

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**ADAM
PODOLKA**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Podolka** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **491181**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh robotického pracoviště montáže

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a robotic assembly workplace

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše teorie montáže
2. Možnosti automatizace a robotizace montáže
3. Analýza současného stavu procesu
4. Návrh řešení robotického pracoviště
5. Zhodnocení návrhu

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **15.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Datum:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto odstavcem bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Tomáši Kellnerovi za cenné rady, čas a věnovanou ochotu při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům a vedení firmy, u které jsem tuto práci mohl provést.

Anotace

Bakalářská práce analyzuje a vyhodnocuje současný stav montáže zubových čerpadel. Cíl bakalářské práce byl na základě analýzy ověřit existenci přínosného, realizovatelného a ekonomicky vhodného návrhu automatizované montáže zubových čerpadel. Úvodní úsek této práce tvoří rešerše technologického projektování, procesu montáže a ergonomie. Následující úsek se na základě informací z rešeršní části bakalářské práce zabývá cílem bakalářské práce, provedení studie proveditelnosti automatizace montáže a následné vytvoření návrhu optimalizovaného robotického pracoviště.

Klíčová slova

Výrobní proces, Montáž, Projektování, Časová studie, Ergonomie pracoviště, Optimalizace, Robotizace, Statická simulace, Simulace robotického pracoviště

Annotation

The bachelor thesis analyses and evaluates the current state of gear pump assembly. The aim of the bachelor thesis was to verify the existence of a beneficial, feasible and economically suitable design for the automated assembly of gear pumps. The introductory section of this thesis consists of a research of technological design, assembly process and ergonomics. Based on the information from the research section, the following section deals with the aim of the bachelor thesis, conducting a feasibility study of automating the assembly and then developing a design for an optimised robotic workstation.

Keywords

Manufacturing process, Assembly, Design, Time study, Workplace ergonomics, Optimization, Robotics, Static simulation, Robotic workplace simulation

Obsah

Úvod	9
1 Metody projektování.....	10
1.1 Výrobní procesy	10
1.2 Navržení výrobních procesů	10
1.3 Časová studie výrobního procesu	11
1.3.1 Snímek operace	13
1.3.2 Snímek pracovního dne.....	14
1.4 Výrobní systémy.....	14
1.5 Navrhování výrobních systémů.....	15
1.6 Rozbor vstupních dat	15
1.7 Využití simulací při projektování.....	16
1.7.1 Tecnomatix Jack.....	16
1.7.2 Robotstudio ABB.....	17
2 Pracoviště montáže.....	19
2.1 Prvky montáže.....	19
2.2 Montážní činnosti	20
2.3 Dělení montáže.....	20
2.3.1 Stacionární.....	20
2.3.2 Pohybová.....	20
2.4 Projektování montáže.....	21
2.5 Automatizace a robotizace montáže	21
2.5.1 Rozdělení montáže dle míry mechanizace	21
2.6 Roboti a manipulátory	22
2.6.1 Části průmyslových robotů.....	23
2.6.2 Angulární roboti a jejich vybavení.....	24
3 Ergonomie pracoviště	32
3.1 Hodnocení pracovních poloh	34
3.2 Dosahy a pracovní roviny	36

4	Analýza současného pracoviště	39
4.1	Cíle optimalizace montáže.....	39
4.2	Analýza montážního procesu a předmětu montáže	39
4.3	Výstup analýzy montážního procesu	41
4.3.1	Montážní sled dílců	41
4.3.2	Kritická místa pro automatizaci	45
4.3.3	Časová analýza sledovaného úseku.....	46
4.3.4	Výstup analýzy ergonomie pracoviště	52
5	Návrh pracoviště montáže.....	55
5.1	Přístupy k optimalizaci pracoviště montáže.....	55
5.2	Plánování, logistika a zásobení robotického pracoviště	57
5.3	Výchozí parametry.....	58
5.4	Variabilita montážního pracoviště.....	58
5.4.1	Výroba jednoho druhu	59
5.4.2	Výroba více druhů	60
6	Návrhy variant robotické montáže	61
6.1	Vybavení robotického pracoviště	61
6.2	Z hlediska zásobení pracoviště.....	62
6.2.1	Varianta 1	63
6.2.2	Varianta 2	66
6.2.3	Varianta 3	67
6.2.4	Porovnání variant	69
6.3	Z hlediska logistiky.....	69
6.3.1	Vychystávání za chodu	69
6.3.2	Vychystávání za klidu.....	70
6.4	Méně vhodné varianty	71
6.5	Simulace pracoviště	71
6.5.1	Robotizace	71
6.5.2	Ergonomie	76

7	Vyhodnocení návrhu pracoviště.....	78
7.1	Technologické.....	78
7.2	Ergonomické.....	80
7.3	Ekonomické.....	80
7.4	Možné problémy při realizaci.....	82
8	Závěr.....	83
	Seznam obrázků.....	90
	Seznam tabulek.....	92
	Seznam použitého softwaru.....	92

Úvod

Zadáním bakalářské práce je návrh robotického pracoviště montáže. Bakalářská práce se věnuje problematice optimalizace montážního pracoviště. V rámci optimalizace pracoviště se tato práce zaměřuje na ověření existence technicky realizovatelné, produktivní a ekonomicky vyhovující varianty automatizované montáže zubových čerpadel. Optimalizace probíhá v rámci technického a ergonomického řešení pracoviště. Výsledkem bakalářské práce je návrh řešení robotického pracoviště zaměřeného na montáž zubových čerpadel.

Úvodní část práce je teoretická, zabývající se rešerší metod projektování a montážního procesu. Byla zde popsána problematika výrobního procesu, výrobního systému, časové studie a simulace při výrobě. Dále se teoretická část zabývá popisem montáže, jejími činnostmi, prvky a způsoby. Nedílnou část rešerše montážního procesu tvoří jeho automatizace a robotizace. Teoretická část tvoří základy pro návrhy robotického pracoviště, kterými se zabývá praktická část bakalářské práce. Závěrečnou část teoretické přípravy tvoří rešerše ergonomie pracoviště, kde byla popsána problematika ergonomie a rozpracováno hodnocení pracovních dosahů a rovin. Kapitola je zakončena významem a efekty optimalizovaného prostředí pracoviště.

Úvod do praktické části bakalářské práce obsahuje analýzu současného pracoviště. Pracoviště bylo analyzováno z pohledu využívané technologie, časové náročnosti montážního procesu a ergonomie pracoviště. Kapitola je ukončena vyhodnocením současného stavu montážního procesu, které je velmi důležité pro kvalitní návrh optimalizace montážního pracoviště popisovaného v následující kapitole.

Na základě získaných informací z již zmíněných kapitol byly vytvořeny návrhy robotického pracoviště montáže. V dané kapitole jsou dle výchozích parametrů prezentovány jednotlivé návrhy optimalizace pracoviště, zahrnující varianty z hlediska variability, zásobení a logistiky. Návrhy jsou následně simulovány v programech Tecnomatix Jack a Robotstudio ABB.

Závěrečnou kapitolou této bakalářské práce je vyhodnocení jednotlivých návrhů robotického pracoviště montáže. Dílčí varianty optimalizace jsou porovnány v rámci technologického vyhodnocení. Výsledná varianta je vyhodnocena i v rámci ergonomie a ekonomiky. V rámci vyhodnocení jsou shrnuty veškeré výsledky a popsány možné problémy při realizaci vybraného návrhu robotického pracoviště.

1 Metody projektování

Úvodní kapitola této práce se zabývá projektováním a metodami s ním spojenými. Začátek kapitoly definuje základní pojmy, po kterých následují detailnější popisy skutečností. Kapitola pojednává o výrobních procesech, technologickém projektování, rozdělení a rozložení výrobního postupu, navrhování výrobních systémů, ale i o časové studii prováděné podniky a o využití simulačních programů při projektování. Teorie popsána v rámci celé bakalářské práce, byla využita v praktické části.

Činnosti technicko – ekonomického charakteru, jejímž hlavním faktorem je maximální využití zdrojů u všech možných variant výroby (technologie, montáž, technicko-organizační), se nazývá technologické projektování. Jednotlivé zdroje se dělí na kategorie hmotných zdrojů (materiál, energie, plocha), prostředků (výrobní, manipulační, kontrolní) a pracovních sil. Cílem je optimalizovat využití zmíněných zdrojů pro nejvyšší efektivnost a ziskovost podniku. [1]

1.1 Výrobní procesy

Výrobní proces, vyznačován jako soubor činností, které mají za cíl změnu rozměru, tvaru, složení, jakosti a spojení původního polotovaru do požadovaných technologických, ale i ekonomických rozměrů. Činnosti spadající pod výrobní proces se kategorizují do technologických, kontrolních, manipulačních a řídicích. Pro uskutečnění výrobního procesu je zapotřebí výrobní systém, jenž lze charakterizovat jako soubor technologických prostředků a pracovních sil za účelem přetvoření vstupů na výstupy. [1] [2]

1.2 Navržení výrobních procesů

Vyšší nároky na výrobní dokumentaci klade složitost výrobků, výrobních metod, řízení a rozmanitost výroby. Celý proces výroby měnící výchozí materiál v hotový výrobek je nutné přesně nastavit a rozdělit na jednotlivé části. Počet, pořadí a podmínky činností jsou popsány v dokumentaci zvané výrobní postup.

Pokud je obsahem výrobního postupu pouze sled technologií (tepelné zpracování, povrchové úpravy, obrábění), které jsou nutné pro zmíněné změny během výrobního procesu, nazývá se tento postup technologickým postupem. Druhým postupem je postup pracovní, který zahrnuje pouze činnosti vykonávané pracovníkem (montáž). Spojením technologického a pracovního postupu vzniká výrobní postup, popisující realizaci všech činností nutných pro změnu výchozího polotovaru ve výrobek.

Účelem výrobního postupu je návrh polotovaru (výchozí rozměry, vlastnosti, přídatky pro operace), stanovení počtu a pořadí jednotlivých technologií a pracovních činností, určení

výrobního zařízení a vybavenosti pracoviště, stanovení základních směrnic (normy, tarify, plánování). [3]

Rozložení výrobního postupu

Výrobní postup se člení na základě použité technologie či pracovní činnosti na níže vypsané části:

- Operace: Realizuje se zpravidla jedním nebo několika pracovníky na jednom technologickém nebo pracovním místě. Hlavní charakteristika je tedy stejný předmět práce na stejném pracovišti. Základní informace pro plánování, organizaci a řízení, obsahuje operace.
 - Operační úsek: Dílčí ukončený technologický proces, prováděný při stejných pracovních podmínkách samostatným nástrojem nebo několika nástroji na jedné nebo více částech obrobku současně, představuje operační úsek.
 - Operační úkon: Stejná jednoduchá pracovní činnost (vyjmutí tělesa) je popisována operačním úkonem.
- Pracovní pohyby: Nejmenší měřitelnou částí operačního úseku je pracovní pohyb. Jsou to např. operace uvolnění, zašroubování.

Nezbytnou součástí jednotlivých fází výrobního procesu jsou kontrolní operace. Zaměřují se především na:

- Vstupní kontrolu: Funguje jako ověření výchozího polotovaru ve smyslu vlastností a rozměru.
- Mezioperační kontrolu: Umisťuje se před i po technologicky náročných operacích. Poukazuje na chyby ve výrobě a vyznačuje zmetkové díly.
- Výstupní kontrolu: Úkolem výstupní kontroly je porovnání předepsaných požadavků s výsledným provedením všech operací. [3]

1.3 Časová studie výrobního procesu

Jedna z možností vyhodnocení a pozorování výrobního procesu je časová studie. Časová studie je strukturovaný proces měření lidské práce pomocí různých metod a zařízení. Cílem je stanovit a rozčlenit dobu potřebnou k dokončení zadané práce. Vyhodnocení dat z pozorování daného procesu je nutné uzpůsobit jeho náplni, do jaké míry proces sahá a složitosti daného procesu. [4]

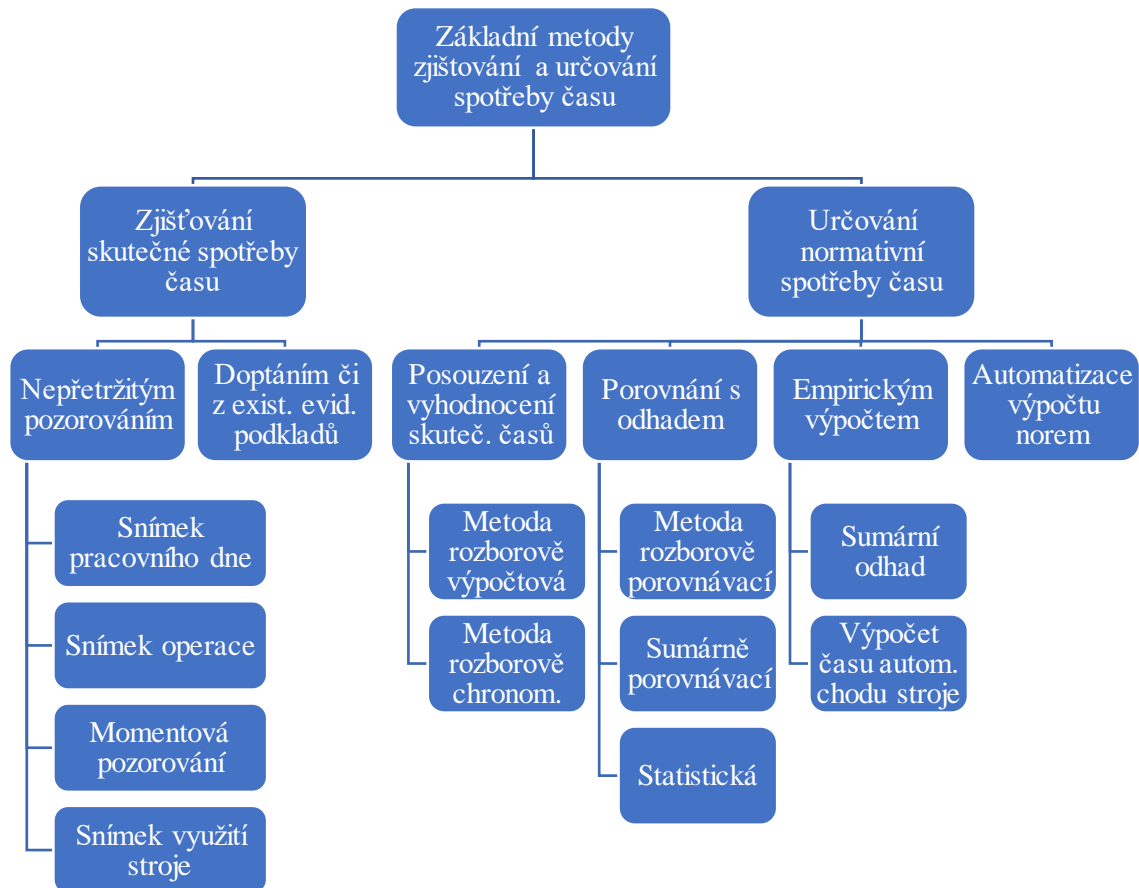
Časové studie jsou vhodné pro cyklické výrobní procesy, které najdeme u sériové výroby. Pro kusovou výrobu se výsledné časy a normy pouze odhadují z předešlých zkušeností. Pokud lze výrobní proces rozdělit na jednotlivé pracovní úkony, jsou časové studie užitečné pro určení, kolik času jednotlivé úkony pracovníkovi zabírají.

Studie se využívá jako prostředek pro zlepšení účinnosti výroby, optimalizaci výrobního prostředí, rozložení pracoviště, ergonomie práce, využití strojů a pracovní síly. [5]

Studie je rozdělena do tří fází:

- Příprava: Úvod do každé analýzy je určení, co se chce měřit a jaký je konkrétní cíl studie (zrychlení, normování). Pokud je přesně určeno, jaký proces je měřen, je vhodné jej rozdělit do jednotlivých částí. Části je vhodné definovat s jasným začátkem a koncem. Základní časy bez jakéhokoliv měření jsou odhadovány specialisty v daném výrobním procesu.
- Měření: Jakékoliv zařízení na měření času je vhodné, například stopky. Tímto zařízením je měřen čas, jak dlouho pracovníkovi trvá dokončení úkonu. Měření se provádí vícekrát, jelikož výsledná hodnota malého počtu měření může být zavádějící (mimořádné odchylky).
- Vyhodnocení: Výsledky měření se zapisují do tabulek a následně se z nich provádějí potřebné analýzy (jednotlivé časy, ovlivnění časů, průměr hodnot, mediány hodnot). [5]
[4]

Možností provedení časové studie je mnoho. Jednotlivé metody jsou kategorizovány na Obr. 1. Pro potřeby praktické části bakalářské práce jsou rozepsány dvě metody stanovení spotřeby času. Snímek operace a snímek pracovního dne jsou v praxi často využívané metody. V ojedinělých případech se může stát splynutí snímku operace a snímku pracovního dne do jednoho snímku, tento případ nastává při složitých operacích, trvajících jednu či více směn.



Obr. 1 - Schéma stanovování spotřeby času [6]

1.3.1 Snímek operace

Do metody studie pracovního procesu patří snímky operace. Snímky se zaměřují na dobu trvání jednotlivých, opakujících se operací, či jejich částí. Výsledkem jsou informace o časové náročnosti sledované operace i jednotlivých úseků. Snímky operace se podle části sledovaného úseku dělí do tří skupin:

- Plynulá chronometráž: Při studii plynulé chronometráže se sleduje celý průběh cyklické operace. Z nepřetržitého pozorování spotřeby času se zjišťuje doba jednotlivých úkonů, ale i doba celé operace.
- Výběrová chronometráž: Od plynulé chronometráže se liší ve sledovaném úseku, jelikož v tomto druhu chronometráže se zkoumají pravidelně i nepravidelně opakující se části operace. Výsledkem je čas úkonů nebo samostatných pohybů.
- Snímková chronometráž (snímek průběhu práce): Jde o záznam a měření způsobem, který je využíván u metody snímku pracovního dne a metoda vyhodnocení používaná u chronometráže. Pomocí kombinace těchto způsobů vyhodnocení se dokáže vytvořit průzkum průběhu nepravidelných a předem nestanovených operací. Výsledkem je nejen doba úkonu, ale i jeho smysl. [4] [6]

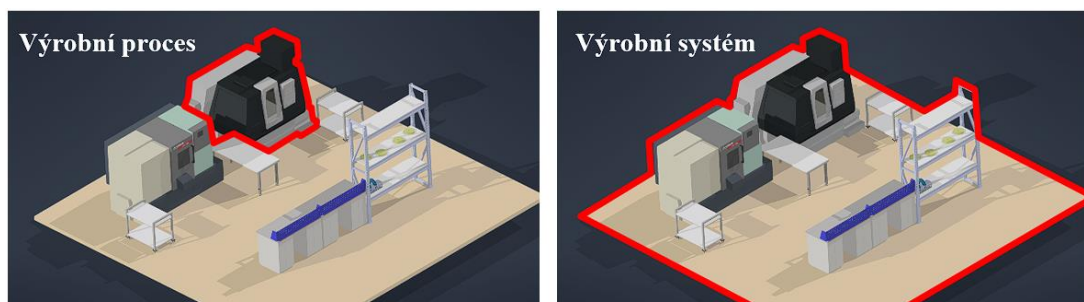
1.3.2 Snímek pracovního dne

Při potřebě sledování průběhu celé směny se využívá snímku pracovního dne. Metoda vyhodnocuje časový podíl jednotlivých úseků, dějů a aktivit vůči celé pracovní směně. Měření se získají například ztrátové časy, časy přechodové a časové složky směny. Jelikož metoda patří mezi metody univerzální, nemusí se metodou měřit pouze práce pracovníka, ale i činnost strojů. Snímek pracovního dne se dělí podle typu studie do čtyř skupin:

- Snímek pracovního dne jednotlivce: Pozorování se provádí pouze na jednom pracovníkovi. Využívá se při požadavku na získání podrobných informací. Zpravidla se tvoří až pět snímků.
- Snímek pracovního dne čtyry: Při potřebě sledování skupiny zaměstnanců, kterým je přidělena na sebe navazující práce, či jejich práce je společná, je využíván snímek pracovního dne čtyry.
- Hromadný snímek pracovního dne: Umožňuje sledování několika zaměstnanců, kteří vykonávají odlišné pracovní úkony. Tímto způsobem se snižují celkové náklady na měření a pozorování.
- Vlastní snímek pracovního dne: Vlastní snímek kopíruje snímek hromadný, pouze s rozdílem zaměření na ztrátové časy a jejich původ. Ztrátové časy často vznikají z technických a organizačních důvodů, míru a důvod těchto ztrát zapisuje sám pracovník. Měření probíhá v současné době na několika pracovištích. [4] [6]

1.4 Výrobní systémy

Soubor činností transformující vstupy na výstupy, které vytváří přidanou hodnotu, lze označit za výrobní systém. Typ vstupů a výstupů dělí systémy podle fyzikální podstaty na systémy generující výrobky nebo poskytující služby. Systémy tvoří výstupy v rámci předem stanovených podmínek, do souboru výrobního systému patří například výrobní zařízení jako jsou stroje a další vstupy (polotovary, materiál). Konkurenceschopnost výrobního systému nastavuje organizační a hmotné uspořádání výrobních procesů. Rozlišení výrobního procesu od výrobního systému je zobrazeno na Obr. 2. [1] [7]



Obr. 2 - Rozdíl výrobního procesu od výrobního systému [1]

1.5 Navrhování výrobních systémů

Návrh výrobních systémů je technickoorganizační a ekonomická činnost vycházející z rozboru současných zdrojů podniku, náklonosti k rozvoji výrobních procesů a systému, ale zároveň i z požadavků managementu. Pro návrh výrobních systémů je potřeba kolektivu specialistů z různých oborů.

Při návrhu výrobních systémů se pracuje s metodou postupného modelování. Metoda vychází z rozdělení složité úlohy na individuální, jednodušší problémy. Návrh pracuje s variantami, jejich vyhodnocením (technické, ekonomické, organizační) a využitím simulací (ověření návrhů pro využití času, prostoru a funkcí).

Technologické projektování lze rozdělit z hlediska metodiky modelování na dvě samostatné etapy:

- První etapa: Tato etapa se zaměřuje na statickou část návrhu. Tímto se rozumí návrhy variant montáže pro předem stanovený soubor výrobků, při kterých se nepřihlíží na požadavky času montáže a využitého prostoru.
- Druhá etapa: V této etapě se řeší dynamická část návrhu, což je část návrhu zabývající se otázkami konstrukce a technologie při dodržení požadavků na časovou náročnost (návaznost a plynulý průběh výroby) a využití prostoru (velikost montážní plochy, zástavba strojů, možnosti manipulace s materiálem).

Obě části technologického projektování na sebe úzce navazují a umožňují uskutečnit optimalizovaný návrh výrobního procesu, splňující všechny požadavky. [3]

1.6 Rozbor vstupních dat

Vytvoření optimalizovaného výrobního procesu se zakládá na jednotném souboru vstupních dat. Soubory dat se rozlišují podle jejich charakteru na:

Data s trvalým charakterem: Obsahuje normativní základnu všech potřebných prvků pro danou výrobu. Data trvalého charakteru se berou jako relativní v závislosti na čase, z důvodu rozvoje technologií, materiálů, nástrojů a strojů. Uvádějí se v katalogu nástrojů, nářadí, pracovních podmínek, norem časů.

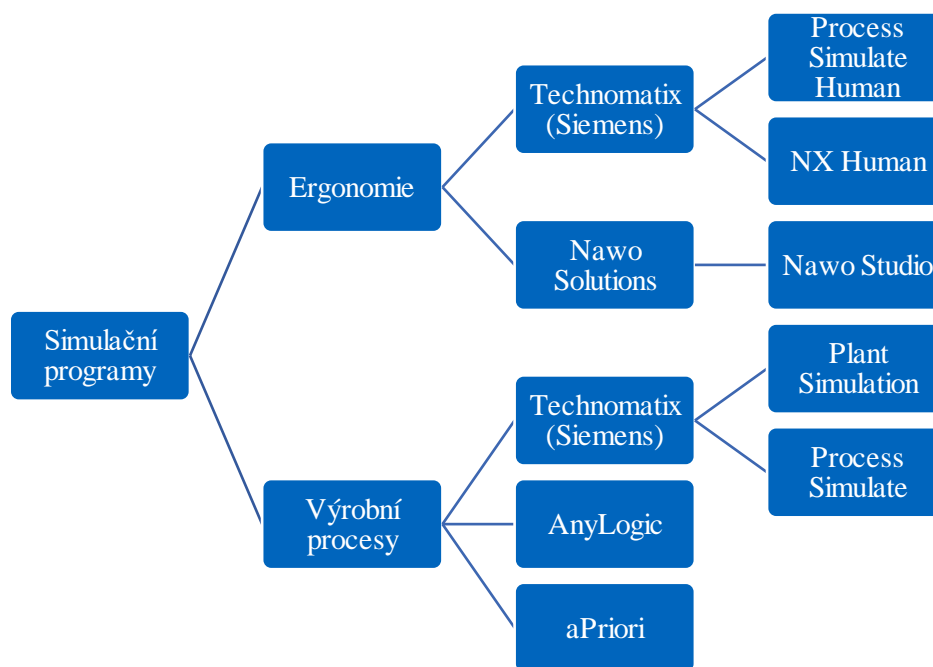
Data s proměnným charakterem (získávají se především z dokumentace firmy):

- Konstrukční: Data braná z výkresů a kusovníků.
- Technologické: Návodky, výrobní a montážní postupy představují technologickou skupinu dat.
- Plánovací: Velikost výrobních dávek a výrobní plány utváří plánovací skupinu. [3]

1.7 Využití simulací při projektování

Uvedení počítačového systému do výroby je nedílnou součástí modernizace plánování podniku. Mezi prostředky návrhu a ověření patří i simulační metody a simulace. Simulace mají široké spektrum uplatnění (řešení problémů, zjištění maximálních kapacit, tok materiálu). Simulace fungují na principu, kdy je reálně navrhovaný systém, či budoucí návrh výrobního procesu nahrazen simulačním modelem. Například při současném stavu montážního pracoviště v provozu není dosaženo vysoké efektivity, pomocí simulace se dokáže ale vyzkoušet rozvržení celého pracoviště, počet strojů, místo strojů, manipulace s výrobkem a umístění potřebných dílů. Metoda simulace předchází implementaci, funguje jako test výsledného produktu. Aby tento test byl co nejrelevantnější, musí být model daného systému co nejpřesnější. [8] [9]

Programů pro simulace operací je mnoho. Z tohoto důvodu si projektanti potřebné programy určují podle typu simulované operace a podle zkoumaného výsledku simulace. Programy na simulaci se využívají i v praktické části této bakalářské práce. Často využívané programy ve výrobě jsou zobrazeny na Obr. 3.

