita v Liberci v roce 2020 ISBN 978-80-7494-545-8
- [7] Doc. Ing. Vladimír ANDRLÍK, CSc. a kol. Průmyslové roboty a manipulátory [učební text], České vysoké učení technické v Praze, 2012 [cit. 2022-05-10]
- [8] MAREK, Jakub; SKŘEHOT, Petr. Základy aplikované ergonomie. Praha: VÚBP, v.v.i., 2009, 118 s., ISBN 978-80-86973-58-6.
- [9] Obecně o významu ergonomie na pracovišti | BOZPinfo.cz. BOZPinfo - Časopis JOSRA [online]. 2002 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/obecne-o-vyznamu-ergonomie-na-pracovisti>
- [10] CHUNDELA, Lubor. Ergonomie Praha: ČVUT v.v.i., 2013 , ISBN 978-80-01-05173-3 [cit. 2022-05-10]
- [11] Daniel R. Faust, Manufacturing robots. The Rosen Publishing Group, Inc. New York 2017 [online]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=AJZhDwAAQBAJ&lpg=PA16&dq=SCARA%20robots&pg=PA16#v=onepage&q&f=false>

- [12] FANUC, High-speed precision – FANUC SCARA robot. [online]. [cit. 2022-05-10]
Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/scara-series/scara-sr->
- [13] Dosah končetiny – Encyklopedie BOZP. [online]. Dostupné z:
https://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php?title=Dosah_kon%C4%8Detiny
- [14] 361/2007 Sb. Nařízení vlády - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z:
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361#castB>
- [15] IRB 120 | ABB Robotics - Industrial Robots Portfolio [online]. 2022 ABB [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-120#:~:text=The%20IRB%20120%20robot%20is,superior%20control%20and%20path%20accuracy.>
- [16] Co je kloubový robot: 11 faktů, které byste měli vědět – Lambda Geeks. Lambda Geeks – Vzdělávací platforma [online]. 2022, LambdaGeeks.com [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://cs.lambdageeks.com/articulated-robots/>
- [17] KR 4 AGILUS | KUKA AG. industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG [online]. KUKA AG 2022 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/roboticke-systemy/prumyslove-roboty/kr-4-agilus>
- [18] Bezpečnost ve spolupracujících robotických systémech - ElektroPrůmysl.cz. informace ze světa průmyslu a elektrotechniky - ElektroPrůmysl.cz [online]. 2011 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z:
<https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/bezpecnost-ve-spolupracujicich-robotickych-systemech>
- [19] ČSN EN ISO 12100 (833001) A Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [20] ČSN EN ISO 12100 | ČSN online. ČSN online pro jednotlivě registrované uživatele [online]. Dostupné z:<https://csnonline.agentura-cas.cz/Detailnormy.aspx?k=88295>

- [21] Matheson E, Minto R, Zampieri EGG, Faccio M, Rosati G. Human–Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review. *Robotics*. 2019; 8(4):100. <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>
- [22] Collaborative robots: End user industry insights. [online]. Dostupné z: <https://www.industr.com/en/collaborative-robots-end-user-industry-insights-2284062>
- [23] Ochranná oplocení pro průmyslové roboty | Schmachtl. Schmachtl blog | Schmachtl [online]. [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://blog.schmachtl.cz/ochranna-oploceni-pro-prumyslove-roboty>
- [24] Malik, Ali Ahmad & Bilberg, Arne. (2019). Developing a reference model for human–robot interaction. *International Journal for Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 10.1007/s12008-019-00591-6.
- [25] BionicCobot - robot spolupracující s člověkem | Automatizace.HW.cz. Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci [online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bioniccobot.html>
- [26] Analýza a normování, API Akademie. API - Akademie produktivity a inovací [online]. 2005 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25840n-analyza-a-normovani-prace-je-pro-velkou-cast-ceskych-firem-stale-aktualnejsim-tematem>
- [27] Technologické výrobní postupy, Elektronická učebnice - ELUC [online]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1345>
- [28] Montáž a demontáž strojů a zařízení- Střední odborné učiliště služeb Vodňany [online]. [cit.11.08.2022]. Dostupné z: https://www.sousvodnany.cz/zet/File/drop/odv_s3a_1_02_zaklady_montaznich_praci_-_montaz_a_demontaz-1604312542.pdf
- [29] Bridger, R. *Introduction to Ergonomics*, 3rd ed.; Taylor & Francis: 11 New Fetter Lane, London, 2003. [cit. 5.06.2022].
- [30] Pfeiffer S. Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies*. 2016; [cit. 5.06.2022] Doi: <https://doi.org/10.3390/soc6020016>