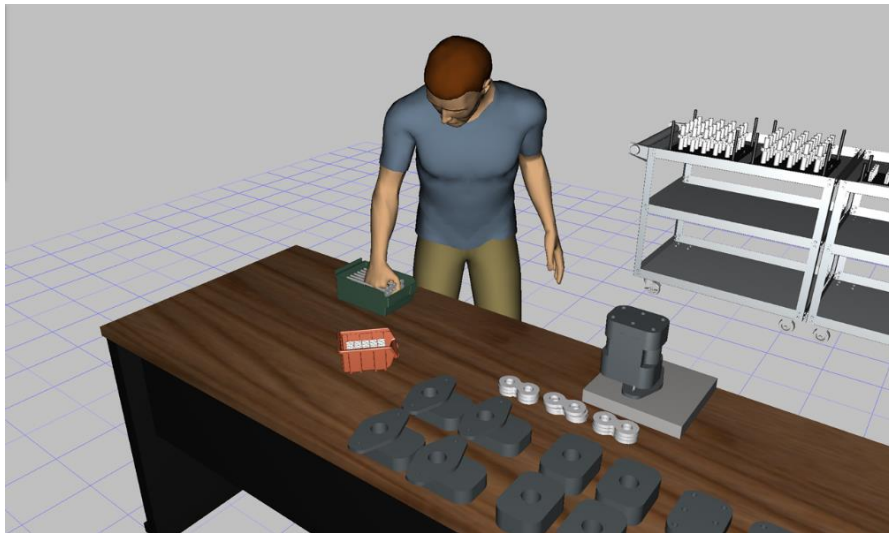


Obr. 3 - Schéma rozdělení využívaných simulačních programů [10][11][12][13]

1.7.1 Tecnomatix Jack

Tecnomatix Jack je jeden z produktů firmy Siemens PLM. Již z názvu vyplývá zařazení programu Jack do portfolia Tecnomatix (komplexní portfolio digitálních výrobních řešení). Tecnomatix Jack je využíván jako nástroj pro modelování a simulaci člověka. Umožňuje zlepšit ergonomii návrhů výrobků a zlepšovat průmyslové úlohy pracovníka. Rozhraní programu poskytuje nástroje pro ergonomické analýzy virtuálních výrobků a virtuálního pracoviště. V rámci programu lze

nastavit velikost lidských modelů tak, aby odpovídala velikosti pracovníka. Program poskytuje možnost testovat návrhy z hlediska mnoha faktorů např. míry rizika zranění, pohodlí zaměstnance, limitů únavy, výhledu při práci, dosahů a energetického výdeje. Používáním programu Tecnomatix Jack lze vytvořit významnou úsporu nákladů a času tím, že umožňuje zlepšit kvalitu výrobků a proveditelnost procesů již v rané fázi životního cyklu výrobku. Program se využívá i pro plnění bezpečnosti práce (BOZP) a pro ověření, zda je pracoviště v souladu s legislativními požadavky a ergonomickými standardy firmy. V současné době je program Jack integrován do programu Process Simulate Human (celý program je na Jack technologii založen). Ukázka programu Tecnomatix Jack je zobrazena na Obr. 4 [14] [15]



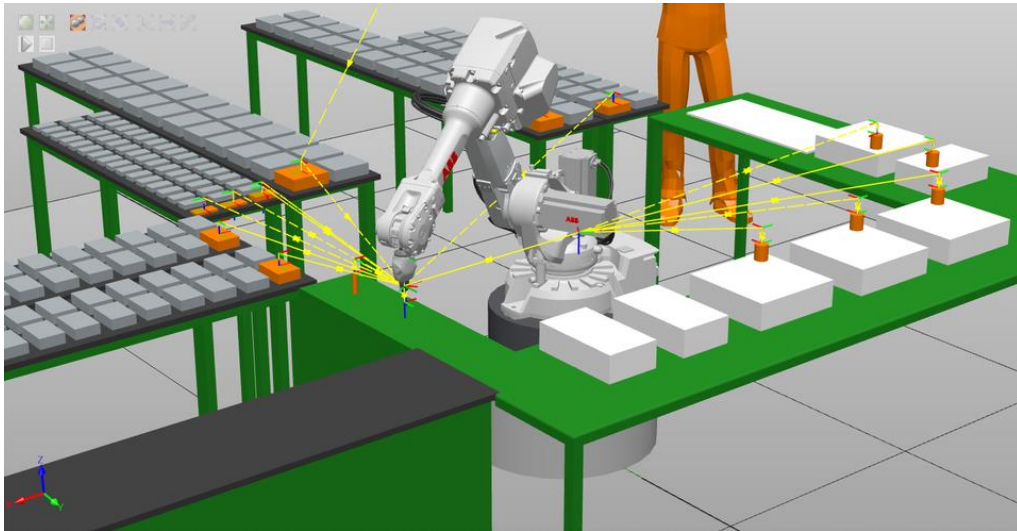
Obr. 4 - Ukázka z programu Tecnomatix Jack

1.7.2 Robotstudio ABB

Jednou z výhod robotů ve výrobních závodech je jejich schopnost přizpůsobení různým úkolům, a to i v případě často měnících se požadavků. Pokud by se však výroba musela zastavit, aby se umožnilo přeprogramování celého robota, byla by tato výhoda eliminována. Společnost ABB, stejně jako ostatní společnosti zabývající se vývojem robotizace pracovišť, využívá off-line programování robotů (jedna z funkcí programu RobotStudio). Off-line programování je programovací a simulační nástroj pro roboty, který umožňuje přenos dat přímo do hlavního řídicího systému (controlleru) bez jakéhokoliv překladu. V programu Robotstudio probíhá programování robotů souběžně s budováním nového výrobního systému a nástrojů. V programu se vytvářejí pohyby robota pomocí grafického programování, upravuje se a ladí systém robota a následně se celý proces simuluje. Simulace ověřuje dosah, dostupnost a dobu cyklu a generuje přesné pracovní dráhy robota. Mezi další funkce simulace patří kontrola kolizí v naprogramovaných bodech a podél jejich interpolovaných drah. Tímto způsobem se výrazně zkracují prostoje ve výrobě a snižuje se riziko kolize po implementaci nového robota. Mezi další

možnosti programu patří přímé psaní kódu. Tato možnost poskytuje rychlé opravy kódu, či dodání chybějících příkazů.

Program se často využívá na amerických univerzitách ke vzdělávání studentů technických oborů, jako hlavní nástroj pro konstruktéry, projektanty a programátory v oblasti automatizace průmyslu. Pro české univerzity program není běžně dostupný. Program je používán i pro vzdálené údržby a odstraňování problémů (program se připojí k živému systému ve firmě a stáhne si virtuální kopii, následně programátor dokáže celý systém simulovat a opravit jednotlivé chyby). Ukázka programu Robotstudio od společnosti ABB je zobrazena na Obr. 5 [16]



Obr. 5 - Ukázka z programu RobotStudio

2 Pracoviště montáže

Tato bakalářská práce se zaměřuje na proces montáže. Úvod kapitoly se zabývá významem etapy montáže ve výrobním procesu, následuje vydefinování montážních prvků a činností. Dále se kapitola zaměřuje na parametry ovlivňující projektování montáže. Poslední část kapitoly se věnuje automatizaci a robotizaci montážního procesu. Pro správnost návrhu optimalizace v praktické části bakalářské práce je nutná znalost průmyslových robotů z pohledu jejich rozdělení, schopností a nároků.

Etapa montáže se v praxi hodnotí za závěrečnou, ale i jednu z nejsložitějších etap výrobního procesu. Při této etapě dochází pomocí postupného spojování samostatných součástí k výslednému smontovanému výrobku, podrobenému technickým a kvalitativním parametrům. Kromě pouhého spojování materiálu patří do procesu montáže i tok materiálu (doprava, manipulace) a kontrola. Z tohoto důvodu je montážní proces hlavním faktorem pro výslednou kvalitu výrobku a průběžnou dobu výroby. Hodnoty pracnosti a vytíženosti zaměstnanců se odvíjejí od konstrukce výrobku, technologie montáže, stupně automatizace a organizační formě podniku. Míra propracovanosti montážního procesu se dokáže odvodit od jeho charakteru: [1] [17]

Počet technologicky stejných výrobků činí:

- Kusový: 10 ks, výrobní proces je velmi nepravidelný, nebo se výroba stejného dílu vůbec neopakuje. Vyrábí se výhradně na klientovu zakázku.
- Malosériový: 100 ks,
- Velkosériový: 100 až 1000 ks
- Hromadný: 10000 ks a více, vysoká pravidelnost výrobního procesu z důvodu kolování malého počtu druhů výrobků, vyráběných ve značném množství. [18]

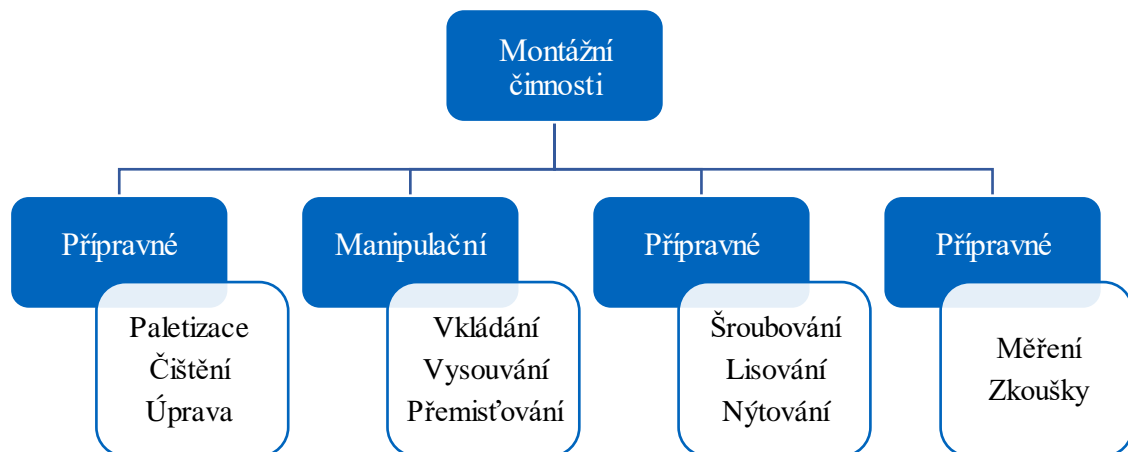
2.1 Prvky montáže

Nezávislé skupiny prvků, které se mohou montovat odděleně a na sebe nezávisle, dohromady tvoří složitý výrobek. Členění do skupin ulehčuje proces projektování montáže a konstrukční dokumentaci výrobku. Základní prvky procesu montáže jsou:

- Součást: Zpravidla jeden typ materiálu, základní článek montáže.
- Díl: Primární montážní prvek, spojením součástí vzniká díl.
- Podsestava: Vniká spojením dílů, dělí se do řádů určujících postup montáže.
- Sestava: Nejvýše postavený montážní prvek, sestavu tvoří spojení podsestav a součástí.
- Výrobek: Spojení sestav, podsestav a součástí vzniká finální produkt určený pro prodej.
- Zařízení: Systém strojů vyhotovující provozní a technologické úkoly. [19]

2.2 Montážní činnosti

Při montáži se lze setkat s různými činnostmi, které se dají rozdělit do čtyř skupin. Rozdělení umožňuje ulehčení složitého montážního procesu. Se systémem skupin se následně lépe pracuje při návrhu montážních pracovišť. Skupiny jsou zobrazeny na Obr. 6.



Obr. 6 - Rozdělení montážních činností [3]

Pro malosériovou a kusovou výrobu tvoří přípravné práce, které se musí přizpůsobit požadavkům a kontrola seřízení včetně demontáže, většinou část pracnosti montáže.

Sériová a hromadná montáž je v častých situacích odlehčena od činností seřizování a dolícování, ovšem se zde navyšuje podíl činností spojovacích a manipulačních. [3]

2.3 Dělení montáže

Pomocí časové a prostorové struktury dokážeme rozdělit jakýkoliv montážní systém. Tato struktura ve své podstatě vychází ze tří základních parametrů výrobku, a to z rozměru, složitosti a počtu vyráběných kusů. Nejčastější rozdělení pomocí těchto parametrů je do stacionární a pohybové skupiny. [1]

2.3.1 Stacionární

Jednotlivec nebo skupina zaměstnanců výslednou montáž zhotovuje na jednom místě pracoviště. Díl se například založí do přípravku, který se za celou dobu montáže nepohybuje z daného místa. Tento způsob výroby se vyskytuje spíše u kusové a malosériové výroby. [1] [17]

2.3.2 Pohybová

Místo montáže se mění nebo je montáž prováděna současně na několika místech najednou. Proces probíhá s montážními celky putujícími z jednoho pracoviště na druhé, kdy jednotlivá pracoviště

jsou stacionární. Na každém pracovišti je vykonávána specifická operace. Montáž provádí jednotlivec nebo skupina zaměstnanců. [1] [17]

2.4 Projektování montáže

Projektování z technicko – organizačního hlediska montáže je především ovlivňováno následující faktory:

- Pojetím výrobku: Výrobek může být navrhován pro jednoduché sestavení, tedy výrobek má určitý stupeň stavebnicovosti. Vysokého stupně stavebnicovosti se dá docílit pomocí rozdělení montáže výrobku do montážních celků a následným snížením složitosti těchto celků.
- Technologií a organizací montáže: Analýzou, následným použitím optimalizované technologie a rozložením pracoviště se snižuje jak čas potřebný na montáž, tak i prostor potřebný pro pracoviště.
- Pracovními podmínkami: Fyzikální faktory a charakter pracovního prostředí dokáží ovlivnit efektivitu a kvalitu vykonávané práce pracovní silou.
- Zařízením pracoviště: Vybavení pracoviště nástroji, manipulačním zařízením, organizačními prvky, ale i robotizací (manipulátory, dopravníky) [1]

2.5 Automatizace a robotizace montáže

Tato kapitola řeší problematiku automatizace a uvedení průmyslových robotů do procesu montáže. Kapitola je základem pro praktickou část bakalářské práce, na kterém se tvoří jednotlivé návrhy optimalizace.

Novodobým trendem vedení firem je investice do automatizace výrobních procesů. Důvody automatizace se mohou lišit, ale hlavní výhody automatizace zůstávají. Těmi jsou zlepšení kvality produktů, zvýšení produktivity a využití pracovní síly pro tvůrčí práci, což se stává v poslední době jednou z největších výhod. Odstranění monotónní práce zaměstnanců a pokles potřeby personálu pro fyzickou práci, dostalo automatizaci z velkosériové a hromadné výroby i do výroby kusové a malosériové. [17]

2.5.1 Rozdělení montáže dle míry mechanizace

Projektování montáže závisí na jednotlivých parametrech součásti a výrobku, mezi ně patří například hmotnost, tvarová složitost a rozměr. Pomocí míry mechanizace a rozsahu zapojení člověka do montážního procesu, lze montáž rozlišit na: [17]

- Ruční montáž
- Mechanizovanou montáž

- Automatizovanou montáž

Ruční montáž

Nejzákladnějším a nejrozšířenějším druhem montáže je montáž ruční, jenž je v mnoha případech zcela nenahraditelný druh montáže. Proces je, až na některá ruční pracoviště, minimálně specializován: využívání univerzálních nástrojů, základní upínací přípravky. S nejnižším stupněm automatizace přichází sice nízké požadavky na investice, ale i potřeba zaměstnání většího množství zaměstnanců. Pro zajištění pracovníků je potřeba pracoviště následně vybavit ergonomickými prvky (stoly, přípravky, nástroje). [17] [20]

Mechanizovaná montáž

Určitá sériovost výroby vybízí k mechanizaci montáže, kde hraje důležitou roli finanční zázemí firmy. V montážním procesu je využíváno mechanizovaných strojů a zařízení, které ulehčují lidskou práci. Mechanizace procesu může mít podobu manipulátorů, podavačů a zakladačů. Při mechanizované montáži je nutné zajistit bezpečnou spolupráci mezi strojem a lidským pracovníkem. Z tohoto důvodu jsou stroje a pracoviště vybaveny ochrannými prvky (klece, předurčené zóny) a systémem senzorů. Tento druh montáže je mezistupeň mezi ruční a automatizovanou montáží, kdy hlavní cílem je ulehčení náročné fyzické práce zaměstnanců, například manipulace a práce s těžkými díly. [17] [20]

Automatizovaná montáž

Celý postup, proces a zařízení jsou převedena na automatickou operaci, při které se minimalizuje lidská obsluha, ta pouze dohlíží na celý proces. Je to proces zvyšování počtu montážních kroků, které jsou prováděny automatickými montážními stroji. Podle složitosti montážního procesu je automatizace v každém podniku rozdílná. Celý systém automatizace tvoří montážní buňky, speciální montážní stroje a montážní roboti. Nedílnou součástí automatizovaného procesu je navíc průběžná kontrola. [17]

Vzhledem k technické a ekonomické náročnosti automatizace je třeba návrh montáže pro tento proces uzpůsobit. Uzpůsobením procesu se rozumí snížení počtu rozdílných částí výrobku, vrstvený způsob montáže, rozdělení montáže na dílčí sestavy a konstrukční řešení dílů vhodných pro automatické podávání. [21]

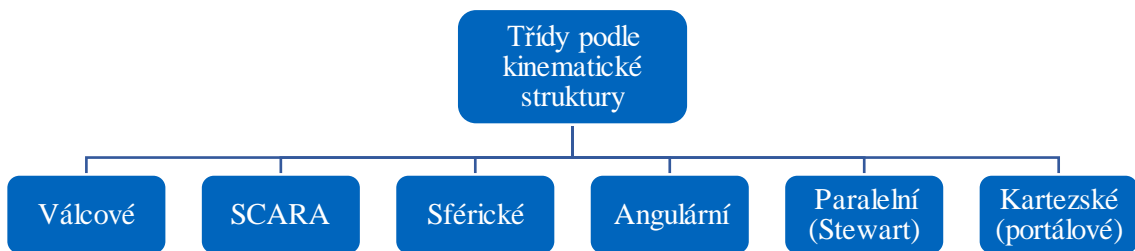
2.6 Roboti a manipulátory

Průmyslovým robotem se rozumí automaticky řízený, víceúčelový a přeprogramovatelný robot, který dokáže uskutečnit pohyb ve třech nebo více osách. Vzhledem k jejich víceúčelnosti lze roboty nasadit na téměř jakékoliv pracovní úkony. Průmyslový robot je obecný pojem pro roboty,

kteří jsou využíváni pro různé účely Manipulátorem se rozumí robot, který je schopný manipulovat s předměty ve vytyčeném prostoru.

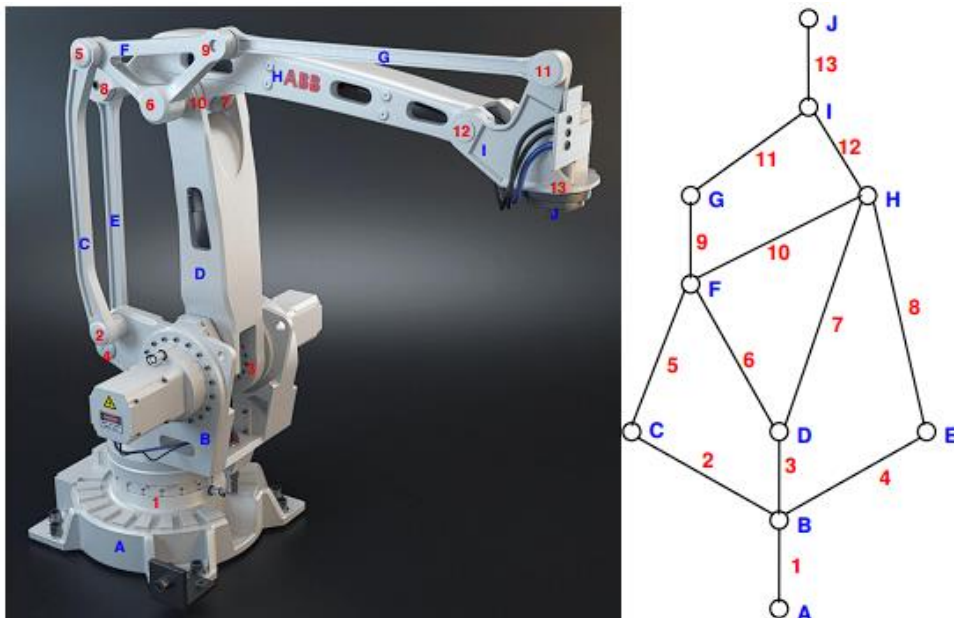
Hlavním využitím stále zůstává organizace skladů a materiálu (paletizace, manipulace), a le roboti se využívají stále více i pro ostatní aplikace (mikromontáž, šroubování, sváření). [22]

Kinematická struktura robota kategorizuje průmyslové roboty do šesti základních tříd. Pět z těchto tříd jsou roboti se sériovým kinematickým řetězcem, zatímco poslední třída je struktura robotů s paralelními kinematickými řetězci. Dělení do těchto skupin je zobrazeno na Obr. 7. Následně reprezentace smíšeného kinematického řetězce je zobrazena na Obr. 8. [21]



Obr. 7 - Dělení průmyslových robotů podle kinematické struktury [20]

„Kinematický řetězec je množina ramen spojených klouby. Kinematický řetězec může být reprezentován grafem. Uzly grafu představují ramena a hrany představují klouby.“ [23]



Obr. 8 - Graf robota – Smíšený kinematický řetězec [23]

2.6.1 Části průmyslových robotů

Celý robot je složen z několika druhů součástí. Tělo celého robota je tvořeno klouby, což je část robota umožňující řízený pohyb ramen pomocí převodovek a servomotorů, ramena, tvořící

pevnou kostru robota, základnou, za kterou je celý robot upevněn ve své pracovní pozici, brzdami a efektozem, nutným k namontování různých nástrojů (lakovací hlavice, svařovací hlavice). Upevnění za základnu, soustavu kloubů a osazení nástrojem, kterým vykonává požadovanou činnost, má každý manipulátor. Rozdíl je pouze v jejich rozložení. [23]

2.6.2 Angulární roboti a jejich vybavení

Nejdominantnější třídou průmyslových robotů je typ s angulární kinematickou strukturou. Roboti angulárního typu tvoří přes dvě třetiny celkové výroby průmyslových robotů. Výsledná struktura se blíží struktuře lidské ruky (kloubů), proto i tento typ nabízí nejlepší obratnost a nejpodobnější chování lidskému tělu. Při správné optimalizaci výrobního procesu, prostředí manipulace a výrobku je robot schopný vysokých rychlostí manipulačních pohybů a míry obslužnosti v pracovním prostoru. [21] [24] [25]

Automatizované výrobní linky

Výrobní linky jsou využívány v hromadné a sériové výrobě. Automatizovaná linka je popisována jako systém robotů a pomocných zařízení (dopravníky, přípravky), který bez zásahu člověka vykonává určené činnosti výrobního procesu. Lidský zásah je nutný pouze pro seřízení, kontrolu a údržbu. Nejvyšší využití automatizovaných výrobních linek se nachází v automobilovém průmyslu.

Projektování výrobních linek ovlivňuje požadovaný kusový výkon (jak často je schopná daná výrobní linka dokončit celou výrobní operaci) a způsob dopravy obrobků mezi jednotlivými místy linky. [26]

Automatizované výrobní buňky

Výrobní buňkou se rozumí základní jednotka robotizovaného systému. Lze definovat jako konfigurace průmyslového robota a technologického zařízení, provádějící automaticky manipulační a technologické operace výrobního procesu nebo jeho část. V buňce probíhá interakce mezi mezioperační dopravou a technologickými zařízeními. Typický příklad robotické buňky je systém robotického ramene zakládajícího polotovaru ze zásobníku nebo dopravníku do CNC obráběcího stroje. [26]

Začlenění robota do pracovní činnosti

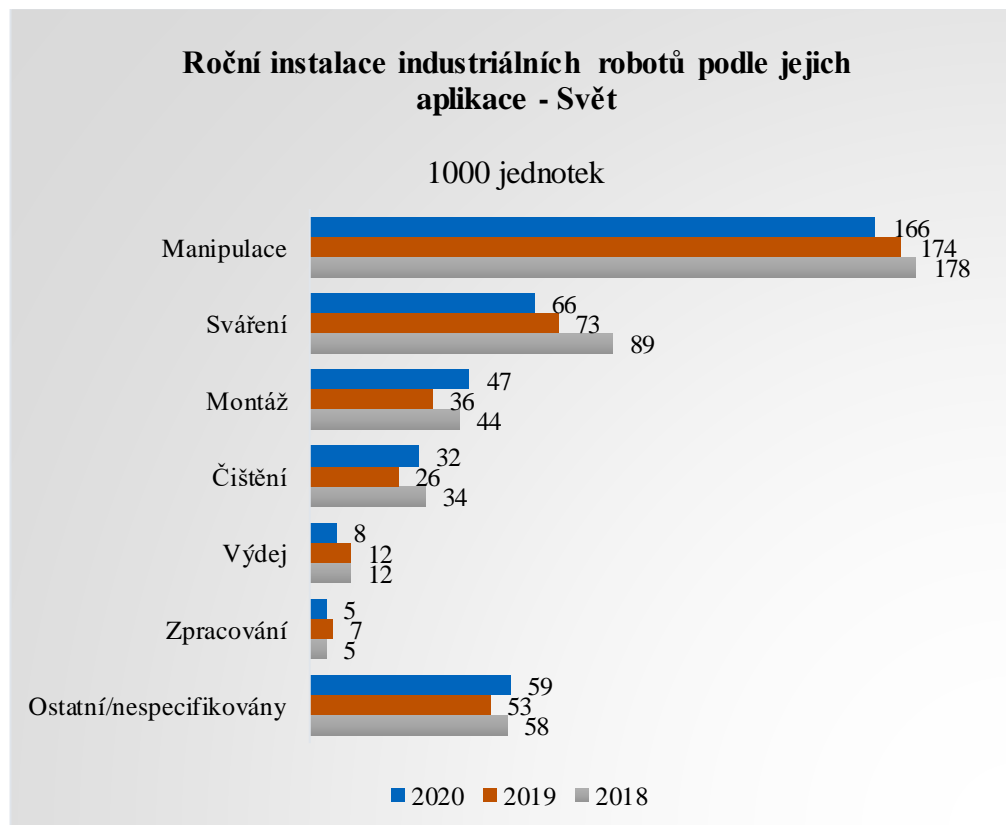
Trendem moderního průmyslu současné doby spočívá v zavedení robotů všude tam, kde dochází k opakovanému úkonu ve výrobním procesu. Náklady na jednoho robota se v tuto dobu pohybují okolo dvojnásobku roční mzdy kvalifikovaného průmyslového pracovníka, toto platí pro většinu zemí světa. To znamená, že robot nahrazující jednoho lidského pracovníka ve dvouměsíčním

provozu bude mít návratnost do jednoho až dvou let. Po uplynutí této doby návratnosti lze robota považovat za levného pracovníka, umožňující větší konkurenceschopnost. [21]

Vybavení robotů se odvíjí od pracovní činnosti, na kterou je robot nasazen. Z mnoha možností využití průmyslových robotů jsou v této části vybrány ty nejrozšířenější a nepoužívanější aplikace.

Manipulace

Manipulace v robotice zahrnuje řadu procesů jako je uchopování, přeprava, balení a paletizace. Obr. 9. zobrazuje, jak manipulace představuje nejrozšířenější oblast použití robotů, která se vyskytuje ve všech odvětvích výroby a logistiky. Ústřední funkcí a hlavní výzvou v návrhu robotické manipulace je konstrukce uchopovače a s ním i související zvolení uchopovací strategie vzhledem k fyzikálním vlastnostem produktu a nejistotám týkajících se geometrie a umístění manipulovaného objektu. Mezi současné aplikace robotických manipulačních systémů s vysokým potenciálem patří: zásobování CNC strojů (snaha mít směnu bez pracovníků), paletizace a zvedání předmětů z ergonomických důvodů nebo v případech kde jsou převyšovány předpisy pro manipulaci s těžkými břemeny, potřeba čistého prostředí v potravinářském, farmaceutickém a polovodičovém průmyslu, odstranění monotónní práce a psychické zátěže a zajištění kvality logistiky prostřednictvím sledování předmětů.



Obr. 9 - Roční namontování nových robotů podle jejich aplikace ve světě [27]

Pro činnosti manipulace jsou koncové efekторы navrhovány pro úchop objektů a následnou manipulaci. Mezi typické koncové efekторы pro manipulaci patří chapadla (grippers), magnetické uchopovadla a přísavkové hlavice. Z důvodu variability výrobků je mnohdy vyžadován speciální návrh koncového efektoru, uzpůsobený pro geometrii dané součásti.

Obecně se v průmyslové praxi při plánování robotických buněk zaměřuje na nalezení kompromisu mezi snížením variability umístění předmětu a náklady na systém senzorů pro kompenzaci zbytkové odchylky nebo nejistoty. V současné době se téměř všechny díly dostávají do robotických pracovních buněk opakovatelným způsobem, a to buď se díly ukládají do speciálních nosičů nebo zásobníků, nebo jsou přepravovány a orientovány vibračními zařízeními, která umožňují, aby se díly dopravily v předvídatelné pozici pro správné uchopení robotem. Požadavky na snížení nákladů a flexibilitu v automatizaci výroby vedou k redukci speciálních zásobníků dílů na univerzálnější nosiče, kontejnery nebo dopravníkové pásy. Pokud jsou díly náhodně orientovány na dopravníkovém pásu nebo v kontejneru, musí být díly správně identifikovány a nalezeny, aby se mohlo uskutečnit uchopení robotem bez jakékoli kolize.

Problematika uchopování částečně nebo náhodně uspořádaných dílů robotem se řeší pomocí automatizovaného odebírání dílů. Algoritmy automatizovaného odebírání dílů se řídí typickou posloupností kroků: počáteční sběr dat mračna bodů, detekce objektů, odhad polohy, bezkolizní plánování dráhy, uchopení objektu a umístění objektu. Většina metod automatizovaného odebírání dílů předpokládá známou geometrickou reprezentaci daného dílu pomocí CAD modelu. Pro rozpoznání a vytvoření mračna bodů se využívá různých kamerových systémů například na bázi infračerveného záření. [28] [29]

Svařování

Svařování je výrobní proces, při kterém se spojují materiály působením tepla, v některých případech i působením tlaku. Obvykle se materiál obrobku taví v místě procesu svařování, i s přídavným materiálem. Typické robotické svařovací procesy jsou bodové svařování, zejména v oblasti montáže karoserií automobilů a obloukové svařování v ochranné atmosféře (MIG/MAG). S rostoucí kompaktností laserových systémů a přesností robotů je laserové svařování nově často využívaná metoda.

Ruční svařování vyžaduje kvalifikované pracovníky, jelikož malé nedokonalosti ve svaru mohou vést k vážným následkům. Svářeči jsou navíc vystaveni nebezpečným pracovním podmínkám (výpary, neergonomické pracovní polohy, teplo a hluk), takže se využití robotů stává přínosné i pro malo-sériové výroby. Běžně, automatický proces obloukového svařování je založen na spotřebě drátové elektrody a využití ochranného plynu, který je přiváděn prostřednictvím svařovacího hořáku.

Přednosti moderních svařovacích robotů vhodné pro proces svařování jsou následující:

- Počítačové řízení umožňuje efektivní programování pohybů robota, senzorů a komunikaci s externími zařízeními.
- Vysoká opakovatelnost a přesnost polohování. Typická opakovatelnost robotů je 0,05 mm a přesnost polohování pod 1 mm.
- Vysoké přemísťovací rychlosti.
- Široké pole působnosti. Roboti jsou schopni se dostat do těžko dosažitelných míst.
- Možnost vysokého zatížení robota. [28]

Barvení

Motivace využití robotických ramen pro barvení konstrukcí vznikla z nebezpečných pracovních podmínek pro lidskou obsluhu. Původně se využívalo pneumatického pohánění, v současné době je už pohon zajištěn plně elektronicky. Ramena jsou konstruována s dutými zápěstími, ve kterých jsou umístěny plynové a lakovací hadice, tato konstrukce dovoluje ramenu rychlé a hbité pohyby. Jelikož jsou roboti při barvení často vystavováni expozivním látkám, jejich celé tělo je pod vyšším tlakem než jeho okolí. Stříkací pistole pro roboty prošly dramatickým vývojem, který zajišťuje jednotnou kvalitu při použití co nejmenšího množství barvy a rozpouštědla.

Většina programování pro robotické lakovací roboty se dnes provádí offline díky nejmodernějším programovacím systémům, které nabízejí integrované simulace procesů pro optimalizaci nanášení, tloušťky a pokrytí barvou. Simulace procesu se považuje za složitou, jelikož se zohledňují různé vlivy v úvahu, jako je turbulentní proudění mezi nanášečem a cílem, statické elektrické pole a Coulombovy síly působící na kapičky barvy. Další možnost naprogramování robota je kopírování pohybů lidského pracovníka. [28]

Opracování

Procesy úběru materiálu, jako je broušení, odstraňování otřepů, frézování a vrtání se stále častěji provádějí průmyslovými roboty se sériovou kinematikou, a to díky kombinaci vlastností (obratnost, všestrannost a nákladová efektivita). Geometrické nebo materiálové vlastnosti opracovávaného dílu vykazují tolerance, proto jsou procesní nástroje často kombinovány s pasivním nebo aktivním řízením síly (silový snímač). Pro přesnost celého procesu je důležitý návrh přípravků, kinematika a tuhost robota. [28]

Montáž

Montáž ve výrobě popisuje kombinaci subsystémů nebo komponentů do systémů s vyšší složitostí prostřednictvím spojování. Časové rozložení činností montáže (přípravné, manipulační, kontrolní, spojovací), se může lišit v závislosti na velikosti dávky a typu výrobku Rozložení

činností udává typ montážního pracoviště, od montážních pracovních buněk až po vysoce výkonné montážní linky. Z výše uvedeného vyplývá, že montážní proces je ze všech procesů ten nejnákladnější a je zde prostor pro získání konkurenční výhody (zrychlení procesu, snížení potřeby lidského zásahu, zvýšení kvality a opakovatelnost výroby). Optimalizace v oblasti montáže proto zahrnuje úzce na sebe navazující aspekty.

Dříve se průmysloví roboti používaly v automatizaci montáže, zejména v oblasti vysoce výkonných výrobních linek. Roboti jsou však stále častěji používají ve vysoce flexibilních pracovních buňkách a nově se často implementují na pracoviště štíhlé výroby jako všestranně využitelné nástroje.

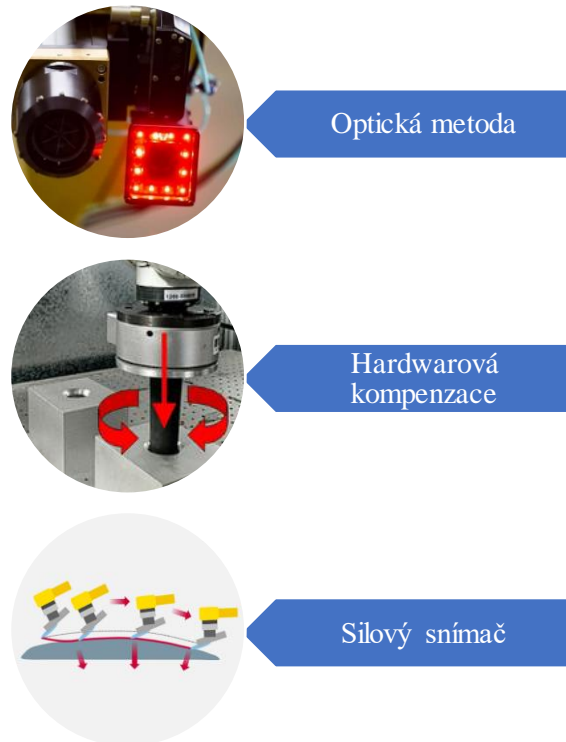
Jedním z problémů při převodu produktu na automatickou montáž je jeho konstrukce. Mnohdy se vyskytují výrobky, které nejsou navrženy tak, aby je bylo možné montovat robotickým ramenem. Konstrukteři se musí každému výrobku pečlivě věnovat a uvědomit si schopnost strojů, jež budou následnou montáž provádět. Prostudováním konstrukčních požadavků na výrobek a schopností robotů nebo jiných strojů pro montáž je možné navrhnout kvalitnější produkt s možností automatizace celého montážního procesu. Schopnost strojů montovat produkty uzpůsobené pro automatizaci je další z předností, která zachovává kvalitu, produktivitu a udržuje snížené náklady. Robotická montáž zbavuje pracovníky povinnosti vykonávat stejné, den za dnem opakující se úkony. Kvalita výrobku se zlepšuje díky konstantnímu pracovnímu tempu robota a nižším tolerancím při zpracování produktů robotickými rameny.

Navržení a potřeba jednotlivých komponent, pro správně fungující automatizované montážní pracoviště, se odvíjí od velikosti a složitosti montovaného systému. Typicky je využíván jeden případně systém několika robotů, jenž je osazen potřebným uchopovačem. Robot si jednotlivé součásti bere ze soustavy dopravníků nebo kontejnerů, součásti mohou být uspořádané za pomoci drážek a přípravků nebo jsou neorganizovaně rozložené. Při montáži s tolerancemi nižšími, které se vyskytují mezi skládanými tělesy, než je přesnost průmyslových robotů je, nutné využití silových snímačů nebo dalších metod pro přesnou montáž. [21] [28]

Přesná montáž

V posledních letech vyznačujících se masivním uplatněním mikroelektromechanických systémů v oblasti medicíny, letectví a přesné elektroniky, se věnuje stále větší pozornost technologii přesné montáže. Přesná montáž nemusí být vždy pouze montáž elektroniky, ale patří sem i sestava montovaných součástí s požadavky na mikrometrovou přesnost. Přesná montáž se tedy odvíjí od existující vůle uložení, popřípadě od návrhu náběžných hran dílů. Tradiční přesná montáž je prováděna člověkem, s ruční montážní přichází přirozené omezení spočívající v nízké efektivitě a přesnosti. Mimo jiné se vyznačuje vysokými výrobními náklady.

Automatická přesná montáž, jako slibná montážní technologie, byla důkladně prozkoumána a bylo vytvořeno několik přesných montážních systémů pro různé aplikace. Například mikromontážní systém založený na optické metodě za pomoci průmyslových kamer, či využití systému s maticí tuhosti nebo dosažení přesné montáže pomocí hardwarové kompenzace. Toto rozdělení je zobrazeno na Obr. 10. [30]



Obr. 10 - Hlavní přístupy přesné montáže

Optická metoda

Pro komplexní manipulaci a práci s předměty o různých velikostech se využívá optická metoda. Metoda pomocí průmyslových kamer a mikroskopů zjišťuje pozici dílů a potřebných otvorů. Snímání optickou metodou lze rozdělit do tří skupin:

- 2D: Snímání objektů s pevně danou pozicí v rovině a bez jakéhokoliv náklonu.
- $2^{1/2}$ D: Snímání objektů s různou vzdáleností od kamery a bez jakéhokoliv náklonu
- 3D: Rozbor plastického objektu s šesti stupni volnosti.

Správné osvětlení snímané scény ovlivňuje, zda lze vůbec optickou metodu využít a jak přesné výsledky nám tato metoda poskytne. Pokud světelné podmínky nejsou optimalizované, nelze dosáhnout maximální přesnosti kamerového systému. Pro správné nasvícení se využívá různých barev světla, odstínění okolního nežádoucího světla nebo úprava lesklého povrchu dílů na matný.

Výhody optické metody spočívají v rychlosti přesné montáže, okamžité komunikace s robotem a souběžném porovnávání s ideálním dílem (kamerový systém se dá využít zároveň jako průběžná, mezioperační kontrola). Do nevýhod použití optické metody spadá nedostatečná přesnost pro náročnou přesnou montáž, náchylnost na světelné podmínky a pořizovací náklady celého řešení. [31] [32]

Hardwarová kompenzace

Princip hardwarové kompenzace funguje na vyhodnocení dat v reálném čase ze snímače síly. Pomocí snímače robot získá informaci, zda je uchopený díl ve správné pozici. Pro kompenzaci makro výchylek je metoda vybavena o 2D kamerový systém, zbylé výchylky menší, než je přesnost robota, jsou kompenzovány pomocí strategie určené z dat ze snímače síly.

Metoda kompenzace lze rozložit do tří po sobě jdoucích fází:

- **Přiblížení:** Případ kdy se robot nejprve přiblíží do výchozí pozice mimo kritickou oblast. Poté je zahájen lineární pohyb k dílu montáže, pohyb pokračuje do doby, kdy snímač síly neohlásí překročení prahové hodnoty.
- **Hledání:** Přesuv dílce na danou pozici, při které se stále monitoruje vyvolávaná síla okolních předmětů. Předmět montáže v této fázi udržuje nepřetržitý kontakt s povrchem upevněného dílce.
- **Vkládání:** Pokud je dílec nad určenou polohou začíná systém díl vkládat do dané pozice. Vkládání probíhá pomocí naklánění nebo pohybu po spirále.

Při této metodě nedochází k jakémukoli učení robota. Robot pouze čistě reaguje na data z využitých senzorů. [30]

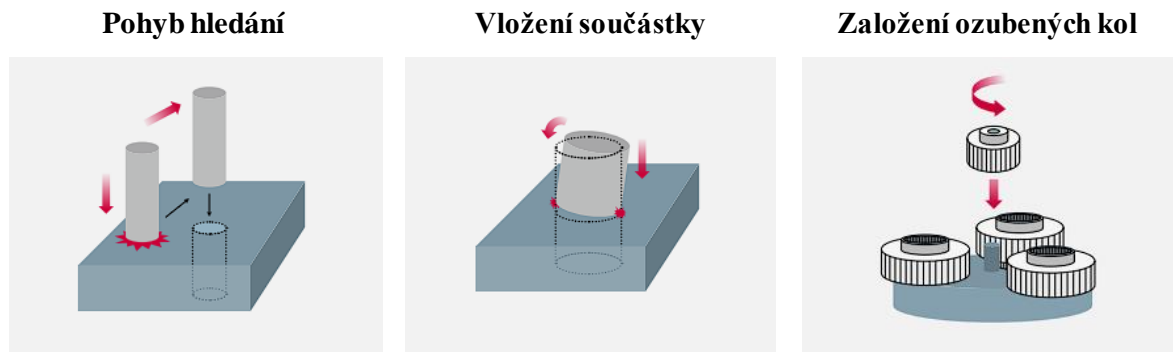
Silový snímač

Automatizace pokročilých montážních procesů závisí na fyzickém kontaktu mezi spojovanými součástmi. Aby bylo možné tento kontakt řídit, je třeba použít robota s novější řídicí jednotkou, která moduluje polohu a rychlost robota na základě měřených nebo odhadovaných kloubních momentů nebo kontaktů síly.

Předmětem výzkumu se stal systém silového snímače (force sensor), který splňuje požadavky týkající se univerzálnosti, robustnosti a snadného naprogramování. Řešení pomocí silového snímače jsou běžně založena na snímání síly a točivého momentu v šesti stupních volnosti, snímač je připojen k přírubě robota. Informace získávané ze snímače, se vkládají do matice tuhosti, ve které je vypočítávána následná kompenzace pohybu.

Silový snímač řeší problematiku přesné montáže, vyžadující přesné pohyby robotů. Měření velikosti síly a momentu probíhá v daný okamžik montáže a tím dává robotovi míru inteligence

a smyslovou schopnost hmatu. Vazba mezi silovým snímačem a řídicím systémem následně umožňuje přesnou úpravu dráhy robota v reálném čase. Pro zjednodušení programování složitých spojovacích procesů byly vytvořeny montážní strategie: Hledání pomocí lineárního, spirálního a sinusového pohybu, spojovací pohyb vložení objektu, vložení různých typů součástek do určené drážky / díry a spojování ozubených kol, robot pomocí rotace v ose ozubeného kola zarovnává mezery mezi zuby. Zmíněné strategie jsou zjednodušeně zobrazeny na Obr. 11.



Obr. 11 - Montážní strategie při použití silového senzoru [33]

Přednosti metody silového snímače jsou: precizní montáž, rychlejší varianta než hardwarová kompenzace (silový snímač vyhodnocuje směr pohybu na typu získaných dat), možné využití na odlišných výrobcích, vlastní vyhodnocování trajektorie a schopnost učení robota. Nutnost párování s kamerovým systémem pro pozicování dílů se stále jeví jako hlavní nevýhoda procesu. [28] [34]

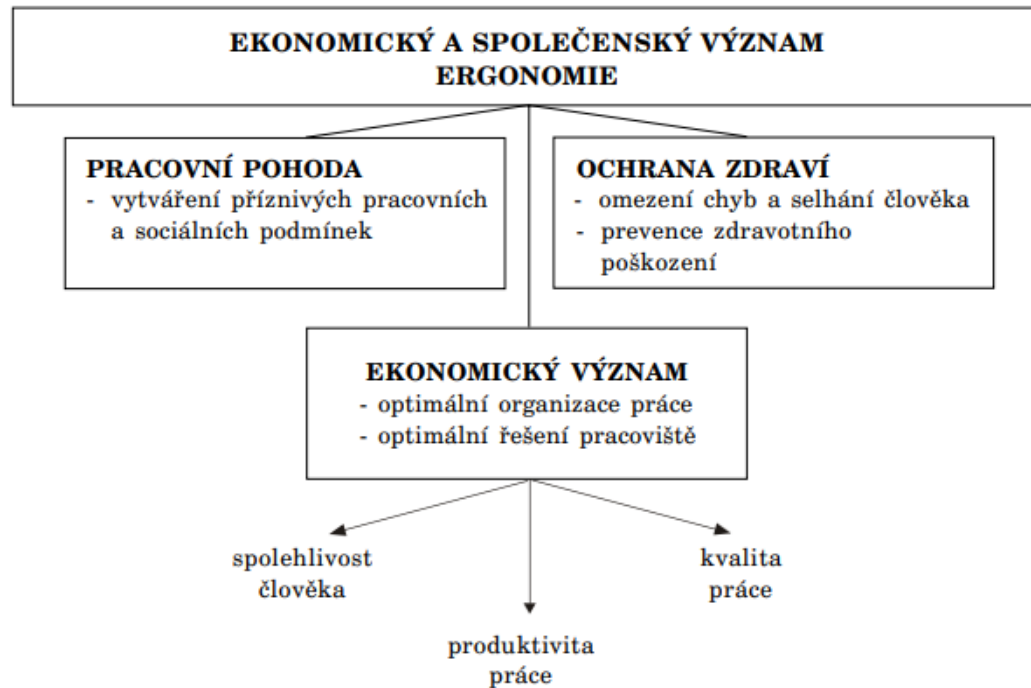
3 Ergonomie pracoviště

Cílem následující kapitoly je definovat oblast ergonomie jako vědu, čím se zabývá a jaké jsou její cíle. Následně se tato kapitola bude věnovat vládním nařízením ergonomie při práci, která se mají dodržovat v každém podniku. Často jsou však tato pravidla porušována a ignorována. Tyto základní pojmy a informace lze dále využít při analýze reálného pracoviště a jeho zlepšení pomocí robotizace.

Ergonomie je obor vědy o přizpůsobení práce lidským pracovníkům. Jedná se o interdisciplinární obor, který využívá biologické, sociální poznatky a poznatky technických oborů o pozici člověka v pracovním procesu. Cílem je sladit podmínky práce se smyslovými, duševními a fyzickými schopnostmi člověka.

Hledání optimálních podmínek pro pracovní výkon člověka v závislosti na požadavky nové technologie a techniky, se považuje za hlavní cíl ergonomie. Zkráceně přizpůsobit pracovní podmínky výkonnostním možnostem lidského pracovníka. Ergonomie je vyjádřením směru, ve kterém je lidský faktor na prvním místě. Lidský faktor je rozhodující pro všechna další pracovní opatření – nikdy není druhořadý a podřízený technickým požadavkům, kdy se člověk musí uzpůsobit již existujícím pracovním podmínkám.

Jde o přístup, který řeší postavení pracovníka ve výrobě, přizpůsobení podmínek pracoviště, pracovních prostředků, pracovních postupů a pracovního prostředí, s cílem plně využít jejich maximální výkonnostní potenciál. Schéma definice ergonomie je vyobrazeno na Obr. 12. [35]



Obr. 12 - Schéma ergonomie [35]

V současnosti se význam ergonomie bere v převodu již získaných vědomostí o postavení člověka v pracovním procesu do reálné / praktické aplikace. Praktické využití současných poznatků ergonomie v konkrétních pracovních situacích a její aplikaci lze v současnosti spatřovat zejména v těchto oblastech:

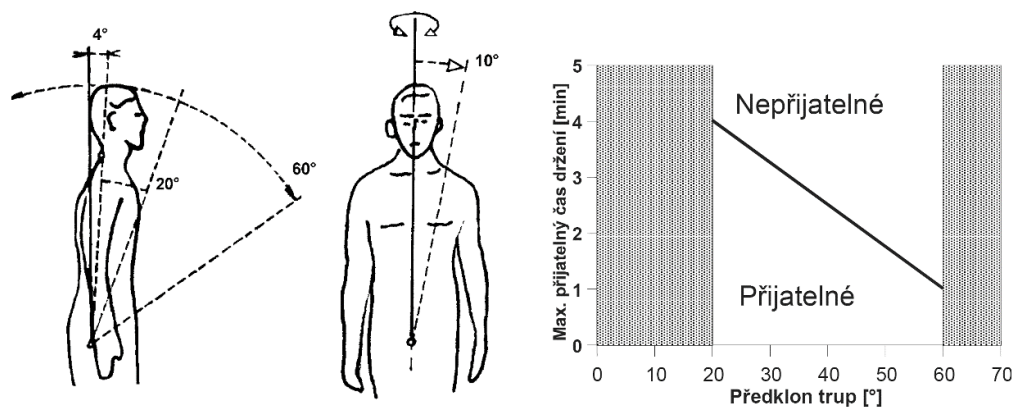
- V metodice analýzy pracovních podmínek pomocí systematického souboru otázek.
- Při určování hlavních zásad pro úpravu pracoviště z hlediska požadavků na informační a pohybovou aktivitu osoby v pracovním procesu.
- Při určování základních údajů pro úpravu fyzikálních faktorů pracovního prostředí (osvětlení, hluk, teplota).
- Při určování základních podkladů pro stavbu strojů a nástrojů, a jejich funkční efektivnost (nejen estetická).
- Při vytváření zásad pro úpravu pracovních postupů z hlediska lidského výkonu. [35]

Ergonomie práce, tedy v tomto případě montáže je velmi důležitá z hlediska zdraví pracovníka, který tuto práci dělá. Cílem je pracovníkovi dopřát co nejlepší pracovní proces, u kterého dodržujeme všechny ergonomické zásady a pravidla. Pokud se tento pracovní prostor navrhne co nejpřívětivěji pro pracovníka, tak se celková produktivita, jakož i kvalita výroby markantně zvýší. Nehledě na to, že pracovníkovo zdraví a pracovní výdrž se s ergonomicky přívětivým pracovištěm také zvyšuje. Robotizace v tomto hledisku je velmi dobrou alternativou, která je schopna pracovníka osvobodit od repetitivní a náročné práce.

3.1 Hodnocení pracovních poloh

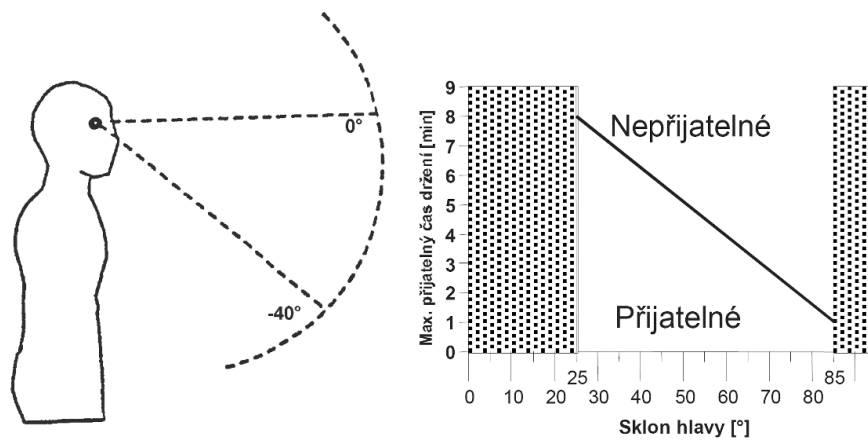
Existuje mnoho legislativních vládních nařízení. Tato část pojednává pouze o malé části tohoto tématu, a to o hodnocení pracovních poloh, které jsou pro analýzu a následné realizování pracoviště zásadní. Hodnocení pracovních poloh má za účel odstranit všechny nezdravé a tělu nepohodlné pohyby. Tuto část problematiky popisuje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Jednotlivé polohy se rozdělují na danou část těla, které se týkají, a to:

- **Trup:** Pracovník se při statické poloze trupu v jakékoliv části pracovního procesu, kdy není podepřen žádnou oporou, nesmí dostat do jakéhokoliv záklonu. Dále žádná pracovní činnost ho nesmí dostat do předklonu, který je větší než 60° , ani do výrazného úklonu, či pootočení trupu většího 20° . Maximální doba držení těla v dovolené pozici je určena již zmíněnou dobou držení a úhlu předklonění. Tento vztah je zobrazen na Obr. 13. [36]



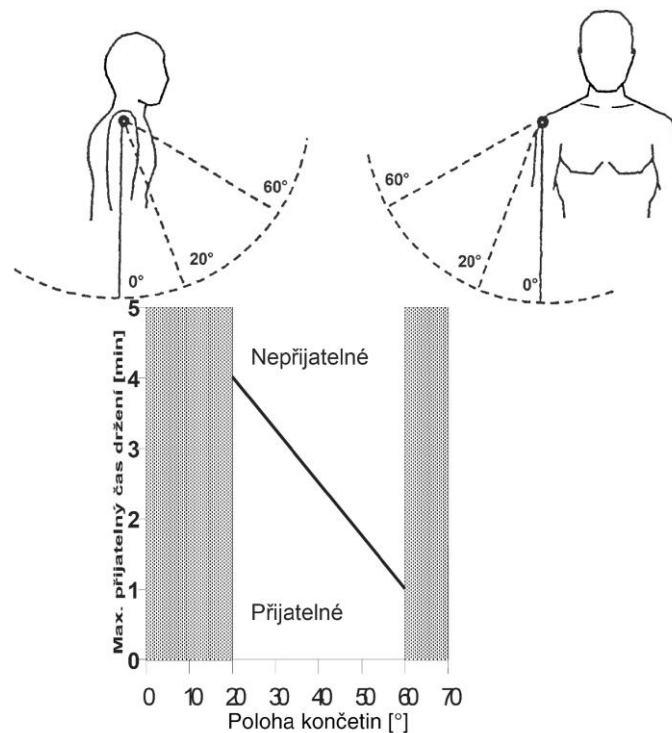
Obr. 13 - Rozsah polohy – trup [36]

- **Hlava:** Při statické poloze se operátor bez podpory trupu nesmí předklonit přes 25° , bez podpory celé hlavy je zakázán i jakýkoliv záklon. Co se týče úklonu, či rotace je dovolená hodnota stanovena na 15° . Stejný princip, jako u trupu, při době držení hlavy – dobu určuje držený sklon hlavy. Tento vztah je zobrazen na Obr. 14. [36]



Obr. 14 - Rozsah polohy – hlava [36]

- Horní končetiny: Při statické poloze, u předpažené a upažené polohy je dovolený úhel do 20°. Mezi 20° až 40° se doba držení určuje podle úhlu, který operátor drží. Poloha paží v jakékoliv pozici nad 60° je nepřijatelná. Vztah mezi 20° a 40° úhlem je vyobrazen na Obr. 15. [36]

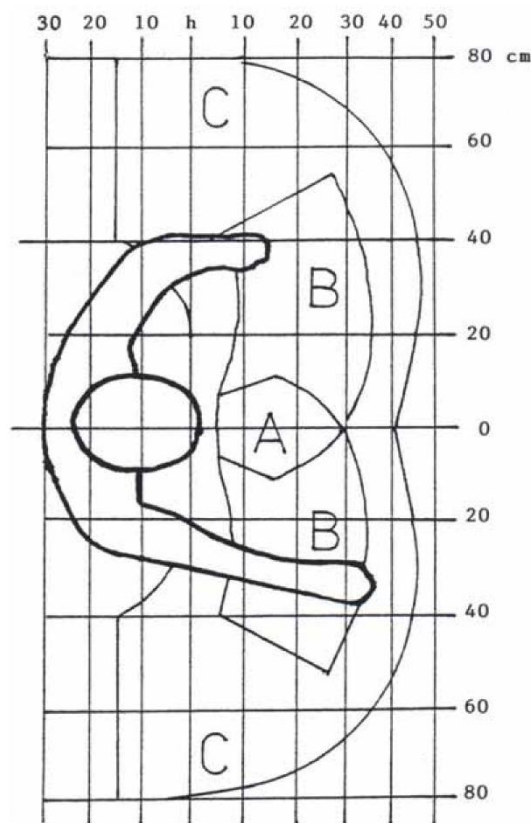


Obr. 15 - Rozsah polohy – horní končetiny [36]

3.2 Dosahy a pracovní roviny

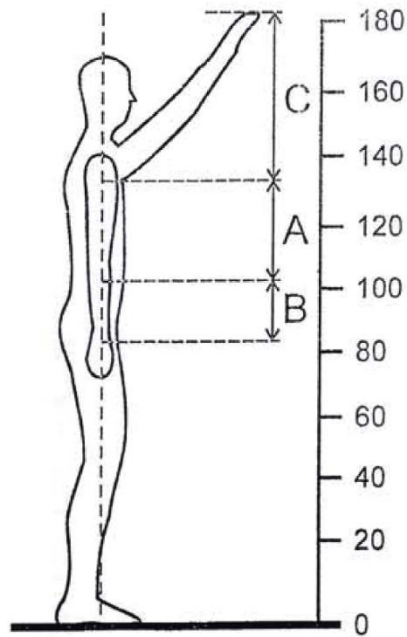
Legislativa se zabývá i rozdělením dosahů a určení pracovních rovin, které jsou ideální pro práci. V této části se berou dosahy a pracovní roviny pouze horních končetin, jelikož dolní část těla v dále rozebírané montáži nehraje zásadní roli.