- [31] Ergonomické stresory. Ergonomické stresory [online]. Dostupné z: <http://ergonomie.vubp.cz>
- [32] used industrial robot Mitsubishi Scara RP-1AH | Eurobots [online]. 2016 [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://www.eurobots.net/robot-mitsubishi-scara-rp-1ah-micro-working-robot-en.html>
- [33] KAVAN, Michal. Výrobní a provozní management. 1. vyd. Praha: Grada, 2002. Expert (Grada). ISBN 80-247-0199-5. [cit. 5.06.2022].
- [34] MotoMINI. Yaskawa Czech [online].2019 Denis Pushkarev [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: https://cz.yaskawa.eu.com/products/robots/handling-mounting/productdetail/product/motomini_603
- [35] China Lock Cylinder Assembly Machine Manufacturers, Suppliers [online]. Caoxian Jingrui Machiney Lock Industry Co., [cit. 11.08.2022]. Dostupné z: <https://www.jingrui8888.com/lock-machine/lock-assembly-machine/lock-cylinder-assembly-machine.html>
- [36] ČSN EN ISO 10218-2 (186502) A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [37] ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices - Collaborative robots. 2016.
- [38] Vibrační zásobníky, Internetový obchod Vondra a Vondra, s.r.o. Česká Třebová (Česko) [online].[cit. 13.08.2022]. Dostupné z: <https://4439-cz.all.biz/vibracni-zasobniky-typ-b-g21255>
- [39] The world's smallest six-axis robot arm | Mecademic Robotics. [online].[cit. 13.08.2022]. Dostupné z: <https://www.mecademic.com/en/meca500-robot-arm>

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 - parametry angulárních robotů | 27 |
| Tab. 2 - parametry SCARA robotů..... | 28 |
| Tab. 3 – Energetická náročnost pracovních poloh [8] | 36 |
| Tab. 4 - Počet pohybů dle nařízení vlády č.361/207[14] | 37 |
| Tab. 5 – Kusovník součásti | 45 |
| Tab. 6 - Časy jednotlivých úkonů montáže | 48 |
| Tab. 7 – Hodnoty použité pro průměrného muže a ženy..... | 54 |
| Tab. 8 - Vyhodnocení kritických pozic pro muže | 54 |
| Tab. 9 - Vyhodnocení kritických pozic pro ženy..... | 55 |
| Tab. 10 – Vyhodnocení kritických pozic na optimalizovaném pracovišti (muži) | 63 |
| Tab. 11 - Vyhodnocení kritických pozic na optimalizovaném pracovišti (ženy) | 64 |
| Tab. 12 - Cenové vyhodnocení optimalizovaného pracoviště..... | 65 |
| Tab. 13 – Bodové vyhodnocení jednotlivých variant..... | 70 |
| Tab. 14 - Parametry robotů [12][15][17][34][39] | 75 |
| Tab. 15 – Časy jednotlivých operací..... | 83 |
| Tab. 16 - Ceny jednotlivých složek pracoviště | 86 |
| Tab. 17 – Porovnání parametrů jednotlivých pracovišť | 88 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 - schéma soustředěné montáže [1] | 12 |
| Obr. 2 - Schéma rozčleněné montáže [1] | 13 |
| Obr. 3 - Schéma řadové montáže [1] | 13 |
| Obr. 4 - schéma linkové montáže [1] | 14 |
| Obr. 5 - schéma proudové montáže [1] | 14 |
| Obr. 6 - Postupná montáž [4] | 15 |
| Obr. 7 - Schéma souběžné montáže [4] | 15 |
| Obr. 8 - Schéma kombinované montáže [4] | 16 |
| Obr. 9 - Schéma třídění časů [27] | 19 |
| Obr. 10 - Schéma rozřazení robotů [7] | 25 |
| Obr. 11 - Diagram nosnosti robotu KUKA KR 4 R600 [17] | 26 |
| Obr. 12 - ABB IRB120 [15] | 27 |
| Obr. 13 - FANUC CR-7iA[12] | 27 |
| Obr. 14 - Fanuc SCARA SR-3iA [12] | 28 |
| Obr. 15 - Missubishi RP-1AH | 28 |
| Obr. 16 - Schéma konvenčního robotického pracoviště [24] | 29 |
| Obr. 17 - Schéma koexistenčního robotického pracoviště [24] | 30 |
| Obr. 18 - Schéma synchronizovaného robotického pracoviště [24] | 30 |
| Obr. 19 - Schéma kooperačního robotického pracoviště [24] | 31 |
| Obr. 20: Schéma kolaborativního robotického pracoviště [24] | 31 |
| Obr. 21: Kolaborativní pracoviště [22] | 32 |
| Obr. 22 - Zabezpečení dle normy EN ISO 10218-2 [23] | 33 |
| Obr. 23 - Schéma monitorovaného zastavení [24] | 34 |
| Obr. 24 - Schéma ručního navádění robota [24] | 34 |
| Obr. 25 - Schéma monitorování vzdálenosti a rychlosti [24] | 35 |
| Obr. 26 - Schéma limitování výkonu a síly [24] | 35 |
| Obr. 27 - Schéma nastavitelnosti pracovního sedadla [10] | 41 |
| Obr. 28 - Dosahy horních končetin [13] | 42 |