Na Obr. 16 jsou vyobrazeny jednotlivé zóny dosahů. V reálném pracovišti nechceme, aby se pracovník zbytečně a zdlouhavě otáčel, či tahal těžké věci náročnými pohyby. Zóna A je tedy ideální zóna, pro často opakující se úkony, jako je například montáž na připraveném přípravku. Zóna B je dosah obou předloktí, v této zóně není potřeba změna základní pracovní roviny, zde se provádí méně zastoupené úkony. Nejméně příznivá z uvedených zón je zóna C, v této zóně by se pracovník měl vyskytovat pouze zřídka. Zároveň rozdělení dílu by mělo být co nejsouměrnější, aby pracovník využíval obě ruce stejně často. [36]



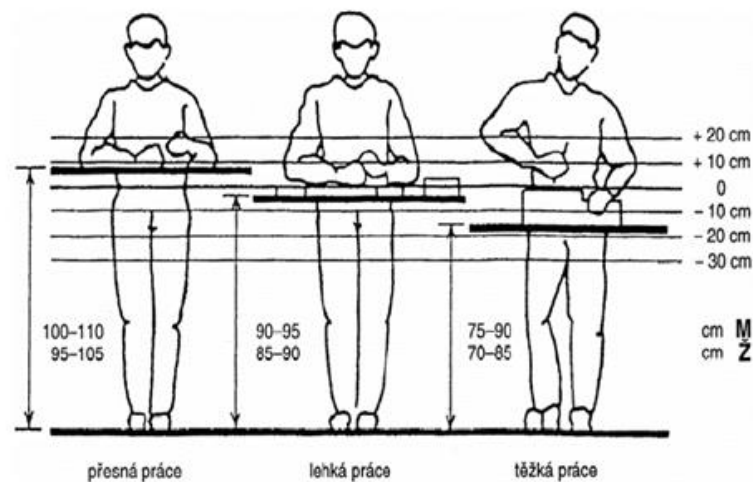
Obr. 16 - Dosahové zóny v pracovní rovině [37]

Zóny dosahu ve vertikální rovině jsou vyznačeny na Obr. 17, kde zóna A představuje optimální dosah pracovníka, zóna B přijatelný dosah a zóna C nepřijatelný dosah pro často opakované pohyby. [36]



Obr. 17 - Dosahy horních končetin [36]

Výška pracovní roviny je nedílnou součástí usnadnění pracovního úkonu. Hlavní faktory určující výšku pracovní roviny jsou typ vykonávané práce a samotná výška pracovníka. Na Obr. 18 jsou zobrazené jednotlivé výšky, při práci různého druhu. Obecně se rovina situuje 5-10 centimetrů pod úroveň loktů, tento případ je na obrázku uprostřed. První případ vlevo nastává při jemné práci a práci vyžadující přesnost čili rovina 5-10 centimetrů nad úroveň loktů. Pro těžkou a náročnou práci (manipulace s předměty o hmotnosti větší než 2 kg) se rovina pokládá 15-40 centimetrů pod úroveň loktů, v obrázku poslední poloha vpravo. [37]



Obr. 18 - Rozdělení výšky pracovních ploch [37]

Prostředí pracoviště

Rozložení pracoviště a využití vhodných nástrojů nejsou jediné faktory ovlivňující výslednou ergonomii pracoviště. Další z faktorů, který se řeší při ergonomickém návrhu, je prostředí pracoviště. Prostředí ovlivňují osvětlení, hluk, teplota, ale i sociální, hygienické a bezpečnostní faktory.

Efektivní a zdraví vyhovující práce je ovlivňována již zmíněnými fyzikálními faktory. Správné osvětlení pracoviště snižuje psychickou i fyzickou únavu a zvyšuje celkovou efektivitu a bezpečnost práce. Stejný pozitivní dopad na ergonomii práce mají i ostatní speciálně upravené fyzikální faktory: hluk, teplota a chvění. [38]

4 Analýza současného pracoviště

Následující kapitola popisuje rozbor současného stavu montážního pracoviště v modelové firmě, vyrábějící zubová čerpadla. Praktická část se zabývá výsledky z měření současného stavu a aplikací informací uvedených v teoretické části bakalářské práce. Nejprve je popsán současný proces montáže s časovým rozbohem a předmět montáže. Následně je vyhodnocena provedená analýza ergonomie pracoviště.

4.1 Cíle optimalizace montáže

Dle zadání této bakalářské práce je celková optimalizace montáže směřována do automatizace / robotizace montážního pracoviště. Hlavním cílem analýzy je ověření existence produktivní, technicky realizovatelné a ekonomicky vhodné možnosti automatizace montáže zubových čerpadel. Mezi dílčí cíle analýzy se zařadilo: nalezení kritických montážních úkonů a následné navržení a vyzkoušení jejich řešení, navrnutí alternativního způsobu automatizace a optimalizace, bez využití průmyslového robota (pevná automatizace, manipulátor, optimalizace montážní linky), stanovení přibližných parametrů pracoviště (cena, produktivita, obsluha, zásobování)

4.2 Analýza montážního procesu a předmětu montáže

Kapitola se zabývá stavem a parametry současného pracoviště montáže. Je zde znázorněn: předmět montáže, současné pracoviště montáže a popis současného stavu pracoviště. Z této analýzy vycházejí výstupy potřebné pro návrhy optimalizovaného pracoviště. Zbylá část praktické části této bakalářské práce se odráží od současného sledovaného montážního procesu a prostředí, ve kterém montáž probíhá.

V současném stavu se pracoviště zabývá montáží zubových čerpadel. Proces probíhá ve dvousměnném režimu, pro jednu směnu je určen jeden pracovník, který obstarává celý proces. Zásobování materiálu si pracovník zajišťuje sám. Na Obr. 19 a Obr. 20 lze vidět rozložení současného pracoviště.

Pro výstupy a jejich vyhodnocení je nutné určení předmětu montáže. Tímto předmětem je několik druhů zubových čerpadel, které se mění podle potřeby poptávky. Druh zubových čerpadel se liší ve velikosti a počtu využívaných dílců pro jeho smontování.



Obr. 19 - Současné pracoviště montáže, první pohled



Obr. 20 - Současné pracoviště montáže, druhý pohled

4.3 Výstup analýzy montážního procesu

Pro návrh pracoviště montáže je nutné vyhodnocení analýzy montážního pracoviště. Mezi výstupy tvořené na základě sledování montážního procesu patří: zhotovení montážního sledu dílců, časová analýza sledovaného úseku a určení kritických míst pro automatizaci. Vyhodnocení a popis zmíněných výstupů je vypsáno v této kapitole.

Následující kapitoly praktické části bakalářské práce se odráží od základního rozdělení montáže, které bylo stanoveno podle analýzy montážního procesu. Montáž byla rozdělena na část předmontáže, montáže a kontroly. Rozdělení montáže je zobrazeno na Obr. 21.



Obr. 21 – Schéma rozdělení montáže

Předmontáž: Pro automatizovanou montáž je potřebná příprava dílců. Činnost předmontáže obsahuje montáž "O" kroužků, lisování nátrubků, lisování gufer, mazání přítlačných desek a příprava kolíků do těles. Tyto činnosti jsou složité pro automatizaci, proto jsou v rámci vyhodnocení brány jako činnosti, které bude zhotovovat pracovník.

Montáž: V momentě, kdy jsou všechny dílce připraveny a dodány na pracoviště, může začít činnost montáže. Náplň této činnosti je pouze čisté skládání dílů. Výstupem činnosti je zhotovené čerpadlo připravené na následnou kontrolu.

Kontrola a testování: Složené čerpadlo z montáže přechází na pracoviště kontroly, kde je testováno lícování a správné fungování čerpadla.

4.3.1 Montážní sled dílců

V rámci analýzy montážního procesu byl stanoven montážní sled dílců pro kompletaci čerpadla. V této kapitole je popsán montážní postup vyhodnocen z analýzy pracoviště, součástí popisu je výpis a znázornění potřebných dílců pro montáž. Součástí kapitoly je i grafická ukázka celkového montážního procesu.

Montážní sled dílců a seznámení s předmětem montáže je nutné pro následné vyhodnocení a určení dalšího postupu při projektování automatizovaného pracoviště. Z přesného sledu operací lze předběžně vyloučit, ale i určit proveditelné přístupy optimalizace. Seznam a počet dílů pro montáž zubového čerpadla je zobrazen v Tab. 1.

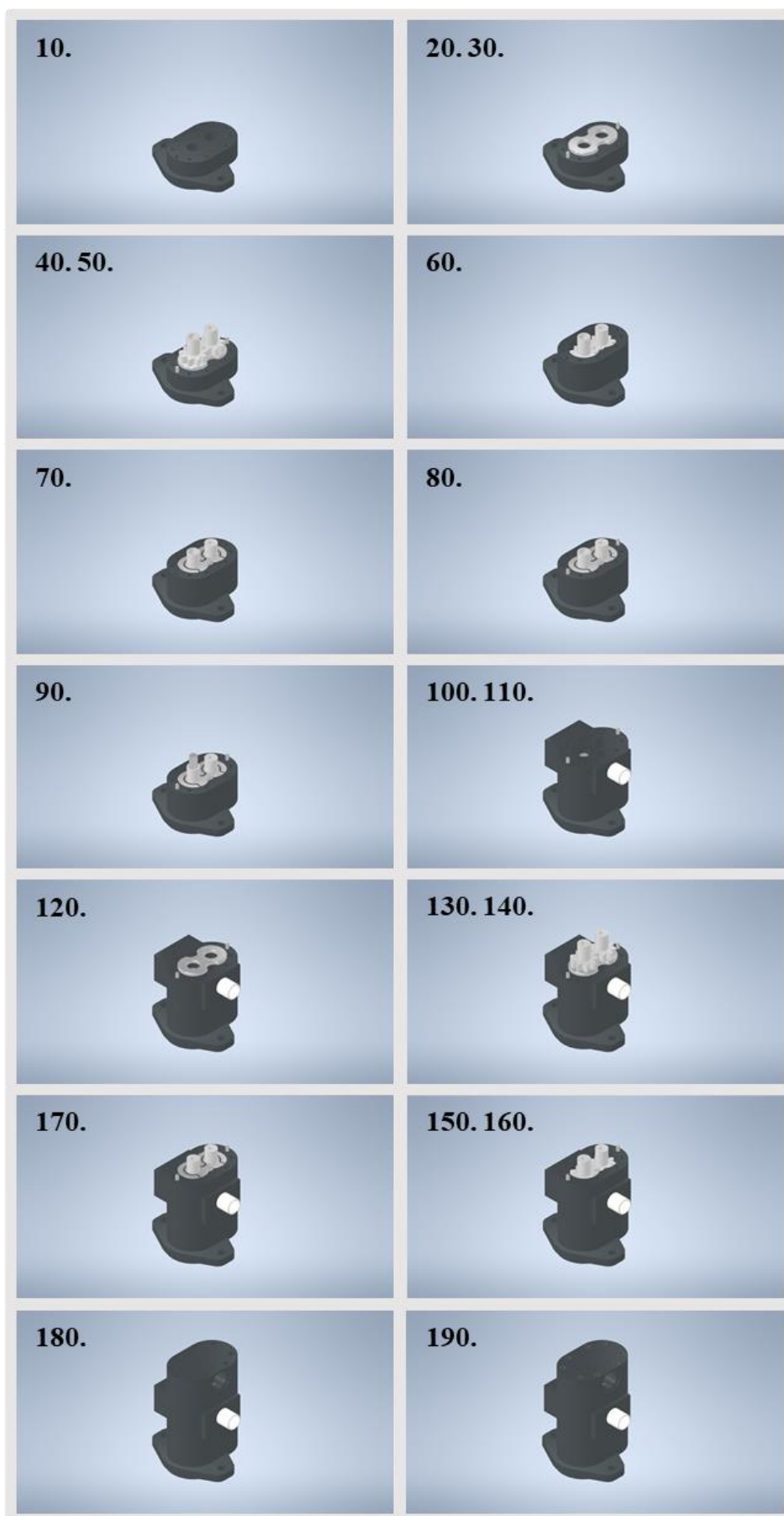
Tab. 1 – Kusovník

Díl	Model	Počet	Díl	Model	Počet
Příruba		1	Těleso 1.		1
"O" kroužek		4	Spojka		1
Těsnění		4	Mezitěleso		1
Kolík		8	Kolo hnací malé		1
Deska přítlačná		4	Těleso 2.		1
Kolo hnací		1	Víko		1
Kolo hnané		2	Šroub		8

Výstupem analýzy byla tvorba montážního postupu zubového čerpadla, který je následně využíván pro potřeby robotické simulace. Jednotlivé operace potřebné pro montáž čerpadla jsou vypsány v Tab. 2. Obr. 22 graficky znázorňuje montážní postup pomocí modelů čerpadla.

Tab. 2 – Analýza montážního postupu

Operace	Součást	Zhotovovaná činnost
10	Příruba	Založení příruby do přípravku
20	Kolíky	Zasazení dvou kolíků do bočních osazených děr v přírubě
30	Deska přitlačná	Vložení přitlačné desky do míst pro kola – těsnění dolů
40	Kolo hnací	Vložení hnacího kola do průchozí díry na přírubě
50	Kolo hnané	Vložení hnaného kola do neprůchozí díry na přírubě vedle hnacího kola
60	Těleso 1.	Zaaretování tělesa na kolíky
70	Deska přitlačná	Vložení přitlačné desky na kola – těsnění nahoru
80	Kolíky	Zasazení dvou kolíků do bočních osazených děr v tělesu
90	Spojka	Vložení spojky do hnacího kola
100	Mezitěleso	Nasazení mezitělesa s "O" kroužkem a nátrubkem na kolíky
110	Kolíky	Zasazení dvou kolíků do bočních osazených děr v mezitělesu
120	Deska přitlačná	Vložení přitlačné desky do míst pro kola – těsnění dolů
130	Kolo hnací malé	Zapohování hnacího kola na spojku
140	Kolo hnané	Vložení hnaného kola vedle hnacího kola
150	Těleso 2.	Zaaretování tělesa na kolíky
160	Kolíky	Zasazení dvou kolíků do bočních osazených děr v tělesu
170	Deska přitlačná	Vložení přitlačné desky do míst pro kola – těsnění nahoru
180	Víko	Zapohování víka na kolíky
190	Šrouby	Vložení 8x šroubů a zašroubování



Obr. 22 - Model montážního postupu

4.3.2 Kritická místa pro automatizaci

Z hlediska robotizace lze jisté montážní operace určit za kritické. Tato kapitola pojednává o tomto typu operací a návrhu možného řešení.

Za kritické operace lze označit operace, při kterých není robot schopen dokončit daný úkon, nebo je implementace dalších pomocných přípravků příliš nákladná. Složitá operace, která není obvyklá a je potřeba testovat, se rovněž považuje za kritickou. Nedostatečné technické vlastnosti, jako je dosah, složitost manipulace a přesnost robota, ale i návrh montovaného dílu a montážního procesu lze stanovit za důvod výskytu kritických operací. Z analyzovaného procesu bylo určeno pět kritických montážních operací:

- "O" kroužky a těsnění: Všechny měkké části není schopný robot přesně a opakovatelně umísťovat. Tyto části musí být připraveny předem v předmontáži a musí být zajištěno jejich upevnění v dílci. Jiný způsob montáže měkkých částí, než za pomoci lidské zručnosti není v tomto návrhu možný.
- Lisování gufer a nátrubků: Robotické rameno není schopné vyvinout potřebnou sílu pro lisování, bylo by potřeba investovat do automatických lisů a dalších přípravků. Lisy a další přípravky se následně dají implementovat do robotické buňky a celý systém robotizovat.
- Umístění šroubů a jejich montáž: Montáž šroubů je možné robotizovat pomocí automatického podavače a dalšího příslušenství robota. Možnost robotizace celé operace šroubování je velmi nákladná a v tomto případě nevýhodná.
- Přesná montáž: Základní vlastnost zubového čerpadla je těsnění vody čili veškerá montáž v rámci sestavení čerpadla je v rozmezí přesné montáže. Metod, jak umístit dílce do přesnější pozice, než je opakovatelnost umístění robota je mnoho. Nevýhoda metod přesné montáže je nutnost testování a propočet veškerých nákladů.
- Mazání přítlačných desek: Pro dosažení úplného těsnění čerpadla je nutné namazat přítlačné desky vazelínou. Tuto operaci lze automatizovat, ale obtížně a náklady na potřebné příslušenství jsou vysoké. Stejným způsobem jako montáž měkkých částí je výhodné tuto operaci přesunout do předmontáže a realizovat lidským pracovníkem.

Na Obr. 23 jsou zobrazeny jednotlivé kritické operace při montáži čerpadla.



Obr. 23 - Kritické operace při montáži

4.3.3 Časová analýza sledovaného úseku

Pro následnou optimalizaci pracoviště je nutné získat časovou analýzu celé operace montáže. Tato kapitola popisuje proces časové analýzy a následně její výsledky. Při návštěvě modelové firmy byl naměřen snímek části pracovního dne a stopovány jednotlivé montážní cykly, které jsou dále rozděleny do skupin montáže a předmontáže. Celkové měření bylo prováděno pomocí stopek a zaznamenáváno do vyhodnocujících tabulek.

Snímek části pracovního dne

Do snímku části pracovního dne spadalo stopování všech úkonů, jež pracovník v daném úseku dělal. Výsledná data jsou zobrazena v Tab. 3. Tab. 4 zobrazuje aktivity, které nastaly v již započatém úkonu. Jednotlivé hodnoty jsou pouze hrubé a obsahují nejistoty lidského měření. Pro účely optimalizace pracoviště jsou tyto výsledky dostačující.

Tab. 3 - Rozdělení časů v rámci sledování

Od	Do	Druh aktivity	Délka aktivity (s)	Délka aktivity (min)
08:42	08:49	Montáž	450	7,5
08:49	08:57	Montáž	462	7,7
08:57	09:03	Montáž	390	6,5
09:03	09:10	Montáž	435	7,25
09:10	09:23	Hledání Ozubených koleček, kontrola	769,5	12,825
09:21	09:23	Pilování špatného kolečka	96	1,6
09:23	09:32	Montáž	525	8,75
09:32	09:39	Montáž	450	7,5
09:39	10:00	Gumičkování	1170	19,5
10:00	10:07	Montáž	435	7,25
10:07	10:15	Picí pauza	495	8,25
10:15	10:23	Montáž	480	8
10:23	10:32	Montáž	544,5	9,075
10:32	10:41	Montáž	540	9
10:41	10:47	Odvážení palety, nová paleta	322,5	5,375
10:47	10:56	Montáž	585	9,75
10:56	11:02	Odešel	345	5,75
11:02	11:40	Lisování trubek, hledání dílů na lisování (uprostřed ostatních krabic)	2250	37,5
11:40	X	Oběd	X	X

Tab. 4 - Rozdělení časů v rámci sledování – úkony ve stejném čase

Od	Do	Druh aktivity (ve stejném čase)	Délka aktivity (s)	Délka aktivity (min)
08:46	08:47	Příprava palety	90	1
08:50	08:51	Přenos přílozek z jiného stolu	60	0,66666667
09:05	09:05	Zásah nadřazeného	3	0,03333333
09:59	09:59	Upadnutí gravírovacího nástroje	7,5	0,08333333
10:02	10:04	Doplnění střední části čerpadla, srovnání krabic, doplnění šroubů	165	1,83333333
10:30	10:30	Přestávka na pití	15	0,16666667

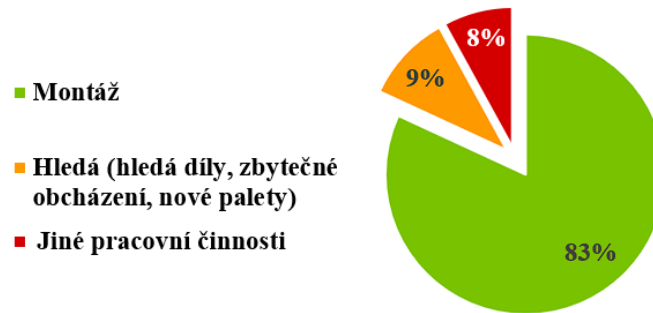
Měřené úkony v Tab. 3 a Tab. 4 byly rozděleny do tří skupin činností popisující celý proces montování čerpadla.

- Činnost montáže: Do této skupiny patří všechny úkony, při kterých pracovník montuje a aktivně pracuje na zhotovení produktu. Kromě montážních úkonů do této skupiny patří i úkony předmontáže (příprava dílů, lisování, ...), jelikož jsou stále nezbytné pro finální montování.
- Činnost hledání: Hledání dílů, zbytečné odcházení, oprava dílů a dovoz nových palet se řadí do činnosti hledání. Při této činnosti pracovník nedodává přidanou hodnotu do výroby a pouze se zdržuje. Snížení doby hledání je hlavní složkou optimalizace pracoviště.
- Jiné pracovní činnosti: Tato činnost je nepředvídatelná a ve výrobě se vyskytuje vždy. Do činnosti nepracování spadají přestávky, zásahy nadřazeného a nutné odchody.

Rozdělení do jednotlivých úkonů slouží ke snadnější prezentaci výsledků pomocí zjednodušené Tab. 5 a grafu na Obr. 24.

Tab. 5 - Časová analýza sledovaného úseku

Činnost	Stav (pracuje, nepracuje, práce navíc)	Čas (s)	od	do	Čas (min)	Čas (hod)
Montáž		9028	08:40	10:40	150,47	2,51
Hledání (hledá díly, zbytečné obcházení, nové palety)		972			16,20	0,27
Jiné pracovní činnosti		858	09:45	09:55	14,30	0,24



Obr. 24 - Koláčový graf časové analýzy sledovaného úseku

Analýza vychází z kratšího náměru, přesto je dostačující pro následnou optimalizaci. Hlavní poznatky z měření jsou: velice vysoká zapracovanost, přesnost a kvalita montáže a pracovní tempo, neoptimalizované uspořádání pracoviště, časté přecházení pracovníka pro materiál.

Jednotlivé montážní cykly

Do měřeného montážního cyklu patří jednotlivé montáže čerpadla (v jedné montáži pracovník montuje dvě čerpadla najednou), bez potřebných časů na přípravu dílců, jako je lisování nátrubků a příprava dílců a těsnění. Pro vyšší výpovědní hodnotu dat jsou v Tab. 6 vypsány doplňující informace. Informace obsahují, kdy a co bylo potřeba připravit a doplnit, důvod přestavek a kdy byl nutný přechod pro dílce. Tabulka času jednotlivých montáží je doplňující tabulkou pro snímek části pracovního dne.

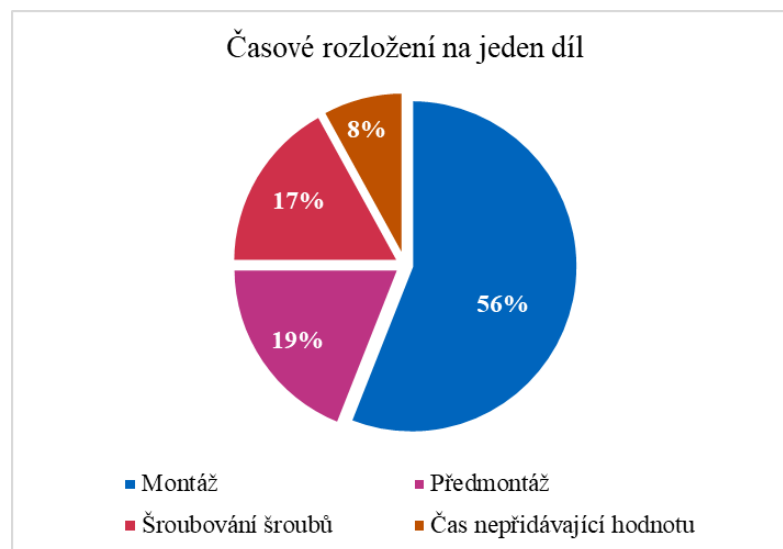
Tab. 6 - Časy jednotlivých montážních cyklů

Čas jednotlivých montáží			
Montáž – výroba dvou čerpadel za jednu montáž	Změřený čas (s)	(min), SUMA 88,275 min	Info.
1.	450	7,5	Příprava palety, nová paleta
2.	462	7,7	Příložky z jiného stolu
3.	390	6,5	
4.	435	7,25	Zásah nadřazeného
5.	525	8,75	Nová kolečka každých - 25ks (8:33), pilování špatného dílu (1:04)
6.	450	7,5	
7.	435	7,25	Gumičkování každých 50ks (13:00)
8.	480	8	Přestávka na občerstvení
9.	544,5	9,075	Upadnutí gravovacího nástroje (5s)
10.	540	9	Doplňování dílu (mezitěleso), srovnávání krabic, doplnění šroubů
11.	585	9,75	Odvážení palety, nová paleta (na druhé strane dílny), lisování nových dílu

Vyhodnocení potřebného času na jedno čerpadlo ze snímku části pracovního dne a tabulky jednotlivých časů montážních cyklů, je zobrazeno v Tab. 7 a grafu na Obr. 25.

Tab. 7 - Rozložení času potřebného na montáž jednoho čerpadla

Jedno čerpadlo - rozložení času				
Čas (s)	(min)	%	Aktivita	Info.
31,5	0,525	8%	Zbytečný čas při montáži	Chození pro díly, hledání natočení dílu, tesné nasazení, nabírání šroubů, zapadnutí bitu
67,5	1,125	17%	Šroubování šroubů	Značná část montáže
64,5	1,075	19%	Předmontáž	Gumičkování, lisování a gufera
241,5	4,025	56%	Montáž	Čistá montáž dílů
405	6,75		Celkový průměrný čas montáže na jeden díl	Vypočítaný průměr z jedenácti montáží po dvou dílech



Obr. 25 - Koláčový graf časového rozložení na jedno čerpadlo

Předmontáž

Pro návrhy robotického pracoviště je potřeba z rozložení času montáže zobrazeném v Tab. 8, vytvořit časový rozpad jednotlivých úkonů předmontáže. Z rozpadu předmontáže zobrazeného v Tab. 9, lze určit časovou náročnost jednotlivých úkonů a vyhodnotit, na který úsek je vhodné se zaměřit při optimalizaci.

Tab. 8 - Rozložení času montáže jednoho čerpadla

Jeden díl - rozložení času			
Čas (s)	(min)	%	Aktivita
328,05	5,4675	81%	Montáž
80,61	1,3435	19%	Předmontáž
405	6,75	100%	Celkový průměrný čas montáže na jeden díl

Tab. 9 - Rozpad předmontáže

Měření předmontáže			
Druh předmontáže	Průměrný čas (s)	%	Suma časů (s)
Gumičkování	15,225	19%	80,61
Lisování	25,86	32%	
Gufera	18,15	23%	
Mazání	6,75	8%	
Kolíky	14,625	18%	

Montáž

Pro udržení jednoduchosti byla činnost montáže v rámci analýzy rozdělena na úkon montáže a šroubování. Důvod rozdělení byla časová náročnost úkonu šroubování, které činilo přes 21 % z celkového času potřebného na montáž čerpadla. Ze zobrazení času montáže v Tab. 10, vychází Tab. 11 zobrazující rozpad montáže.

Tab. 10 - Rozložení času montáže jednoho čerpadla

Jeden díl - rozložení času			
Čas (s)	(min)	%	Aktivita
328,05	5,4675	81%	Montáž
80,61	1,3435	19%	Předmontáž
405	6,75	100%	Celkový průměrný čas montáže na jeden díl

Tab. 11 - Rozpad montáže

Měření montáže			
Druh montáže	Průměrný čas (s)	%	Suma časů (s)
Montáž	259,155	79%	328,05
Šroubování	68,895	21%	

4.3.4 Výstup analýzy ergonomie pracoviště

Tato část kapitoly zhodnocuje ergonomii pracoviště ze získaných poznatků při analýze montážního pracoviště. Sledované úkony, které konal pracovník byly převedeny do simulace v programu Tecnomatix Jack a ve stejném programu byly i vyhodnoceny. Výsledky simulace a zhodnocení ergonomie pracoviště jsou popsány v následujících podkapitolách. Jedním z výstupů analýzy bylo vyhodnocení pracoviště za ergonomicky neoptimalizované.

Předmontáž

Montáž neprobíhá na jednom stacionárním pracovišti, ale pracovník je nucen si zařídit jednotlivé díly v předmontáži. Předmontáž je rozdělena na více úkonů viz kapitola 4.3. V rámci ergonomie je tato předmontáž velmi důležitá z hlediska pohybu pracovníka, jenž díky těmto úkonům celou směnu nesedí a není na jednom místě, ale musí se pohybovat a několikrát za směnu se projít. Na druhou stranu v rámci automatizace a optimalizace výroby, jsou tyto úkony jen ztrátou času.

Ergonomie předmontáže není jednotná, jelikož jak bylo zmíněno, předmontáž se dělí na jednotlivé části.:

- Lisování: Úkon, kde pracovník stojí na stanovišti a do polotovaru se lisují nátrubky. Pro polotovary je potřeba se sehnout do krabice položené 40 centimetrů nad zemí, i když polotovary nejsou těžké, pracovník se musí za jednu směnu až 40krát sehnout.
- Gumičkování: Tento úkon probíhá v sedě. Na stůl si pracovník připraví gumičky, plastové dílce a díl, do kterého se gumičky vkládají. Tato část předmontáže není nijak ergonomicky závadná, jelikož je všechno připravené v zóně B a finální díl se skládá v zóně A.
- Vkládání gufer a pojistných kroužků: Gufera se vkládají společně s pojistnými kroužky na podobném pracovišti lisování. Pracoviště na gufera, se ale liší v částečné automatizaci, kdy gufera jsou zakládány pomocí automatu. Pracovník pouze nasazuje gufero na tyč a vyndává hotový díl, zbytek procesu je automatický. Všechno probíhá v ideální výšce (zóna A). Spouštění automatu je zajištěno šlapátkem. [39]

Montáž

Finální sestavení čerpadla probíhá na stole v ideální výšce, pro těžkou montáž. Stůl je v přesné výšce 20 centimetrů pod úrovní loktů. Jednotlivé díly mohou převyšovat hmotnost 2 kilogramů, tudíž je finální montáž celá zhotovována ve stoje. Na stole jsou připraveny téměř všechny díly v zóně B a montáž se zhotovuje v zóně A. Ostatní potřebné díly jsou v zónách mimo dosah ruky a pracovník se musí otočit, nebo si pro tyto díly dojít a přinést je do zóny A. Pracoviště neobsahuje přesné umístění dílů, ani žádné kolejničky, všechny díly jsou rozmístěné, tak jak si je pracovník před montáží připravil. Těžké finální produkty se skládají na pojízdný stůl a ten je dále odvezen na kontrolu. S těmito finálními produkty musí pracovník manipulovat a otáčet se s nimi, z dlouhodobého hlediska úkon velmi nezdravý. [39]

Simulace ergonomie

Ergonomické řešení pracoviště bylo vyhodnoceno v programu Tecnomatix Jack. Z celkového rozboru se vybralo několik nejnáročnějších poloh. Jednotlivé polohy byly porovnány s nařízením vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Porovnávání probíhalo se sekci polohy těla. Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 12. Výsledné hodnoty se dělí na:

- Zelená: Přijatelná poloha při splnění podmínek
- Žlutá: Podmíněně přijatelná poloha při splnění podmínek
- Červená: Nepřijatelná poloha [40] [39]

Tab. 12 - Výsledky statické analýzy – současného pracoviště (vybrané polohy)

Číslo polohy	1	2	3
	Úhel předpažení 57°	Úhel předpažení 85°	Pronace PHK 40°
Simulace NV č. 361/2007 Sb.			

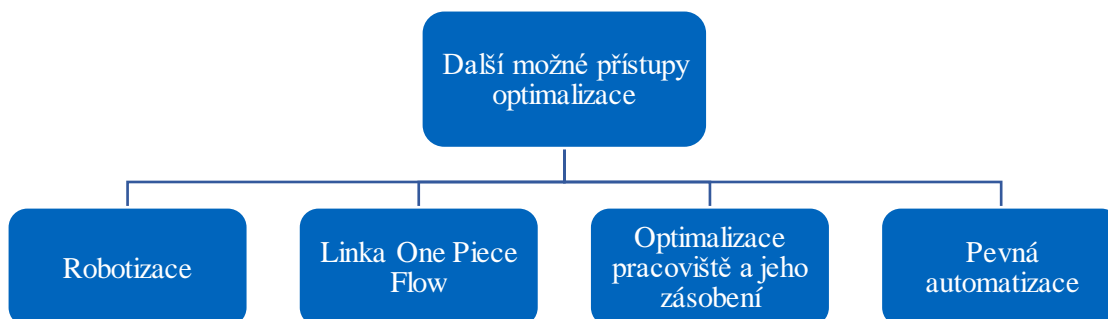
V Tab. 12 pronace PHK označuje vnitřní rotační pohyb pravé horní končetiny.

5 Návrh pracoviště montáže

Tato kapitola se zabývá návrhem optimalizovaného pracoviště montáže. Jednotlivé návrhy vycházejí z analýzy současného pracoviště, která je popsána v předchozí kapitole. Všechna řešení jsou navrhována v závislosti na zvýšení produktivity montáže zubových čerpadel a zlepšení ergonomické situace na pracovišti. Úvod této kapitoly tvoří rozdělení možných přístupů k optimalizaci pracoviště montáže. Následně jsou popsány předpoklady pro produktivní funkci robotického pracoviště a stanoveny výchozí parametry robotické montáže. Poté se tato práce zabývá jednotlivými varianty optimalizace z hlediska variability, zásobení a logistiky pracoviště. Konec kapitoly tvoří vyhodnocení méně vhodných variant a simulace vhodné varianty v programech Robotstudio ABB a Tecnomatix Jack, ve kterých byl zjišťován čas robotické montáže a ergonomie výsledného pracoviště.

5.1 Přístupy k optimalizaci pracoviště montáže

V této části práce je návrh na optimalizaci nejen pomocí robotizace, ale i pomocí rozvření pracoviště a toku materiálu. Možností, jak lze optimalizovat dané pracoviště je více. Prezentování několika možných variant je přívětivější i pro modelovou firmou, jelikož tímto dostává možnost volby podle aktuálních finančních a prostorových prostředků. Na základě provedené analýzy byly vybrány čtyři možné přístupy, které jsou zobrazeny na Obr. 26.



Obr. 26 - Možné přístupy k optimalizaci pracoviště montáže

Robotizace

Jeden z vybraných přístupů optimalizace je činnost montáže robotizovat. V tomto přístupu by pracovník pouze zajišťoval předmontáž a dodávání dílců do dopravníků, které by zásobovaly robotickou buňku. Činnosti vykonávané robotem by byly:

- Montáž čerpadla: Čisté skládání čerpadla. Jednotlivé dílce by si robot uchopoval ze systému dopravníků a paletků, které by skládal na předem vytyčeném místě do různých přípravek, podle typu skládaného čerpadla. Šrouby pro konečné zašroubování by robot dostával z podavače umístěného v robotické buňce. Po dokončení montáže čerpadla by

robot poslal zhotovené čerpadlo po určeném dopravníku na kontrolu. Robotické rameno by bylo po celý proces montáže osazeno silovým snímačem, který by robotovi dodával smysl hmatu a možnost montáže přísných tolerancí. Se silovým snímačem je nutné pro tento případ montáže vybavit robota i kamerovým systémem, jenž je potřebný pro hledání dílů na dopravnících a paletkách.

- **Kontrola dílů:** V průběhu montáže je robot schopný kontrolovat její správnost pomocí kamerového systému a smyslu hmatu. Kamerový systém a silová výchylka, při doteku ramene s namontovaným dílcem, dokáže určit současnou výšku skládané sestavy. Tato výška je následně porovnána s výškou modelové sestavy.

Robotizace pracoviště se snaží vytvořit ideální spolupráci mezi člověkem a robotem. Přístup robotizace byl vybrán modelovou firmou pro širší analýzu, z důvodu přijatelné počáteční investice a snahy modernizace pracovišť. Následující kapitoly praktické části bakalářské práce se zaměřují na další rozvoj a ověření přístupu robotizace.

Linka One Piece Flow

Principem linky One Piece Flow je montáž jednoho kusu v daný okamžik. Pro zařízení tohoto přístupu je nutné vytvořit linku s daným taktem prací, montážními pracovišti a kontinuálním zásobením pracovišť. Při správné aplikaci je možné se stejným počtem pracovníků montáže docílit zvýšení produktivity o jednotky až desítky procent. Na sestavení funkční linky One Piece Flow je potřeba základní investice do přeměny pracovišť a vybavení. Pokud by si firma vybrala tento přístup, bylo by nutné ho dále proanalýzovat a přímo optimalizovat pro dané pracoviště.

Optimalizace pracoviště a jeho zásobení

Výsledek analýzy současné montáže vyšel velmi pozitivní z hlediska času montáže jednoho čerpadla. Zapracovanost pracovníka je výborná, přestože je pracoviště téměř neoptimalizované a chaoticky rozmístěné. Správné rozložení a tok materiálu jsou schopné výrazně zvednout kvalitu a ulehčit vykonávanou práci zaměstnanci. V současné době pracovník musí polotovary hledat a nejsou mu poskytnuty přímo na pracovišti. Odstopovat a vyhodnotit, kdy a jak pracoviště zásobovat, ušetří velkou část směny, kdy pracovník hledá materiál nebo přechází na jiné pracoviště. Předmontáž by mohla být zhotovována jiným pracovníkem a pracovník na montážním pracovišti by jen díl skládal a posílal na následnou kontrolu. Místo montáže se dá vybavit systémem krabiček a paletek, které budou mít přesné místo. Pracovník v tomto případě má všechno potřebné u sebe a nic ho nevyrušuje od montáže, celá směna je čistě skládání. Tímto způsobem se eliminují veškeré nadbytečné mezičasy, kdy se pracovník nevěnuje montáži, ale obstarává potřebné věci, pro práci. Zároveň se u takhle optimalizovaného pracoviště nevyskytují nezdravé pohyby otáčení, přenášení a ohýbání.

Pevná automatizace

Přístup pevné automatizace je přístup s vysokou počáteční investicí do specializovaného vybavení pracoviště, ale i s vysokým taktem výroby. Celé pracoviště i s doplňováním dílců by bylo automatizováno pomocí speciálních strojů a přípravků. Tento přístup byl vyhodnocen jako nevhodný vzhledem k variabilitě výrobků. Pokud by byla dlouhodobě vysoká poptávka po jednom z produktů, mohl by být tento přístup dále proanalýzován.

5.2 Plánování, logistika a zásobení robotického pracoviště

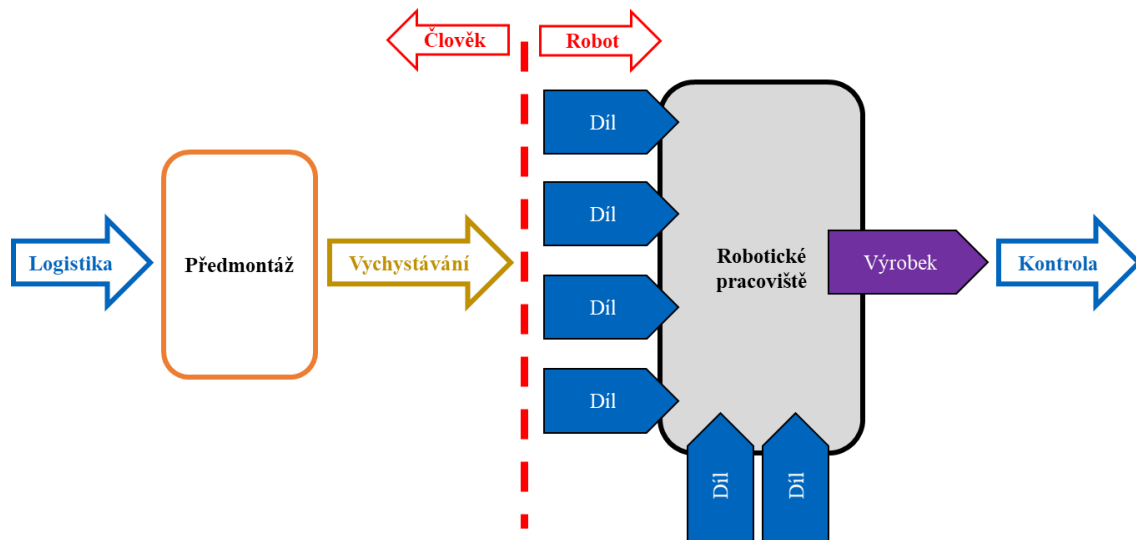
Mezi předpoklady produktivní funkce robotického pracoviště patří správné plánování výroby, logistika a zásobení pracoviště. Tato kapitola popisuje jednotlivé předpoklady pro funkční robotické pracoviště a obsahuje hrubý návrh pracoviště montáže s robotickou buňkou.

Pro plynulý proces robotizované montáže je nutné naplánovat výrobu a samotnou montáž. Správné plánování obsahuje přesný tok materiálu, dílce musí být v daný čas vychystány na pracovišti, a to v požadované kvalitě. Pokud by výroba nestíhala doplňování dílců, či kvalita dílců by byla nedostačující, robotické pracoviště je zdrženo a firma nevyrábí daný produkt. Z tohoto důvodu je nutné pro firmu si stanovit množství záložních dílců, které tvoří ochranu před zdržením robotického pracoviště.

Investice do optimalizace pracoviště pomocí robotizace a náklady na pracovníka, který bude pro robota vychystávat dílce a dělat předmontáž se musí vrátit. Proto je nutné, aby robotické pracoviště nepřesahovalo dosavadní čas montáže. Pro ověření, zda je robotické pracoviště dostatečně rychlé, byla montáž pomocí robotického ramene simulována. Výstup simulace je popsán v jedné části této bakalářské práce.

Snaha navržení pracoviště tak, aby bylo možné montovat co nejvíce typů čerpadel bez nutnosti složitějšího přeprogramování. Pracoviště musí být stále rentabilní. Variabilita montážního pracoviště je popsána dále v praktické části bakalářské práce.

Hrubý návrh pracoviště na Obr. 27, rozděluje montáž na lidské a robotické úkony. Celý proces začíná logistikou (doprava dílců pro předmontáž a montáž), následuje činnost předmontáže a poté vychystání všech potřebných dílců pro činnost montáže. Tyto úkony obstarává pracovník a je nutné, aby robot měl dostatek dílců pro montáž, z tohoto důvodu je nutné vytaktování obsluhy a robota. Robotická buňka by vždy měla mít dostatek dílců pro nepřetržitou montáž. Z montáže následně vychází výrobek na kontrolu.



Obr. 27 - Hrubý návrh pracoviště

5.3 Výchozí parametry

Sloučením předešlých poznatků lze určit výchozí parametry pro robotické pracoviště. Součástí této kapitoly je souhrn těchto parametrů pro vytvoření jednotlivých návrhů. Pomocí stanovení těchto parametrů lze vytvořit varianty pracoviště, které vyhovují předem určeným požadavkům na výrobu a náklady. Z analýzy a požadavků firmy vznikly tyto výchozí parametry:

- Rozdělení montáže: Z důvodu odlišení lidské činnosti a činnosti prováděné robotem byl proces montáže rozčleněn na činnost předmontáže a montáže. Předmontáž – lidská činnost, Montáž – činnost prováděná robotem.
- Logistika pracoviště: Optimalizovat proces doplňování materiálu do robotické buňky. Ostatní procesy jako výroba jednotlivých dílců pro konečnou montáž musí být vytaktována s robotickou montáží.
- Hrubé dispozice: Pracoviště by se nestavělo na novém prostoru, ale pouze by vyměnilo stávající pracoviště montáže. Z tohoto důvodu je nutné počítat s hrubým odhadem zastavené plochy, nového robotického pracoviště.
- Nutnost obsluhy: Robotická buňka by měla být co nejvíce samostatná, proto je jedním z parametrů, co nejnižší počet pracovníků obsluhujících robotické pracoviště.
- Montážní čas: Investice do celého pracoviště musí být návratná, tudíž je nutné držet montážní čas na podobné hodnotě, jako byl doposud.

5.4 Variabilita montážního pracoviště

Ideální stav pracoviště je montování co nejvíce druhů čerpadel, ale zároveň musí být investice do takového pracoviště rentabilní. Součástí této kapitoly je hledání ideálního řešení z pohledu návratnosti investice, porovnáním: co nejmenších nákladů na investici s výrobou co nejvíce druhů

čerpadel. Schéma na Obr. 28 zobrazuje vlastnosti jednotlivých. V této kapitole se vyskytuje pojem přípravek, kterým se myslí platforma, kde probíhá celý proces montáže. Současně využívaný přípravek je zobrazen na obrázcích Obr. 32 a Obr. 33.

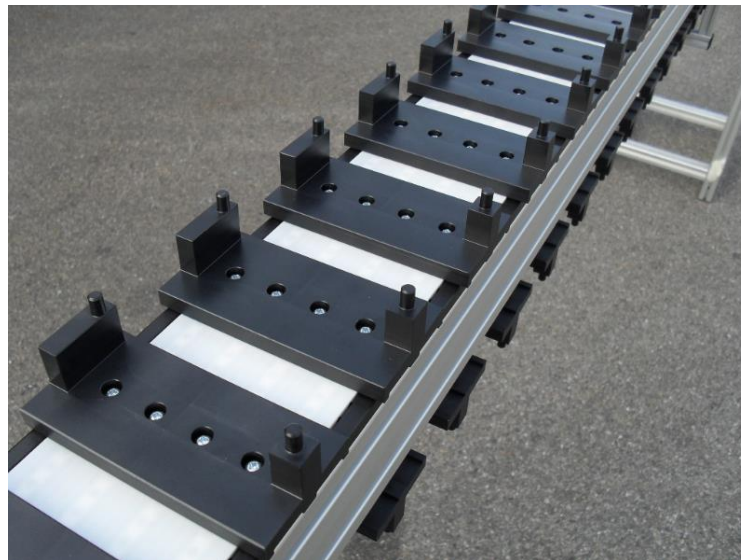


Obr. 28 – Schéma variability montážního pracoviště

5.4.1 Výroba jednoho druhu

Na navrhovaném pracovišti se vyrábí pouze jeden druh čerpadla. Hlavním ukazatelem výroby jednoho druhu výrobku je instalace pouze jednoho přípravku, který slouží, jako základna pro montáž. Přípravek je instalován napevno a nemění se.

Výhodou této varianty je jednoduchost naprogramování robota z pohledu počtů programů, pro různá čerpadla, jelikož je robot naprogramovaný pouze na jeden druh (žádné složité řešení přepínání programů). Pokud je montován pouze jeden druh čerpadla, je možné využít přesných kolíků na dopravnících, založené dílce tak dostávají přesně danou polohu na dopravnících a není potřeba využití světelných závor a složitého kamerového systému. Absence kamerového systému následně snižuje základní investici do pracoviště. Ukázka dopravníku, kde je zajištěna přesná pozice pomocí kolíků, je zobrazena na Obr. 29.



Obr. 29 - Výroba jednoho druhu – dopravník s kolíky [41]

Pracoviště je fixováno pouze na jeden druh čerpadla, pokud by nastala jakákoliv změna parametrů, pracoviště by se stalo nevyužitelným. Pro firmy, které vyrábějí velký počet jednoho druhu výrobku, by tato varianta byla výhodná.

5.4.2 Výroba více druhů

Robotické pracoviště vyrábí více druhů čerpadel. Robot by si před směnou načel QR kód, která by mu udal druh montovaného čerpadla. Výměna přípravků pro montáž by probíhala automaticky. Robot by si přípravky měnil sám a v buňce by bylo specifikované místo na odklad a výměnu jednotlivých přípravků.

Do jisté míry by nezáleželo, jak se změní parametry čerpadel, tudíž je výhodou této varianty možná variabilita výroby. S vyměnitelnými přípravky je možné měnit výrobu podle současné poptávky a vytvořit pracoviště, které by mohlo být využíváno i v budoucnu, po změně vyráběných produktů.

Jelikož při této variantě nejsou využívány přesné kolíky na dopravnících, je nutné využít kamerového systému a světelných závor na dopravnících. Dopravníky jsou vybaveny pouze drážkami a přesnou polohu dohledává kamerový systém. Ukázka dopravníku s drážkami je zobrazena na Obr. 30. Kvůli potřebě kamerového systému a světelných závor je tato varianta nákladnější. Pokud má firma širší nabídku různých výrobků je tato varianta výhodnější z již zmíněných důvodů.



Obr. 30 - Výroba více druhů – dopravník s drážkami [42]

6 Návrhy variant robotické montáže

Tato kapitola se zabývá návrhy robotické montáže z hlediska zásobení pracoviště a logistiky. Na základě analýzy z předešlé kapitoly a požadavků modelové firmy jsou zde navrženy varianty řešení robotické montáže. Celá kapitola zaměřující se na návrhy variant využívá výsledek časové analýzy, kde doba montáže jednoho čerpadla činila 6,75 minut. Jednotlivé varianty jsou navrženy tak, aby dodržovaly veškeré požadavky na výrobu (nutnost obsluhy, čas montáže, náklady, ...) a současně byly efektivní a konzistentní v procesu montáže zubového čerpadla. Zpočátku byly navrženy varianty, které byly hodnoceny a liší se z hlediska zásobení pracoviště, následně byly navrženy varianty robotické montáže z hlediska logistiky. Poté se tato práce zabývá vyhodnocením méně vhodných variant.

6.1 Vybavení robotického pracoviště

Pro úvod do návrhu variant je nutný výpis potřebného vybavení robotického pracoviště. Následující návrhy se liší v množství využitého zařízení (délka dopravníků). Mezi potřebné vybavení robotického pracoviště pro následující návrhy patří:

- Robotické rameno: Základní automatizovaný prvek tvořící přidanou hodnotu montáže.
- Silový snímač: Nutné vybavení pro umožnění přesné montáže viz kapitola 2.6.2.
- Čidla: Dotyková čidla pro možnou průběžnou kontrolu montáže.
- Kamerový systém: Hledání dílců a základní napolohování je umožňováno kamerovým systémem.
- Gripper: Pro uchopení dílců a jejich následnou manipulaci je nutné robotické pracoviště vybavit gripperem (uchopovači).
- Podavač šroubů: Konečný úkon zašroubování šroubů je optimalizován automatickým podavačem šroubů.
- Vozíčky: Vybavení pracoviště pro převoz materiálu k robotickému pracovišti.
- Dopravníky: Logistický prvek zajišťující dopravu dílců k robotickému rameni.
- Přípravky: Pro přesné a pevné zajištění dílců je nutné pracoviště vybavit přípravky na jednotlivá čerpadla.
- Stavba pracoviště (stůl, ohrada): Do této skupiny vybavení patří stavební prvky pracoviště.

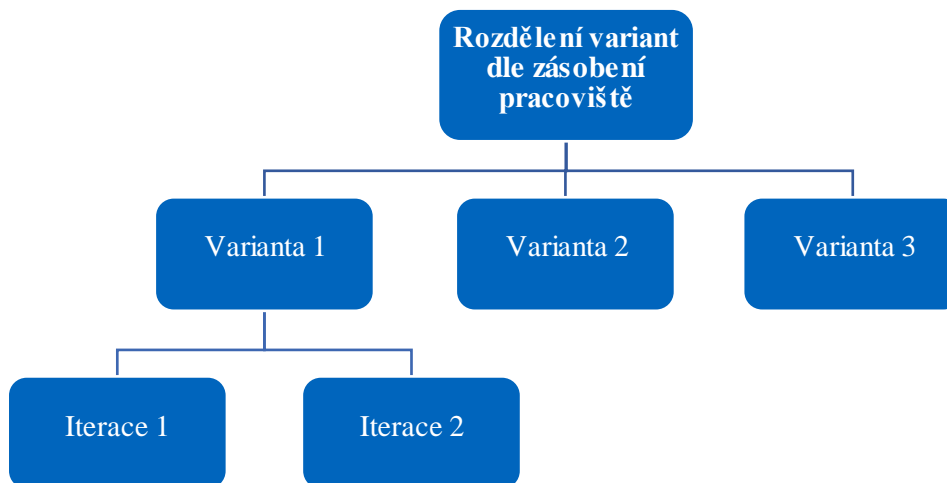
Ověření funkce silového snímače

V rámci návrhu robotického montážního pracoviště byla zajištěna ukázka silového snímače ve firmě FANUC, která poskytuje automatizační produkty a řešení. Celá ukázka probíhala na typovém čerpadle obsahující veškeré prvky přesné montáže (založení přítlačných desek a ozubených kol). Celý proces montáže byl úspěšně proveden robotickým ramenem, jenž byl

osazen silovým snímačem. Výsledek této ukázky sloužil jako ověření proveditelnosti montáže zubového čerpadla s pomocí silového snímače.