| | |
|---|----|
| Obr. 29 - Vzdálenost pracovní plochy dle charakteru práce [13] | 43 |
| Obr. 30 - Montovaná cylindrická zámková vložka | 44 |
| Obr. 31 - Výchozí pracoviště montáže | 49 |
| Obr. 32 - Přesun krabiček s díly | 51 |
| Obr. 33 – Kritická pozice 1 | 52 |
| Obr. 34 – kritická pozice 2 | 52 |
| Obr. 35 – kritická pozice 3 | 53 |
| Obr. 36 - kritická pozice 4 | 53 |
| Obr. 37 - Lis na vyplňování cylindrických zámkových vložek [35] | 57 |
| Obr. 38 - Dosahové zóny dle VN 361/2007 | 59 |
| Obr. 39 – Finální podoba optimalizovaného pracoviště..... | 60 |
| Obr. 40 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 1 | 61 |
| Obr. 41 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 2 | 61 |
| Obr. 42 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 3 | 62 |
| Obr. 43 – Optimalizované pracoviště – kritická pozice 4 | 62 |
| Obr. 44 - Koncepční návrh varianty A | 67 |
| Obr. 45 - Koncepční návrh varianty B | 69 |
| Obr. 46 - Finální podoba pracoviště | 72 |
| Obr. 47 - Rozložení robotického pracoviště | 73 |
| Obr. 48 -Zalisování vnitřních tělísek | 74 |
| Obr. 49 - Velikostní porovnání uvažovaných robotů | 75 |
| Obr. 50 - Yaskawa motoMINI [34] | 76 |
| Obr. 51 - Vybrační zásobník [38]..... | 77 |
| Obr. 52 - Řídící jednotka YRC1000micro [34] | 78 |
| Obr. 53 - Teach-pendant Yaskawa Motoman Dx200 [34] | 78 |
| Obr. 54 – Indukční senzor polohy | 79 |
| Obr. 55 - Koncový efektor | 80 |
| Obr. 56 - Uchopení bubínku gripperem..... | 81 |
| Obr. 57 - Koncepční návrh přípravku na vkládání spojky | 82 |

| | |
|--|----|
| Obr. 58 – Návrh přípravku rotačního stolu..... | 82 |
| Obr. 59 – Ukázka z průběhu animace | 83 |

Seznam použitého software

Autodesk Inventor 2022

Blender 3.2.2

In3D

SIEMENS Tecnomatix Jack 9.0