6.2 Z hlediska zásobení pracoviště

Pro určení časové náročnosti obsluhy robotického pracoviště, finanční náročnosti a velikosti zastavené plochy, byly vytvořeny jednotlivé návrhy z hlediska zásobení pracoviště. Tyto návrhy se od sebe liší počtem doplnění robotické buňky za jednu směnu. Rozdělením návrhů vznikly tři varianty zobrazeny na Obr. 31.

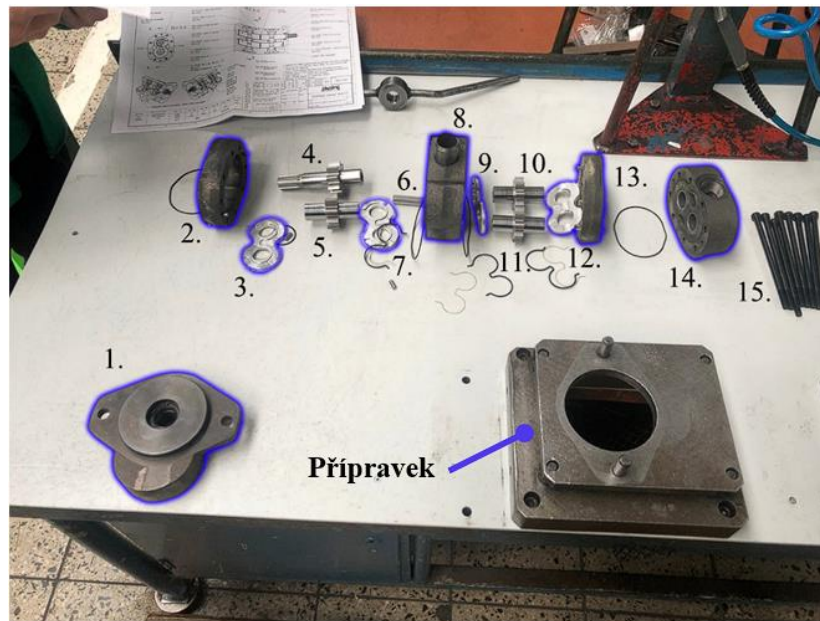


Obr. 31 - Rozdělení variant dle zásobení

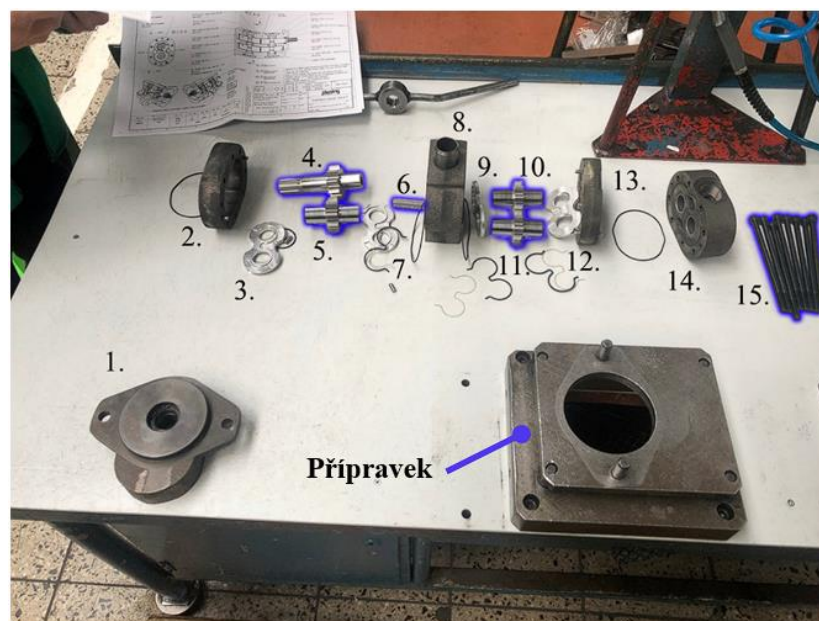
Pro jednotlivé návrhy variant robotické montáže byly stanoveny shodné prvky, které jsou vypsaný do jednotlivých kategorií:

- Předmontáž: Lidský pracovník má na starost veškerou činnost předmontáže.
- Doprava dílů k robotickému rameni: Dopravení dílců je zajištěno pomocí dopravníků (vybaveny světelnými závorami a drážkami) a paletků.
- Vyskladnění dílců: Vyskladnění dílců na dopravníky je prováděno ručně.
- Kontrola a hledání dílů: Průběžná kontrola a hledání dílů na dopravnících je uskutečněna pomocí kamerového systému a dotykové sondy.
- Montáž: Pro činnost montáže je robot vybaven uchopovacím systémem a nástrojem na šroubování šroubů (nástroj má uvedený přesný moment utáhnutí). Celý postup montáže je shodný pro všechny varianty.

Na Obr. 32 jsou zvýrazněny díly, které budou dodávány k robotovi po pásech a na Obr. 33, lze vidět zvýrazněnou část dílů dodávanou na paletkách. Jak je výše zmíněno celý postup montáže je shodný, proto číslování na obou obrázcích Obr. 32 a Obr. 33 znázorňuje postupně brané díly od 1 do 15.



Obr. 32 - Díly dodávané po pásech



Obr. 33 - Díly dodávané na paletkách

6.2.1 Varianta 1

Ve variantě 1 se před montáží vychystají pásy a připraví se všechny paletky s dílci. Počet kusů na pásech i paletkách musí vystačit na zásobování pracoviště na celou směnu. Výpočet: celková doba směny dělená časem montáže jednoho čerpadla (výsledek časové analýzy), stanovil počet 70 smontovaných čerpadel za jednu směnu (neuvažuje se nekvalita výroby). Po zjištění počtu smontovaných čerpadel bylo dopočítáno množství jednotlivých dílců. Při využití současných paletek, které unesou 25 kusů ozubených kol, je jich potřeba na celou směnu připravit 15.

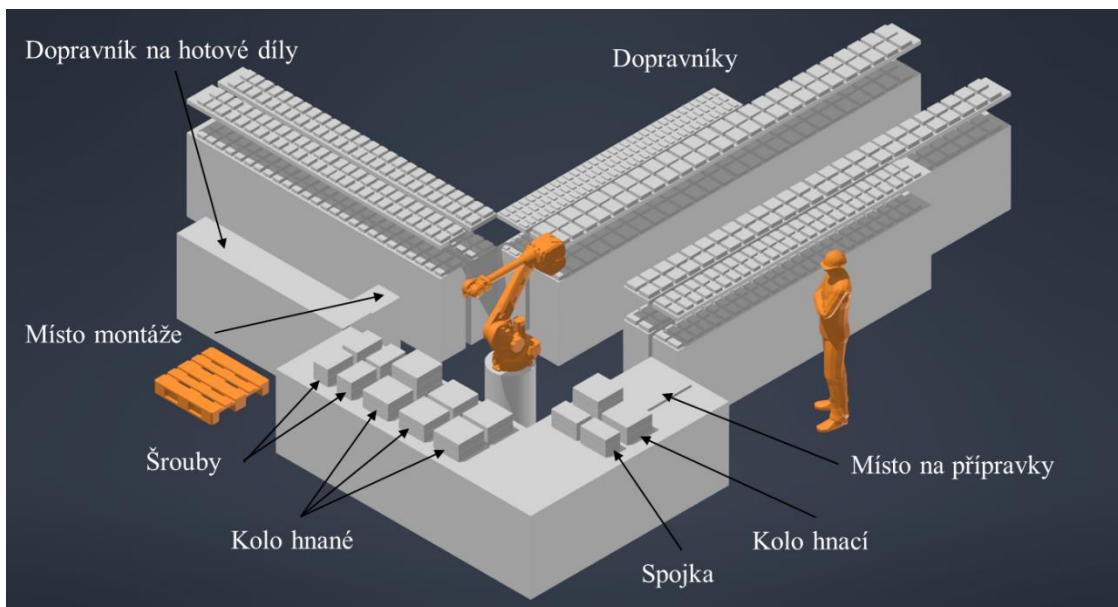
Provedení varianty 1 bylo rozděleno na dvě iterace, jež se od sebe liší v šířce využitých dopravníků. Rozdělení bylo vytvořeno, aby modelová firma měla co nejvíce možných variant, ze kterých je schopna si následně vybrat. Na základě výpočtů a získaných informací byly vytvořeny tabulky, ze kterých jsou vytvořeny modely robotické buňky. Jelikož varianta 1 zabírá nejvíce prostoru svými dopravníky, byly iterace vytvořeny pouze u této varianty. U ostatních variant bylo vytvoření iterací, vyhodnoceno za nadbytečné. Popis jednotlivých iterací:

Iterace 1

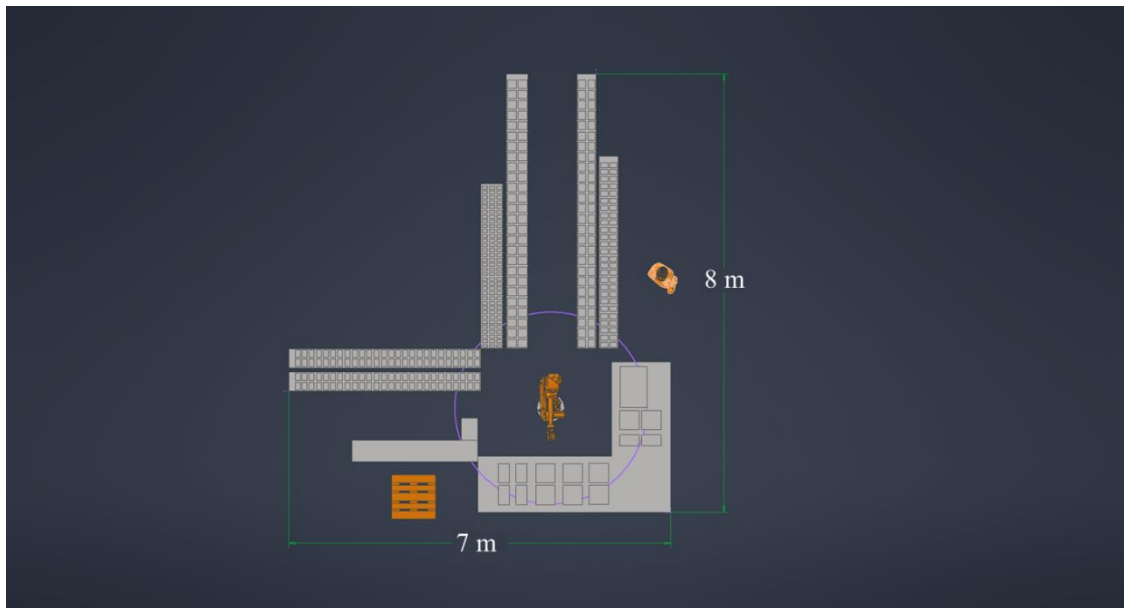
Iterace využívá dlouhých a úzkých dopravníků. Z vytvořené tabulky odhadující jejich délku a šířku, byl zhotoven odhad na rozlohu pracoviště 7x8 metrů. Výhodou Iterace 1 jsou úzké dopravníky, které na šířku nezabírají příliš místa, nevýhodou je celková rozloha pracoviště. Šetřením šířky dopravníku se zároveň šetří volný prostor v blízkosti robota. Na Obr. 34 a Obr. 35 jsou zobrazeny vytvořené modely robotické buňky. Na Obr. 35 lze vidět zakótovanou rozlohu buňky (pro vytvoření měřítka byl zakomponován model palety a pracovníka).

Iterace 2

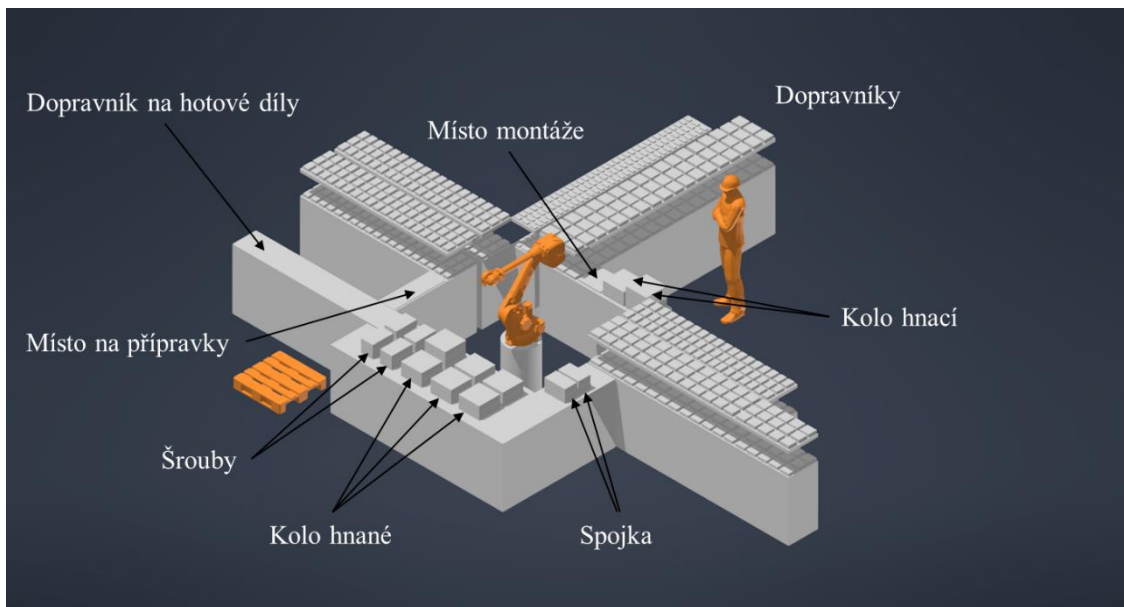
Iterace využívá krátkých a širokých dopravníků. Na úkor úzkosti dopravníků se snižuje délka pracoviště. Po vytvoření tabulky, byla odečtena hodnota rozlohy pracoviště 8,3x6,4 metrů. Důsledek širších dopravníků je složitější rozložení robotické buňky. V tomto případě dopravníky zmenšují volný prostor v blízkosti robota. Obr. 36 a Obr. 37 zobrazuje vytvořené modely robotické buňky a její rozlohu.



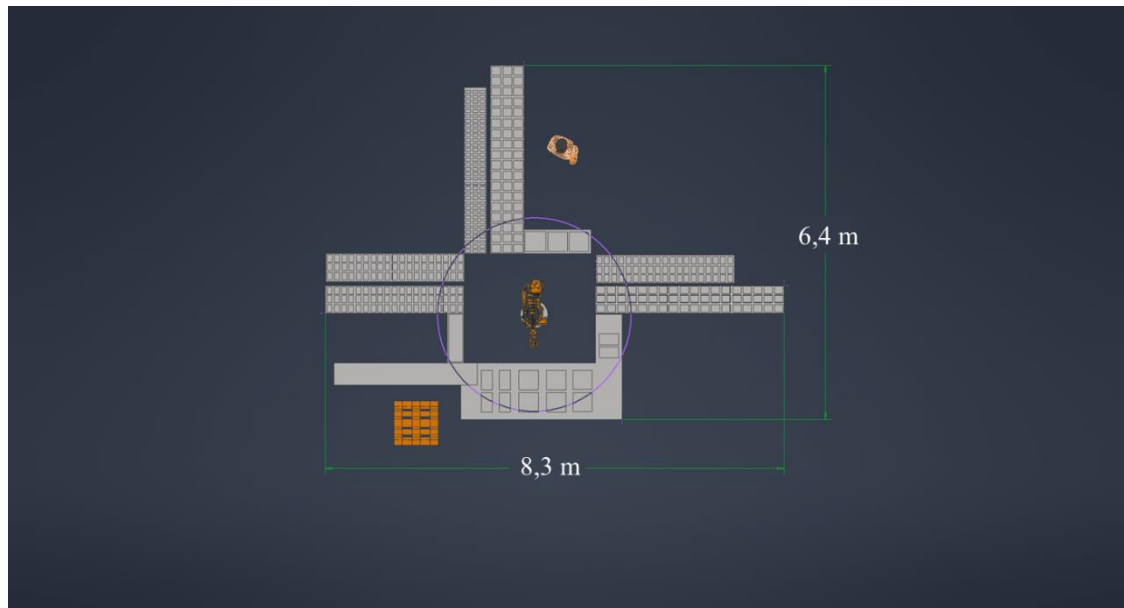
Obr. 34 - Varianta 1 – Iterace 1 – Hrubý návrh pracoviště



Obr. 35 - Varianta 1 – Iterace 1 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora



Obr. 36 - Varianta 1 – Iterace 2 – Hrubý návrh pracoviště



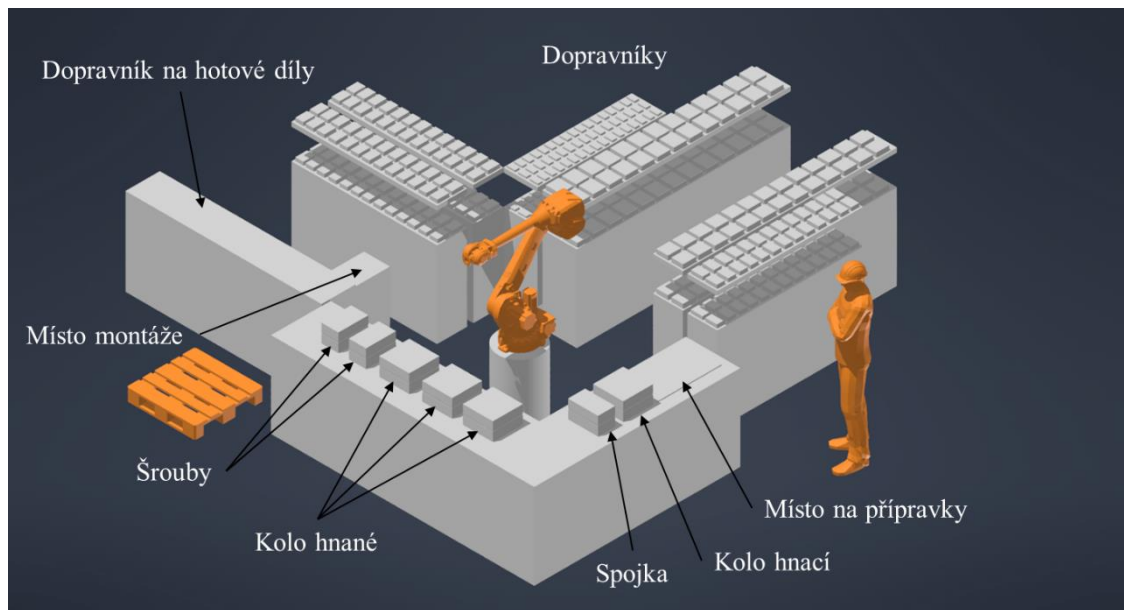
Obr. 37 - Varianta 1 – Iterace 2 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora

Výhodou varianty 1 je bezobslužný provoz po celou dobu směny, potom co je robotické pracoviště na začátku vychystáno. Díky této vlastnosti je tato varianta velmi výhodná z pohledu času pracovníka. Pracovník po vychystání může připravovat díly v předmontáži, či být předělen na jinou činnost. Jelikož je pracoviště bezobslužné, je potřeba vychystání velkého množství dílců, proto výsledné pracoviště zabírá značnou část prostoru. Kvůli velkému množství dílců je potřeba investovat do systému dopravníků, proto je základní investice vyšší než u ostatních variant.

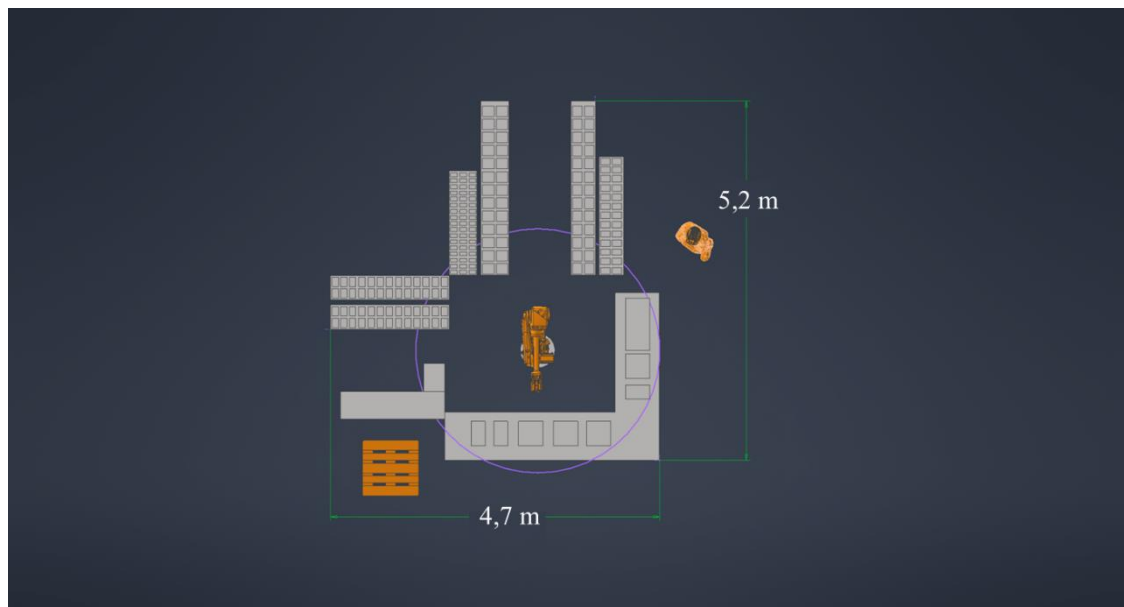
6.2.2 Varianta 2

Robotická buňka ve variantě 2 je na začátku směny vychystána všemi dílci na pásech a paletkách stejným způsobem, jako u varianty 1. Počet vychystaných dílců vystačí na montáž čerpadel do poloviny směny, kdy následně pracovník doplní všechny dopravníky a paletky. Doplnění dílců musí pracovník uskutečnit před kompletním vyčerpáním vychystaných dílců na začátku směny, aby nenastalo zdržení robota. Pracovník využívá duality dopravníků pro vychystání za chodu, které je popsáno v kapitole 6.3. Jelikož je varianta 2 doplňována 2krát za směnu, není potřeba takové délky dopravníků a vysokého počtu paletek. Po stejném vypočtu, jako u varianty 1 byla zjištěna potřeba 8 paletek na jedno vychystání. Počet zhotovených čerpadel zůstává stejný, pouze v této variantě dochází k doplnění po složení 35. čerpadla.

Z vytvořené tabulky odhadu délky a šířky potřebných dopravníků, byla vyhodnocena velikost pracoviště 4,7x5,2 metrů. Výhody ostatních variant jsou sloučeny do této jedné varianty pomocí využití krátkých a úzkých dopravníků. Obr. 38 zobrazuje model hrubého návrhu varianty 2. Na dalším Obr. 39 lze vidět zastavěnou plochu pracovištěm.



Obr. 38 - Varianta 2 – Hrubý návrh pracoviště



Obr. 39 – Varianta 2 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora

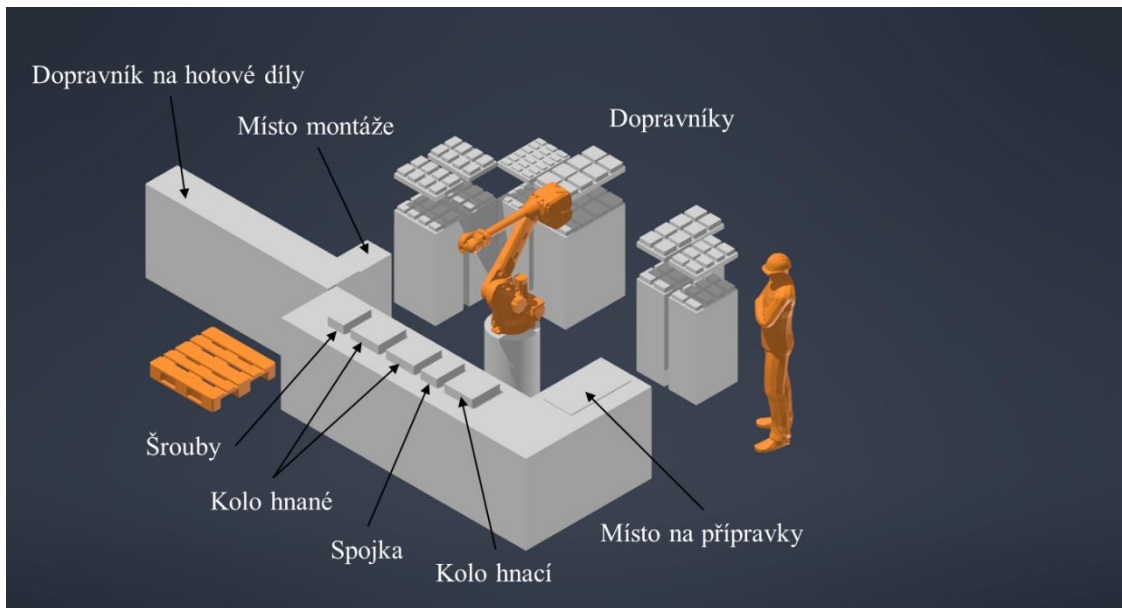
Z důvodu vychystávání menšího počtu dílců je výhodou této varianty kompaktnost výsledného pracoviště. Už při jednom doplnění v průběhu směny se pracoviště markantně zmenší. Jelikož je pracoviště menší než u varianty 1, je zde i menší počáteční investice než u varianty 1. Nevýhodou varianty 2 je nutnost přesného doplnění dopravníků a paletek.

6.2.3 Varianta 3

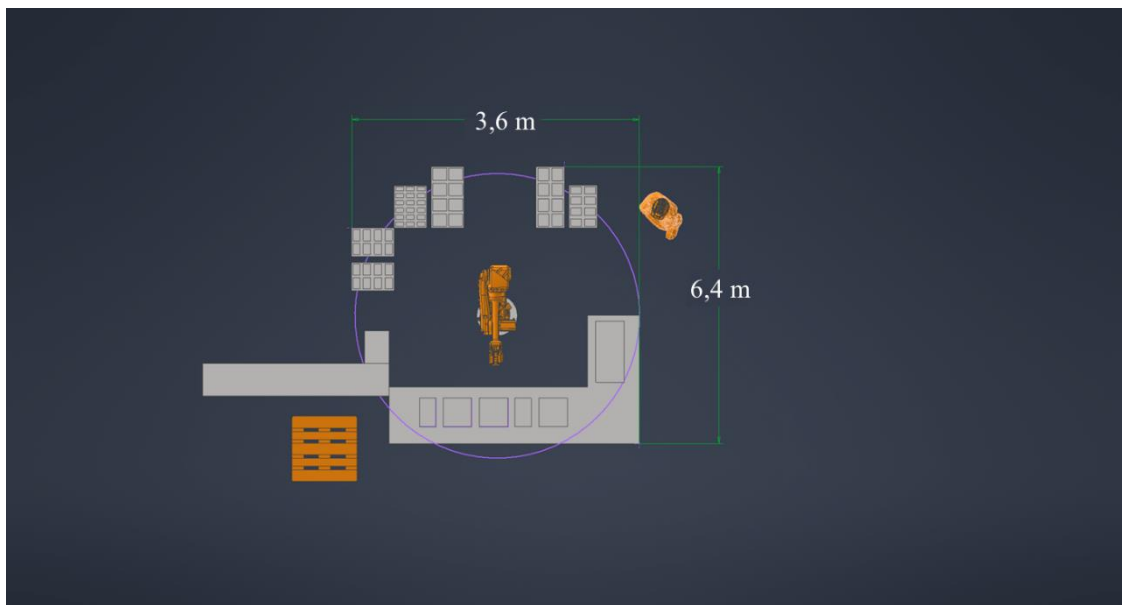
Pracoviště v této variantě je doplňováno každou hodinu čili 8krát za směnu. Tímto způsobem je potřeba každou hodinu připravit 4 paletky a vychystat celou délku dopravníků. Za celou směnu zůstává počet složených čerpadel stejný, ale doplnění dílců probíhá po 13. smontovaném

čerpadle. Z důvodu krátkých dopravníků je tato varianta nejlehčí na realizaci ze všech zmíněných variant.

Kompaktnost pracoviště byla určena z tabulky odhadu délky a šířky dopravníků, kde výsledná velikost pracoviště činila 3,6x6,4 metrů. Kompaktnost pracoviště je v této variantě na úkor bezobslužnosti. Hrubé modely pracoviště jsou zobrazeny na Obr. 40 a Obr. 41. Obr. 40 zobrazuje i kóty velikosti pracoviště.



Obr. 40 - Varianta 3 – Hrubý návrh pracoviště



Obr. 41 - Varianta 3 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora

Přínosy této varianty jsou její jednoduchost na implementaci, nejmenší potřebná investice, kompaktnost pracoviště a možnost využití pracovníka předmontáže pro vychystávání. Jelikož je

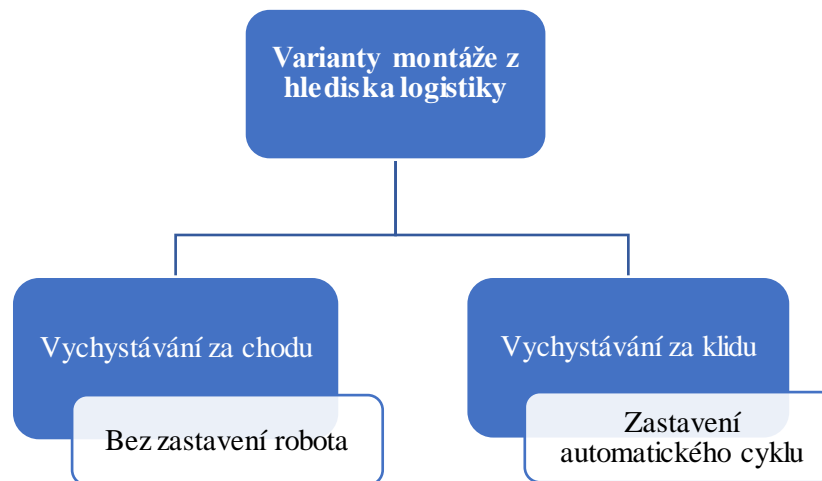
tato varianta nejkompaktnější a dokáže pojmout pouze malé množství vychystaných dílců, je nutná častá obsluha. Tato varianta téměř neuvolňuje pracovníka od práce.

6.2.4 Porovnání variant

Hlavní rozdíl je ve velikosti pracoviště, které u první varianty je příliš velké, ale výhodné z hlediska volného pohybu pracovníka. Oproti ostatním variantám je varianta 1 velmi prostorově náročná. Druhou variantu lze hodnotit za ideální kompromis, mezi velikostí a časového využití pracovníka. Tato varianta se jeví za vhodnou pro pokročilou analýzu robotizace pracoviště. Velikost základní investice klesá od varianty 1 po variantu 3.

6.3 Z hlediska logistiky

Návrhy variant robotické montáže z hlediska zásobení pracoviště byly následně rozděleny podle typu vychystávání pracoviště. Jednotlivé návrhy se od sebe liší podle aktivity robota v době doplňování. Jejich rozdělení je zobrazeno na Obr. 42. Rozdělením vychystávání lze určit, jestli v průběhu doplňování nastávají časové prodlevy v procesu montáže. Následně se tato kapitola zabývá popisem způsobu vychystávání za chodu, pomocí využití duality dopravníků.



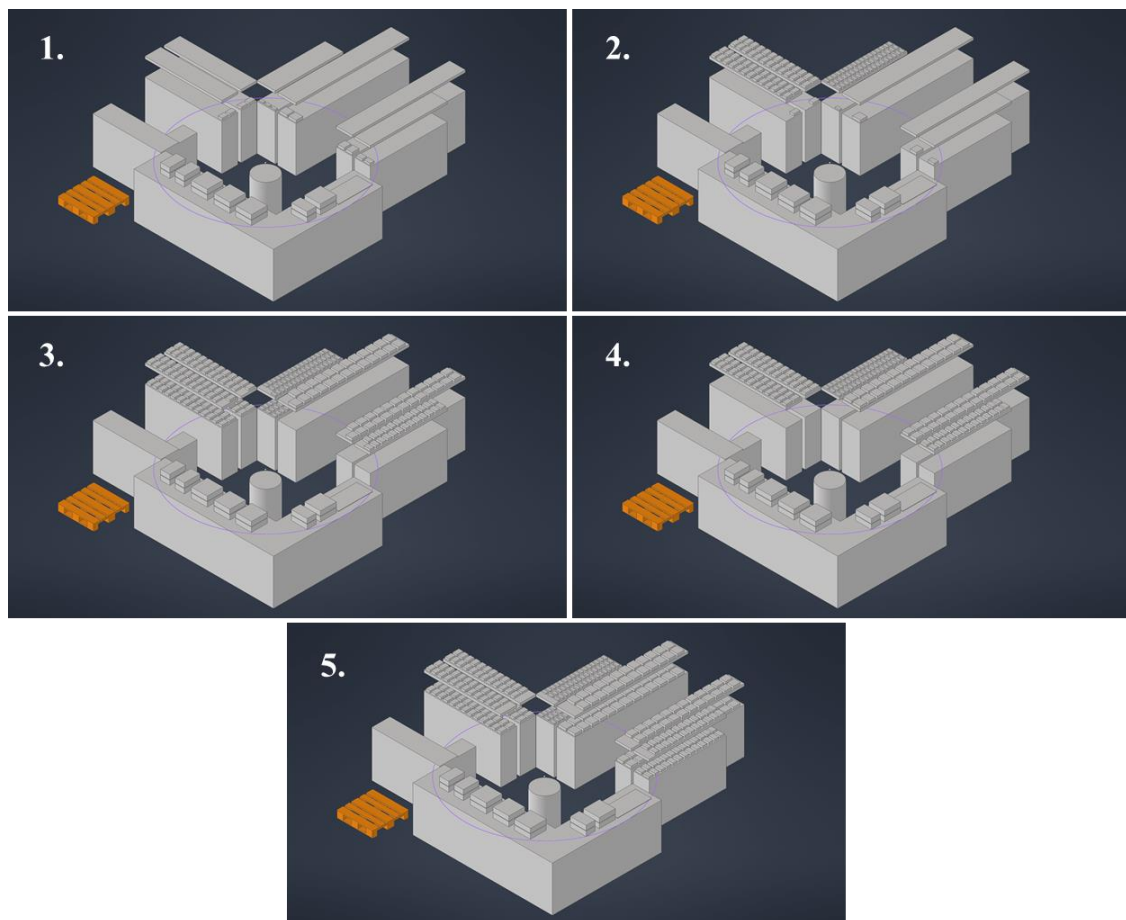
Obr. 42 - Rozdělení variant dle logistiky

6.3.1 Vychystávání za chodu

Při variantě vychystávání za chodu nedochází k zastavení robota v momentu doplňování. Firma i tým zhotovující analýzu z tohoto důvodu hodnotila danou variantu, jako vhodnou pro výsledné řešení robotického pracoviště. Díky nepřerušení procesu montáže lze touto variantou docílit vyšší produktivity celého procesu. Pro její realizaci je ale nutné zajistit následující požadavky:

- Just in time logistika: Jednotlivé dílce musí být připraveny na vychystávání v daný okamžik, proto je nutné správné načasování celé výroby, aby robot měl v přesný moment potřebné dílce.

- Dualitu dopravníků: Doprava každého dílce musí být pomocí dvou nezávislých dopravníků (mimo dílce dopravované na paletkách). Využití duality dopravníků závisí na zdvojených dopravníků, které jsou nad sebou či vedle sebe. V momentě, kdy se dopravník 1 vyprázdní a v dopravníku 2 zbývají poslední díly, pracovník vychystá dopravník 1 – tuto operaci udělá u všech dopravníků 1. Když robot odebere poslední díly z dopravníku 2, začne pracovník vychystávat všechny dopravníky 2. Tímto způsobem lze docílit velmi efektivní metody doplňování, nicméně je tato metoda investičně, ale i procesně náročná (řízení logistiky pracoviště a vychystávání). Pro znázornění je využití duality dopravníků modelově zobrazeno na Obr. 43.



Obr. 43 - Vychystávání pomocí duality dopravníků

6.3.2 Vychystávání za klidu

Varianta vychystávání za klidu využívá zastavení automatického cyklu. V momentu doplňování je robot zastaven do doby, dokud se celé pracoviště nevychystá. Tento způsob snižuje produktivitu pracoviště, tudíž celého procesu montáže. Z důvodu čekání robota na vychystání dílců byla tato varianta vyhodnocena za nevyhovující.

6.4 Méně vhodné varianty

Varianty, které byly vyhodnoceny jako méně vhodné jsou: varianta pouze s dopravníky a varianta pouze paletek. Varianta pouze s dopravníky byla vyhodnocena za nevhodnou z důvodu příliš velké finální velikosti pracoviště. S vysokým počtem dopravníků se omezuje místo na pohyb robota. Tato varianta nevyužívá již používaných stohovatelných paletok. Varianta využívající pouze paletky je nevhodná z důvodu častého doplňování dílců a nutnosti složitého vyskládání (vyskládání dílců z beden do paletok a tyto paletky následně vychystávat na pracoviště).

6.5 Simulace pracoviště

Na základě získaných znalostí z analýzy současného stavu montáže a výsledků z návrhů variant robotické montáže byly vytvořeny modelové pracoviště, které byly následně simulovány v příslušných programech. Simulace byly prováděny ve sledovaných odvětvích: robotizace a ergonomie pracoviště. V rámci simulace robotizace byly zjišťovány výsledné časy montáže, která byla zhotovována pomocí robotického ramene. Pro simulaci robotizace byl využit program Robotstudio ABB. Simulace ergonomie byla provedena z důvodu analýzy, zda je nové robotické pracoviště ergonomicky vyhovující a zda se eliminovaly zdraví nebezpečné pohyby, které se vyskytovaly v procesu současné montáže. Vyhodnocení ergonomie bylo prováděno v programu Tecnomatix Jack.

6.5.1 Robotizace

Jak již bylo zmíněno simulace robotizace byla provedena v programu Robotstudio od společnosti ABB. Do programu byl nahrán a upraven model pracoviště z varianty 2, který je popisován v kapitole 6.2. Následně byly v programu hrubě vymodelovány jednotlivé předměty montáže, jež byly umístěny na dopravníky a paletky. Pomocí grafického programování byly vytvořeny pohyby robota a odsimulován celý proces montáže, od umístění prvního předmětu do přípravku po zašroubování čerpadla. Simulací byl ověřen dosah a doba cyklu montáže čerpadla.

Tato kapitola začíná stanovením výchozích parametrů a kritérií. Následuje rozdělení jednotlivých variant simulací, které se liší v nastavení těchto parametrů. Součástí této kapitoly jsou výsledky získané ze simulačního programu a jejich porovnání. Po vyhodnocení výsledků byla určena proveditelnost robotického pracoviště.

Výchozí parametry

V rámci analýzy montážního procesu a návrhů variant robotického pracoviště byly stanoveny výchozí parametry pro simulaci robotické montáže. Stanovení parametrů slouží k zajištění jasného cíle a vymezení podmínek pro simulaci. Cílem simulace bylo zjištění časové náročnosti

a zda se vůbec z hlediska produktivity robotického pracoviště vyplatí. Do parametrů simulace robotického pracoviště patří:

- **Výchozí časové parametry montáže:** Celkový čas montáže byl stanoven na 6,75 minut. Z tohoto času zaber činnost montáže 5,4 minuty, na tento čas se odkazují výsledné simulace (porovnávající čas). Čas předmontáže 1,3 minuty nebyl do výsledného času simulace zahrnut, jelikož je tato část montáže stále potřeba zajistit pracovníkem.
- **Činnosti předmontáže:** Jednotlivé operace předmontáže jsou zajišťovány pracovníkem. V robotickém pracovišti je navíc do činnosti předmontáže zahrnuto vychystávání dílců pro robota.

Porovnávací kritéria

Pro výsledné porovnání a rozdělení jednotlivých simulací procesu, byly vytvořeny porovnávací kritéria. Tyto kritéria určovala jednotlivé návrhy simulací a následně podle nich byla vyhodnocena časová náročnost simulace. Mezi porovnávací kritéria patří:

- **Rychlost na přejezdech:** Nastavená rychlost robota v osách na přejezdech (V1000 – 1000 mm/s). Ovlivňující parametry jsou: konstrukce robota a drah.
- **Doba hledání dílců:** Rychlost, jakou robot najde připravené díly na dopravnících. Ovlivňující parametry jsou: kvalita programu a kamerového systému.
- **Čas montáže dílců:** Doba, za kterou pomocí silového snímače dokáže robot montovat jednotlivé díly. Ovlivňující parametry jsou: funkce silového snímače a kvality přípravků.
- **Čas montáže ozubených kol:** Doba, za kterou pomocí silového snímače robot natočí a přesně vloží ozubená kola. Ovlivňující parametry jsou: funkce silového snímače a kvality přípravků.
- **Čas montáže šroubů:** Časové kritérium, za jak dlouho robot utáhne na správný moment finální montáž šroubů.
- **Rozvržení pracoviště:** Optimalizace rozvržení pracoviště.

Varianty simulací

Pomocí změn kritérií byly navrženy tři varianty simulace časové náročnosti montáže. Jednotlivé varianty se liší zejména ve zrychlení pohybu přejezdů, optimalizací rozvržení pracoviště a rychlostí kamerového systému/snímače síly. Všechny varianty simulace jsou založeny na návrhu pracoviště, které montuje 70 čerpadel za směnu a je zásobováno 2krát za směnu. Na Obr. 44 je zobrazeno rozdělení variant podle výsledného času montáže, od nejdelší pesimistické varianty, po nejkratší ideální variantu.



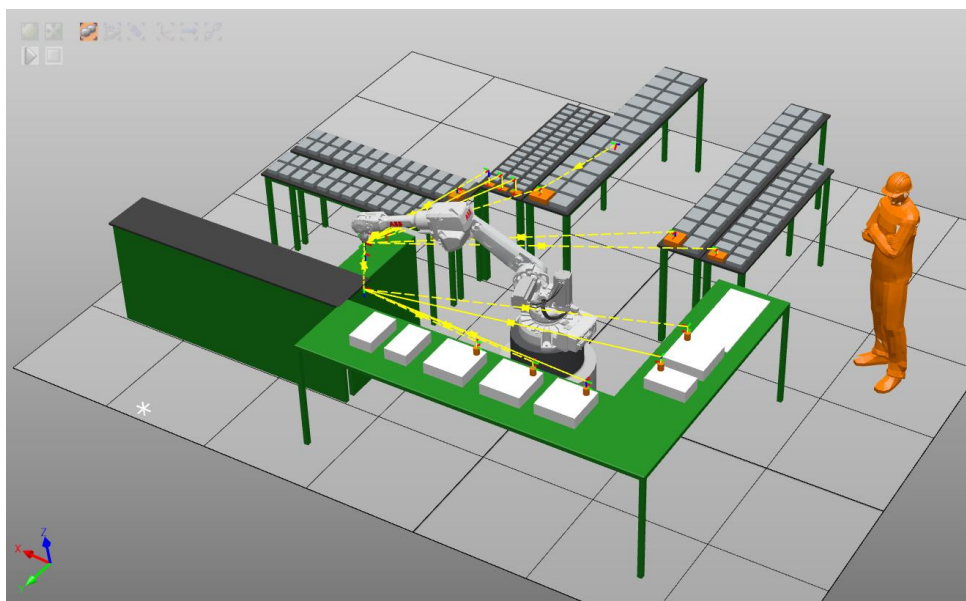
Obr. 44 - Rozdělení variant robotické simulace

Pesimistická varianta

První simulovaná varianta byla nastavena na nejpomalejší přejezdy, hledání a montáž. Přesné hodnoty jednotlivých kritérií simulace jsou vypsané v Tab. 13. Výsledný čas montážního cyklu byl o 4,158 minut pomalejší než současný čas montáže. Jelikož by tato varianta v reálné implementaci byla nejspíše rychlejší, byla vyhodnocena za variantu pesimistickou. Důvod simulace této varianty bylo vyhodnocení doby cyklu, při nastavení nejhorších kritérií. Na Obr. 45 je zobrazena simulace pesimistické varianty.

Tab. 13 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace pesimistické varianty

Pesimistická varianta	
Kritéria	Rychlost/Čas [s]
Rychlost na přejezdech	V1000
Hledání dílů	3
Montáž dílů	15
Montáž koleček	22,5
Montáž šroubů	7,5
CELKOVÝ ČAS MONTÁŽE	577,5 s - 9,625 min
Rozdíl od současného času montáže	249,45 s - 4,158 min



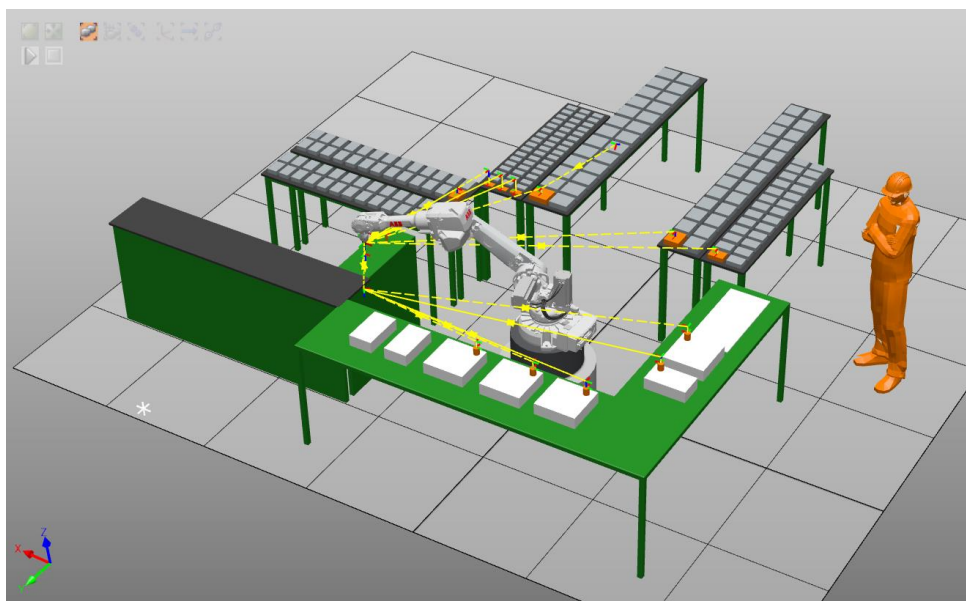
Obr. 45 - Ukázka simulace pesimistické varianty

Zrychlená varianta

Zrychlená varianta se od pesimistické varianty liší ve zrychlení všech kritérií, až na dobu montáže šroubů. Při použití podavače šroubů je montáž šroubů složitá na zrychlení, proto je toto kritérium zmenšeno pouze u ideální varianty. Rozvržení pracoviště (zobrazeno na Obr. 46) je stejné, jako u pesimistické varianty. Vyhodnocením z Tab. 14 je zrychlená varianta o 1,458 minuty pomalejší než současný stav montáže. Při doplňování pracoviště pouze 2krát za směnu, je tento čas robotické montáže vyhodnocen za vyhovující.

Tab. 14 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace zrychlené varianty

Zrychlená varianta	
Kritéria	Rychlost/Čas [s]
Rychlost na přejezdech	V1500
Hledání dílů	1,5
Montáž dílů	7,5
Montáž koleček	15
Montáž šroubů	7,5
CELKOVÝ ČAS MONTÁŽE	415,5 s - 6,925 min
Rozdíl od současného času montáže	87,45 s - 1,458 min



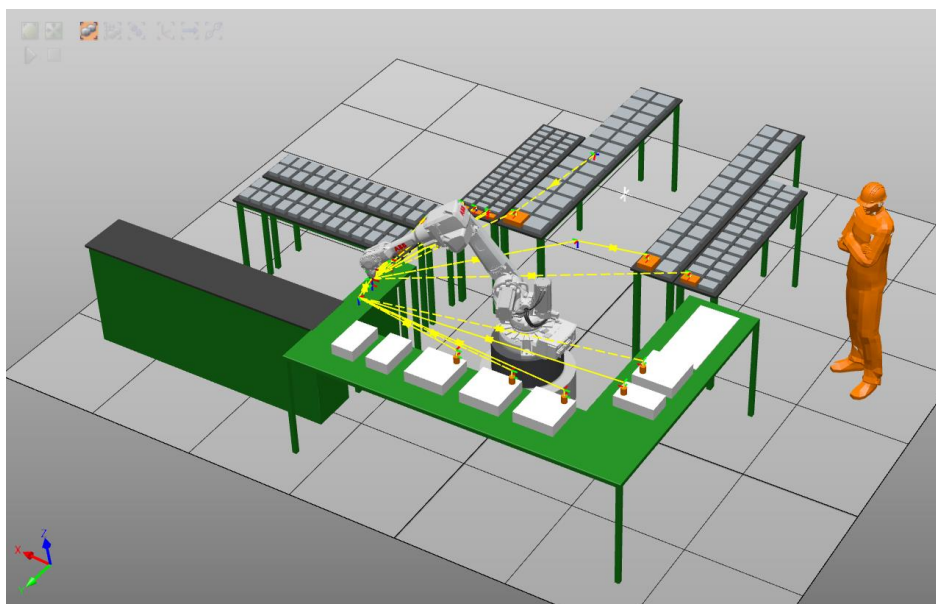
Obr. 46 - Ukázka simulace zrychlené varianty

Ideální varianta

Optimalizací rozvržení pracoviště, zrychlením přejezdů, montáže a hledání, byla vytvořena ideální varianta. Výsledný čas ideální varianty, vyhodnocený z Tab. 15, byl rychlejší než současný čas montáže o 1,218 minuty. Tento čas by byl pravděpodobně v reálném provozu pomalejší, ale pomocí rozsáhlé optimalizace pohybů a rozložení pracoviště a určení pozice dílců, by se robotická montáž k této hodnotě dokázala přiblížit.

Tab. 15 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace ideální varianty

Ideální varianta	
Kritéria	Rychlost/Čas [s]
Rychlost na přejezdech	V3000
Hledání dílů	1,5
Montáž dílů	3,75
Montáž koleček	7,5
Montáž šroubů	6
CELKOVÝ ČAS MONTÁŽE	255 s - 4,25 min
Rozdíl od současného času montáže	73,05 s - 1,218 min






Obr. 47 - Ukázka simulace ideální varianty

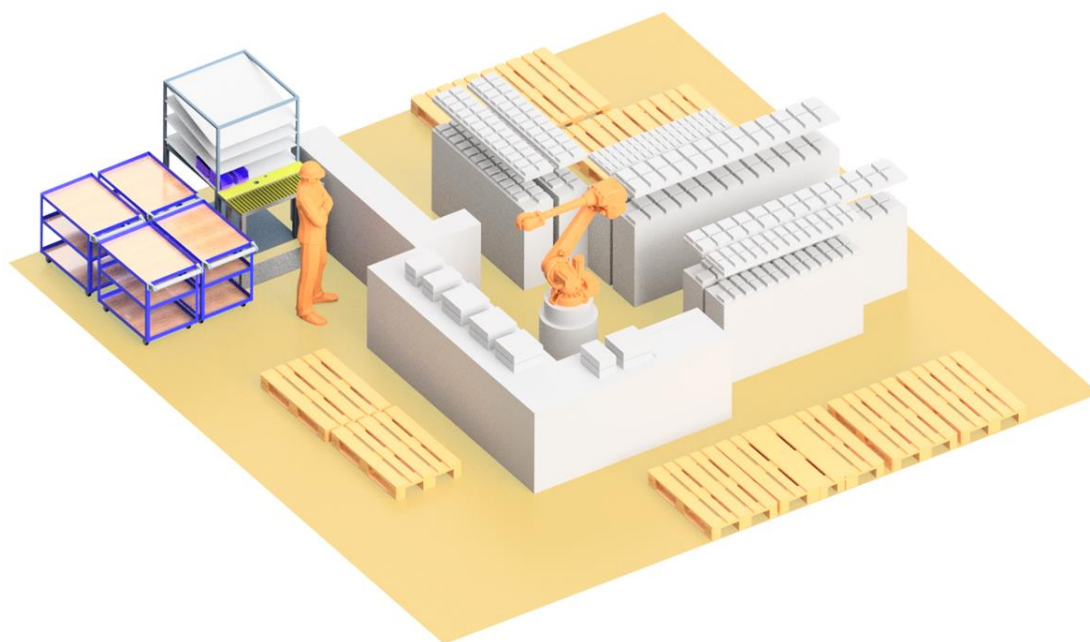
6.5.2 Ergonomie

Tato část analýzy probíhala stejným způsobem, jako analýza původního pracoviště. Stejným způsobem se vybralo několik nejnáročnějších poloh a ty byly porovnávány s nařízením vlády č. 361/2007 Sb. Výsledkem je i stejná tabulka, která následně slouží k jednoduchému porovnání výsledků. Výsledky simulace optimalizovaného pracoviště jsou zobrazeny v Tab. 16 [39]

Tab. 16 - Výsledky statické analýzy – optimalizovaného pracoviště (vybrané polohy)

Číslo polohy	1	2	3
	Předpažení 42°	Pronace PHK 33°	Rotace zápěstí 21°
Simulace NV č. 361/2007 Sb.			

Pro simulaci byl využit model optimalizovaného pracoviště z varianty 2 a doplněn o místo pro předmontáž přímo v blízkosti robotické buňky. Místo pro předmontáž by bylo vybaveno ergonomickými prvky, jako jsou regály se spádovými drahami a ergonomicky přizpůsobené držáky. Výsledné pracoviště zobrazené na Obr. 48, eliminuje náročné pohyby při montáži a ulehčuje pohyby v činnosti předmontáže.



Obr. 48 - Vizualizace pracoviště s předmontáží

7 Vyhodnocení návrhu pracoviště

Poslední kapitola bakalářské práce vyhodnocuje návrhy optimalizace montážního pracoviště. V návaznosti na provedené činnosti, do kterých patří: analýza práce a snímek pracovního dne, stanovení kritických míst montáže, přesná robotická montáž a její ověření, hrubý návrh robotizace pracoviště s ohledem na zásobení pracoviště, montážní časy a investiční náklady, byly vyhodnoceny jednotlivé návrhy montážního robotického pracoviště. Vyhodnocení se rozdělilo do tří kritérií podle kterých byly návrhy vyhodnocovány. Mezi tato kritéria patří vyhodnocení podle technologických parametrů (rozvržení pracoviště, použité nástroje, výsledné časy). Jako další kritérium vyhodnocení bylo určeno ergonomické vyhodnocení (eliminace náročných pohybů, ulehčení repetitivní práce). Poslední vyhodnocení probíhalo v závislosti na ekonomické náročnosti jednotlivých variant (položkový rozpočet, velikost počáteční investice). Konečný text této bakalářské práce popisuje možné problémy při realizaci robotizace pracoviště.

7.1 Technologické

V rámci technologického vyhodnocení návrhů byla hlavně řešena proveditelnost montáže a zhotovení vhodné varianty pro optimalizaci. Vyhodnocení technologické stránky probíhalo pouze pro přístup optimalizace pomocí robotizace pracoviště. Ze začátku jsou určeny podmínky proveditelnosti montáže, následně je popsáno zhodnocení variability výroby. Po vyhodnocení vhodné varianty výroby podle variability montáže byly zhodnoceny varianty optimalizace pracoviště. Vyhodnocení vhodné varianty pracoviště je rozděleno do skupin podle řešeného hlediska, do skupiny optimalizace z hlediska zásobení a skupiny optimalizace z hlediska logistiky. Výsledná varianta splňuje všechny požadavky firmy a vychází z provedené analýzy a simulace robotického pracoviště.

Zhodnocení podmínek proveditelnosti robotizace montáže

Robotizace montáže bude proveditelná v rámci předložených hrubých návrhů, ovšem pouze za splnění a dodržení následujících podmínek.

- Vývoj stabilní fixace příložky a těsnění v přítlačné desce, aby při robotické manipulaci nedošlo k uvolnění
- Nutnost ruční předmontáže o-kroužků, těsnění a příložek
- Možnost automatizace přípravy nátrubků a guffer
- Stabilizace kvality výroby před montáží
- Organizace montáže a plánování výroby / montáže

Zhodnocení variability montážního pracoviště

Za vhodnou variantu ohledně variability montáže byla vyhodnocena varianta montování více druhů čerpadel, z důvodu schopnosti montáže rozdílných typů čerpadel. Omezujícím parametrem variability je ale podobnost montovaných čerpadel. Čerpadla musí být podobná hmotností / velikostí (5-20 kg) a počtem potřebných dílců pro montáž. Tímto způsobem se dá docílit montování velkého množství podobných čerpadel a výroby čerpadel, u kterých byly změněny jejich parametry.

Zhodnocení návrhů robotické montáže z hlediska zásobení pracoviště

Varianta 2 byla vyhodnocena za nejvhodnější variantu, kvůli převýšení výhod (kompaktnější pracoviště, přijatelné náklady) nad nevýhodami (pracovník musí v přesný čas doplnit dopravníky). Tato varianta se jeví jako ideální kompromis mezi variantou 1 a 3.

Varianta 1 byla vyhodnocena za nedostačující, kvůli svému rozměru a vysoké počáteční investici. Varianta 3 byla vyhodnocena za nedostačující, kvůli nízké míře bezoslužnosti (nutná častá obsluha, neuvolnění pracovníka).

Zhodnocení návrhů robotické montáže z hlediska logistiky

Vychystávání robotického pracoviště za klidu bylo vyhodnoceno jako neideální řešení, tudíž se vychystání za chodu určilo jako dále řešená varianta. Vychystání za chodu má řadu výhod v plynulosti montáže a eliminaci prodlevových časů, kdy by robot stál a nemontoval. Požadavky vychystávání za chodu jsou: přesné načasování doplnění dílců a dualita dopravníků

Zhodnocení simulací robotického pracoviště

Z výsledků simulací lze uvažovat, že při správné optimalizaci pracoviště a vytaktování obsluhy se dá dosáhnout podobného, až lepšího času výsledné montáže. I při dosažení času montáže podobnému současnému stavu je robotizace velmi výhodná, z důvodu uvolnění pracovníka a konzistentní montáže bez žádných přestávek. S rostoucí optimalizací přípravků, kamerového systému a pohybů robota by se čas montáže mohl snížit, za stálého zvyšování produktivity.

Složení návrhů variant optimalizace

Jako finální vhodná optimalizace vzešla varianta, při které se vyrábí více druhů čerpadel, je 2krát za směnu doplňována pracovníkem, který řeší pouze činnost předmontáže a zmíněné doplňování. Doplňování této varianty by probíhalo za chodu robotické buňky a vyhovovalo by všem podmínkám proveditelnosti robotizace montáže. Tato varianta využívá všech výhod zmíněných variant a jeví se jako ideální pro implementaci do modelové firmy.

7.2 Ergonomické

Tato podkapitola se zaměřuje na ohodnocení navržené metody optimalizace z hlediska ergonomie. Současný stav výroby je velmi neefektivní, pracovník je nucen do nezdravých poloh, které mohou způsobit zkrácení doby schopnosti manuální práce tohoto typu. Navržením vhodnějšího pracoviště a robotizací se tyto problémy mohou téměř všechny eliminovat.

Robot by pracovníkovi ulehčil hlavní repetitivní práci montáže. Stále by se musel robotovi dodávat materiál, ale z ergonomického hlediska by pracovník nedělal žádnou dlouhodobě nezdravou práci. Hlavní nezdravé pohyby otáčení a ohýbání by prováděl robot. Další výhodou robotizovaného pracoviště je odstranění rutinné práce zaměstnance a zpestření pracovní činnosti. Tato malá změna dokáže znovu motivovat zaměstnance a zvýšit jeho produktivitu. Robot nenahrazuje člověka jako takového, jen mu pomáhá snížením pracovní zátěže za současného navýšení produktivity pracoviště.

Z porovnání výsledků simulace současného stavu a stavu při robotické montáži je patrné snížení rizikových poloh a náročnosti pracovní činnosti. Robotizace pracoviště byla vyhodnocena jako optimalizace zlepšující ergonomickou situaci na pracovišti. V rámci analýzy ergonomie nebyla provedena simulace činností předmontáže, pro předimplementační analýzu je nutné tuto simulaci zajistit, zároveň s ověřením ergonomie implementované varianty, jelikož vytvořené ověření ergonomické situace v této práci není součástí předimplementační analýzy.

7.3 Ekonomické

V ekonomickém vyhodnocení pracoviště jsou vypsány předkládané investiční náklady. Součástí této kapitoly je ukázka hrubého položkového rozpočtu. Položkový rozpočet zobrazený v Tab. 17 obsahuje odhad nákladů potřebných pro realizaci robotického pracoviště rozepsaný do jednotlivých položek. Zobrazený položkový rozpočet nepředstavuje předimplementační rozpočet. Ceny jednotlivých položek (utahovák na robota, přípravky, stůl, grippery a prsty) nebyly poptány u výrobců. Výsledná Tab. 17 nezahrnuje ceny kapacit zaměstnanců modelové firmy podílejících se na implementaci pracoviště, ani ostatní osobní vícenáklady implementátora.

Tab. 17 - Položkový rozpočet robotického pracoviště

Položkový rozpočet					
Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	Cena / MJ	Cena celkem
1.	Robotická buňka				
	Robotické rameno + Force sensor	ks	1	1 500 000 Kč	1 500 000 Kč
	Stůl	ks	2	125 000 Kč	250 000 Kč
	Přípravky	-	-	400 000 Kč	400 000 Kč
	Podavač šroubů + utahovák	ses.	1	800 000 Kč	800 000 Kč
	Grippery	ks	3	100 000 Kč	300 000 Kč
	Ohrada ramena	ses.	1	200 000 Kč	200 000 Kč
	Kamerový systém	ks	4	204 000 Kč	816 000 Kč
	Oživení pracoviště	-	-	300 000 Kč	300 000 Kč
	Robotická buňka výdaje				4 566 000 Kč
2.	Logistika				
	Dopravníky + příslušenství	m	45	80 000 Kč	3 600 000 Kč
	Vozíčky	ks	4	10 000 Kč	40 000 Kč
	Logistika výdaje				3 640 000 Kč
3.	Předmontáž				
	Stůl + příslušenství	ks	1	120 000 Kč	120 000 Kč
	Vozíčky	ks	2	15 000 Kč	30 000 Kč
	Ergonomické příslušenství	-	-	60 000 Kč	60 000 Kč
	Technologické vybavení	-	-	60 000 Kč	60 000 Kč
	Předmontáž výdaje				270 000 Kč
	Celkové výdaje				
	Robotická buňka výdaje				4 566 000 Kč
	Logistika výdaje				3 640 000 Kč
	Předmontáž výdaje				270 000 Kč
	Celkové výdaje				8 476 000 Kč

Výsledkem položkového rozpočtu robotického pracoviště jsou celkové náklady za robotizaci montáže. Tyto náklady dohromady tvoří částku 8 276 000 Kč.

Doba návratnosti

Pro dobu návratnosti byl vytvořen hrubý odhad, jelikož cílem této práce není implementační návrh, ale studie proveditelnosti a návrh možných variant robotizace. Hrubý odhad doby návratnosti byl vytvořen z hodnot počáteční investice, počtu kusů na rok, při ideální variantě robotizace (4,25 minut), ušetřeného času ve srovnání se současným stavem a zisku na jednom čerpadle. Investice do automatizace montážního pracoviště se společností velmi hrubým odhadem vrátí do necelých čtyř let. Tuto relativně dlouhou dobu návratnosti lze odůvodnit zabíháním pracoviště a nejasným typem skládaných čerpadel. Důležitým faktorem je i nedostatečné

množství lidské pracovní síly, tímto návrhem pracoviště lze tento problém eliminovat, tedy snížit potřebu lidského pracovníka.

Optimalizace robotického programu, zvýšení počtu sousedních robotických pracovišť, zavedení noční směny, při které by bylo robotické pracoviště vychystáno, snížení počáteční investice (výhodnější cena, jiný prodejce), toto jsou jedny z mnoho možných variant zkrácení doby návratnosti investice.

7.4 Možné problémy při realizaci

Na základě zhotovené analýzy a poznatků z návrhů variant byly vypsány možné problémy při realizaci robotického pracoviště. Jednotlivé problémy jsou vypsány následovně:

- Těsnění a příložky: Nutný vývoj uchycení těsnění a příložek. Při robotické montáži nesmí dojít k vypadnutí.
- Průběžná kontrola: Smontované součásti musí být průběžně kontrolovány z důvodu detekce vadné montáže. Pro průběžnou montáž lze využít robota.
- Podavače: Robot musí dostávat dílce v podavačích.
- Vývoj: Potřeba vývoje a konstrukce nástrojů (gripperů) a přípravků
- Ergonomie předmontáže: Při realizaci je nutné ověřit ergonomii činností pracovníka předmontáže. V současné analýze byla vyhodnocena ergonomie pouze vychystávání dílců.
- Využití více robotů: Při použití jednoho robota by byla delší doba návratnosti. Použitím dalšího robota neznamena násobnou investici ani technické problémy.

8 Závěr

Zadáním této bakalářské práce byl návrh robotického pracoviště montáže zubových čerpadel pro modelovou firmu. Součástí návrhu bylo vytvořit analýzu proveditelnosti automatizace a robotizace montáže.

Úvod této bakalářské práce se zabývá problematikou projektování výrobních procesů. V rámci kapitoly byly popsány důležité operace spjaté s technologickým projektováním, jako je navržení výrobního procesu / systému, časová analýza výrobního procesu a využití simulací při projektování. Následně byla zpracována problematika montážní činnosti, ve které byly popsány jednotlivé prvky, činnosti a skupiny. Nejdůležitější část této kapitoly se zabývá automatizací a robotizací procesu montáže. V rámci rešerše robotizace jsou vypsány využívané typy průmyslových robotů a jejich vybavení. Dále se rešerše zaměřuje na angulární typ robotů a možnosti realizace přesné montáže. Konečná část rešerše se zabývá ergonomií pracoviště. Napřed je definována ergonomie jako věda a čím se zabývá. Poté se kapitola věnuje Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky při práci z hlediska zdraví. Závěr této části byl věnován prostředí pracoviště.

Kapitola, spadající pod praktickou část této bakalářské práce, se zabývala analýzou současného stavu montážního pracoviště. Současné pracoviště montáže zubových čerpadel bylo představeno fotografiemi a vypsáním jednotlivých parametrů, podle kterých současné pracoviště funguje.

Po zhotovení důkladné analýzy, která sledovala celý proces montáže a dobu jednotlivých úkonů, byly vytvořeny důležité výstupy pro návrhy optimalizace. Z výstupů provedené analýzy montáže bylo určeno základní rozdělení montáže, montážní sled dílců (kusovník), kritická místa pro automatizace a časová náročnost montáže. Vytvořené výstupy jsou dále využívány pro návrh robotického pracoviště v následující kapitole.

Další kapitola praktické části bakalářské práce se věnuje návrhu robotického pracoviště. Výstup této práce je popsán v této části, proto je tato kapitola velmi podstatná. Úvod do kapitoly je tvořen možnými přístupy k optimalizaci pracoviště a jejich popisem. Následně jsou určeny jednotlivé předpoklady pro produktivní robotické pracoviště, mezi které patří plánování, logistika a zásobení. Další část popisuje výchozí parametry, kterými se řídí všechny návrhy optimalizace. Následuje navržením jednotlivých variant, tyto varianty jsou navrhovány z hlediska variability výroby, zásobení pracoviště a logistiky pracoviště. Na základě doposud získaných informací byly vyhodnoceny méně vhodné varianty a vytvořeny simulace vhodných pracovišť. V rámci simulace byly zkoumány časy a ergonomie robotického pracoviště. Zkoumané jevy a vlastnosti vhodných variant byly využity v následující kapitole vyhodnocení.

Poslední kapitola bakalářské práce se zabývá vyhodnocením jednotlivých návrhů. V této kapitole je popsán nejvhodnější návrh robotického pracoviště z hlediska variability výroby, velikosti pracoviště a míry bezobslužnosti. Tento návrh je následně vyhodnocen i z hlediska ergonomie a základních investic pro realizaci. Na základě informací z předešlých kapitol se závěr této kapitoly věnuje možným problémům při realizaci tohoto pracoviště.

Jedním z výstupů bakalářské práce je potvrzení proveditelnosti robotizace a následný návrh robotického pracoviště montáže, který byl proanalyzován a optimalizován podle požadovaných parametrů modelové firmy. Vyhodnocení zvoleného návrhu optimalizace vypovídá o možnosti zvýšení produktivity montáže a zlepšení ergonomické situace na pracovišti. Výstupy této bakalářské práce přispějí k budoucí realizaci robotického pracoviště ve firmě. Současně s touto realizací budou jednotlivé poznatky, popsané v této práci, dále rozvíjeny.

Seznam literatury

- [1] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2.
- [2] Výrobní systém - Definice. In: *Katedra výrobních systémů a automatizace* [online]. Liberec: Katedra výrobních systémů, FS TUL, 2011 [cit. 2022-06-14]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/co-je-vyrobni-system>
- [3] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [4] ING. KYNCL, JIŘÍ, Ph.D. ČVUT. *Systém skladby času: Projektování výrobních procesů - Přednáška 10*. [online]. Praha: ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE, Ing. JIŘÍ KYNCL, Ph.D. [cit. 2022-06-20].
- [5] KLAESS, John. *Time Studies in the Connected Factory* [online]. TULIP, 2021 [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: <https://tulip.co/blog/ultimate-guide-to-time-studies-in-the-connected-factory/>
- [6] DOC. ING. NOVÁK, Josef, CSc. a Ing. Pavlína ŠLAMPOVÁ. *Racionalizace výroby*. Ostrava, 2007. Učební text. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [7] ING. RŮŽIČKA, Tomáš. *Výrobní systém a automatizace: Průmysl 4.0 & Vzdělávání* [online]. Průmyslové spektrum, 2005 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobni-system-a-automatizace>
- [8] ING. VOLF, Luděk, Libor ING. BERÁNEK a Petr ING. MIKEŠ. *POČÍTAČOVÁ SIMULACE VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ* [online]. Praha: Fakulta strojní, ČVUT v Praze [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16403/1/Volf.pdf>
- [9] ING. PAVELKA, Marcel, IEn. *Využití simulace v hodnocení výrobních procesů* [online]. Želevčice: API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o., 2015 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25790n-vyuziti-simulace-v-hodnoceni-vyrobnich-procesu>
- [10] *Tecnomatix* [online]. SIEMENS, 2022 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/#top>

- [11] *AnyLogic: Simulation modeling* [online]. The AnyLogic Company [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.anylogic.com/>
- [12] *APriori: Manufacturing Simulation* [online]. aPriori, 2022 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://www.apriori.com/>
- [13] *Nawo Solution: Ergonomics simulation software* [online]. Laval: HRV Simulation, 2022 [cit. 2022-07-05]. Dostupné z: <https://hrv-simulation.com/en/nawo-solution/>
- [14] BAUMRUK, Martin. *Tecnomatix Jack 7.0: Software pro ergonomii v praxi* [online]. SIEMENS - TECNOMATIX, 2010 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/Images/Tecnomatix_Jack_7_tcm841-117308.pdf
- [15] *Jack: human simulation tool* [online]. SIEMENS - TECNOMATIX, 2011 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/media/store/en_us/4917_tcm1023-4952_tcm29-1992.pdf
- [16] CONNOLLY, Christine. Technology and applications of ABB RobotStudio. *Industrial Robot: An International Journal*. 2009, **36**(6), 540-545. ISSN 0143-991X. Dostupné z: doi:10.1108/01439910910994605
- [17] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže: učební text*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [18] MECHANIZACE A AUTOMATIZACE: Fakulta strojního inženýrství - VUT. In: *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ* [online]. Brno [cit. 2022-06-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_ucebni_texty_rumisek.pdf
- [19] ING. ET ING. MGR. PETRŮ, Jana, Ph.D. *Týmová cvičení z předmětu montážní práce a automatizace montážních prací: Studijní opora „Montážní práce a automatizace montážních prací“* [online]. První. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011, <https://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2707-0.pdf>, 85 s. [cit. 2022-07-27]. ISBN 978-80-248-2707-0.

- [20] DOC. ING. HUMÁR, Anton CSc. TECHNOLOGIE MONTÁŽE. In: *Ústav strojírenské technologie - VUT FSI* [online]. Brno: Ústav strojírenské technologie [cit. 2022-06-15]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnMontaze.pdf>
- [21] LAPERRIÈRE, Luc a Gunther REINHART, ed. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014 [cit. 2022-06-16]. ISBN 978-3-642-20616-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-20617-7
- [22] *EU use robots* [online]. Eurostat, 2018 [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/product/-/asset_publisher/VWJkHuaYvLIN/content/DDN-20190121-1/pop_up
- [23] SMUTNÝ, Vladimír. *Robotika: Úvod do kinematiky* [online]. Praha: Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRC) [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/roblec/kinematika-notecz.pdf>
- [24] *Roboty a manipulátory* [online]. Kutná hora: VOŠ a SPŠ Kutná Hora [cit. 2022-06-17]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf
- [25] HOTAŘ, Vlastimil. *Průmyslové roboty a manipulatory: Automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019 [cit. 2022-06-17]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/AKR-2.p%20C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka-roboty%20a%20manipul%C3%A1tory.pdf>
- [26] KALNÝ, Roman. *Automatizované výrobní systémy*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN 80-010-1089-9.
- [27] World Robotics 2021: Press Conference World Robotics 2021. *International Federatopn of Robotics* [online]. 1-43 [cit. 2022-06-28]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf
- [28] HÄGELE, Martin, Klas NILSSON, J. Norberto PIRES a Rainer BISCHOFF. Industrial Robotics. In: *Springer Handbook of Robotics* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, s. 1385-1422 [cit. 2022-06-26]. ISBN 978-3-319-32550-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-32552-1_54

- [29] *Uchopovací systémy* [online]. SCHUNK GmbH & Co. KG, 2022 [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/
- [30] MA, Yanqin, Kai DU, Dongfeng ZHOU, Juan ZHANG, Xilong LIU a De XU. *Automatic precision robot assembly system with microscopic vision and force sensor* [online]. [cit. 2022-06-28]. Dostupné z: doi:10.1177/1729881419851619
- [31] CAGAŠ, Roman. MORAVSKÉ PŘÍSTROJE A. S. *Strojové vidění – několikúskalí návrhu systémů* [online]. Elektrotechnický magazín, 2013 [cit. 2022-06-28]. Dostupné z: <https://www.etm.cz/index.php/component/content/article/1014-strojove-vidni-nkolik-uskali-navrhu-system>
- [32] ING. HAVLÍČKOVÁ, Naďa. *Vision Guided Robots(VGR): robotika s obrazovou navigací* [online]. atesystem [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: <https://www.fm.tul.cz/files/pages/other/MTI/obr18/ATEsystem-Havlickova.pdf>
- [33] *Snímač síly Force Sensor: PROSPEKT - Force Sensor pro automatizovanou kompletaci, tvarové obrábění a měření* [online]. FANUC Europe Corporation, 2019 [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/vi d%C4%9Bn%C3%AD/force-sensor>
- [34] *Snímače síly a momentu pro ramena robotů* [online]. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o., 2019 [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-sily-a-momentu-pro-ramena-robotu-2019_03_0_12014/
- [35] DR. GLIVICKÝ, Vladimír. *Základy ergonomie* [online]. Praha: Akademie práce a zdraví ČR, o.p.s., 2004 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://mapis.vubp.cz/PR/ShowDokument.aspx?guid=74b06830-801b-42ab-9bc4-4454af933b4a>
- [36] *Nariadení vlády č. 361/2007 Sb.: Nariadení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci* [online]. 2007 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [37] *Ergonomie: Ergonomie pracovního místa* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/337-ergonomie-pracovniho-mista>

- [38] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173.
- [39] ING. KYNCL, Jiří, Ph.D. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, FAKULTA STROJNÍ, ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE. *Ergonomie a moderní životní styl – Sborník konference: Sbírká článků z vědecké konference*. První. Fakulta strojní. Praha: Elektronicky, 2022, 60 s. ISSN ISBN 978-80-01-06957-8. Dostupné také z: https://www.ergokonference.cz/data/media/fck/Studenska%20ergo%20konference_sborn%C3%ADk_2022_v2.pdf
- [40] *Government Order No. 361/2007 laying down the conditions for the protection of health at work*. In: *Collection of Laws of the Czech Republic* [online]. AION CS, 2007, [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/en/2007-361>
- [41] *TIMING BELT CONVEYOR: TIMING BELTS* [online]. Bourgoin-Jallieu: Elcom [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://elcom-automation.com/conveyors/timing-belt-conveyor>
- [42] *3200 Series HD Belt Conveyor* [online]. Great Eccleston: AS Conveyor Systems Ltd [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://asconveyorsystems.co.uk/3200-series-hd-belt-conveyor/>

Seznam obrázků

Obr. 1 - Schéma stanovování spotřeby času [6].....	13
Obr. 2 - Rozdíl výrobního procesu od výrobního systému [1]	14
Obr. 3 - Schéma rozdělení využívaných simulačních programů [10] [11] [12] [13]	16
Obr. 4 - Ukázka z programu Tecnomatix Jack	17
Obr. 5 - Ukázka z programu RobotStudio.....	18
Obr. 6 - Rozdělení montážních činností [3].....	20
Obr. 7 - Dělení průmyslových robotů podle kinematické struktury [20].....	23
Obr. 8 - Graf robota – Smíšený kinematický řetězec [23].....	23
Obr. 9 - Roční namontování nových robotů podle jejich aplikace ve světě [27].....	25
Obr. 10 - Hlavní přístupy přesné montáže.....	29
Obr. 11 - Montážní strategie při použití silového senzoru [33].....	31
Obr. 12 - Schéma ergonomie [35].....	33
Obr. 13 - Rozsah polohy – trup [36].....	34
Obr. 14 - Rozsah polohy – hlava [36].....	35
Obr. 15 - Rozsah polohy – horní končetiny [36].....	35
Obr. 16 - Dosahové zóny v pracovní rovině [37].....	36
Obr. 17 - Dosahy horních končetin [36]	37
Obr. 18 - Rozdělení výšky pracovních ploch [37]	37
Obr. 19 - Současné pracoviště montáže, první pohled.....	40
Obr. 20 - Současné pracoviště montáže, druhý pohled.....	40
Obr. 21 – Schéma rozdělení montáže	41
Obr. 22 - Model montážního postupu	44
Obr. 23 - Kritické operace při montáži	46
Obr. 24 - Koláčový graf časové analýzy sledovaného úseku	49
Obr. 25 - Koláčový graf časového rozložení na jedno čerpadlo	51
Obr. 26 - Možné přístupy k optimalizaci pracoviště montáže	55
Obr. 27 - Hrubý návrh pracoviště.....	58
Obr. 28 – Schéma variability montážního pracoviště.....	59
Obr. 29 - Výroba jednoho druhu – dopravník s kolíky [41].....	59
Obr. 30 - Výroba více druhů – dopravník s drážkami [42]	60
Obr. 31 - Rozdělení variant dle zásobení	62
Obr. 32 - Díly dodávané po pásech	63
Obr. 33 - Díly dodávané na paletkách.....	63
Obr. 34 - Varianta 1 – Iterace 1 – Hrubý návrh pracoviště	64
Obr. 35 - Varianta 1 – Iterace 1 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora	65

Obr. 36 - Varianta 1 – Iterace 2 – Hrubý návrh pracoviště	65
Obr. 37 - Varianta 1 – Iterace 2 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora	66
Obr. 38 - Varianta 2 – Hrubý návrh pracoviště.....	67
Obr. 39 – Varianta 2 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora.....	67
Obr. 40 - Varianta 3 – Hrubý návrh pracoviště.....	68
Obr. 41 - Varianta 3 – Hrubý návrh pracoviště – Pohled ze shora.....	68
Obr. 42 - Rozdělení variant dle logistiky	69
Obr. 43 - Vychystávání pomocí duality dopravníků.....	70
Obr. 44 - Rozdělení variant robotické simulace.....	73
Obr. 45 - Ukázka simulace pesimistické varianty	74
Obr. 46 - Ukázka simulace zrychlené varianty	75
Obr. 47 - Ukázka simulace ideální varianty	76
Obr. 48 - Vizualizace pracoviště s předmontáží	77

Seznam tabulek

Tab. 1 – Kusovník	42
Tab. 2 – Analýza montážního postupu.....	43
Tab. 3 - Rozdělení časů v rámci sledování.....	47
Tab. 4 - Rozdělení časů v rámci sledování – úkony ve stejném čase	48
Tab. 5 - Časová analýza sledovaného úseku.....	48
Tab. 6 - Časy jednotlivých montážních cyklů.....	50
Tab. 7 - Rozložení času potřebného na montáž jednoho čerpadla	50
Tab. 8 - Rozložení času montáže jednoho čerpadla	51
Tab. 9 - Rozpad předmontáže	51
Tab. 10 - Rozložení času montáže jednoho čerpadla.....	52
Tab. 11 - Rozpad montáže.....	52
Tab. 12 - Výsledky statické analýzy – současného pracoviště (vybrané polohy).....	54
Tab. 13 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace pesimistické varianty.....	73
Tab. 14 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace zrychlené varianty	74
Tab. 15 - Tabulka kritérií a výsledného času simulace ideální varianty	75
Tab. 16 - Výsledky statické analýzy – optimalizovaného pracoviště (vybrané polohy).....	76
Tab. 17 - Položkový rozpočet robotického pracoviště.....	81

Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional
- ABB RobotStudio
- Tecnomatix Jack 9.0
- Microsoft Word
- Microsoft Excel