

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**NÁVRH ROBOTICKÉHO
PRACOVISTĚ**

2024

**BC. MARTIN
VOJTÍŠEK**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vojtíšek** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **483948**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh robotického pracoviště

Název diplomové práce anglicky:

Design of a robotic workplace

Pokyny pro vypracování:

1. Teorie robotické montáže.
2. Rešerše způsobů přesné robotické montáže.
3. Stanovení parametrů pracoviště.
4. Návrh variant pracoviště a stupně robotizace.
5. Zhodnocení návrhů.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **12.10.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **02.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis



Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Tomášovi Kellnerovi, vedoucímu mé diplomové práce, za poskytnutí věcných připomínek, odborné vedení mé diplomové práce a vstřícný přístup. Rovněž bych rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich neustálou podporu a motivaci, kterou mi dodávali během studia.



Anotace

Diplomová práce se věnuje komplexnímu návrhu a porovnání tří variant robotizovaných montážních pracovišť pro montáž zubových čerpadel. Každá varianta je unikátní z hledisek jako jsou takt montáže, počet pracovníků, počet robotů a celkovým přístupem k automatizaci montážního procesu. První varianta je zaměřena na flexibilitu a nízké počáteční náklady, nízký počet pracovníků a robotů. Druhá varianta je založena na principu one piece flow a představuje kombinaci robotů a pracovníků pro montáž s vysokým taktem. Třetí varianta se odráží od druhé varianty a automatizuje některá stanoviště montáže. Cílem práce je navrhnout varianty optimálního montážního pracoviště v závislosti na různých stupních robotizace.

Klíčová slova: Návrh robotizovaného montážního pracoviště, automatizace, montáž, projektování, robotizovaná montáž, zubová čerpadla.

Annotation

The thesis deals with a comprehensive design and comparison of three variants of robotic assembly workplaces for gear pump assembly. Each variant is unique in terms of aspects such as assembly tact, number of workers, number of robots and overall approach to automation of the assembly process. The first variant focuses on flexibility and low initial cost, low number of workers and robots. The second option is based on the one piece flow principle and is a combination of robots and workers for high tact assembly. The third option reflects the second option and automates some assembly stations. The aim of this thesis is to propose variants of the optimal assembly workstation depending on different degrees of robotization.

Keywords: Design of robotic assembly workplace, automation, assembly, design, robotic assembly, gear pumps.



Obsah

Úvod	8
1. Teorie robotické montáže	9
1.1. Strojní výroba a montáž	9
1.2. Základy montáže	9
1.3. Montážní činnost	13
1.4. Technicko – organizační hlediska montážního pracoviště	14
1.4.1. Stacionární montáž	16
1.4.2. Nestacionární montáž	18
1.5. Průmyslové roboty a manipulátory	21
1.5.1. Dělení průmyslových robotů a manipulátorů	22
1.5.1.1. Rozdělení dle účelu	22
1.5.1.2. Generace robotů a manipulátorů	24
1.5.1.3. Geometrie pracovního prostoru	25
1.5.1.4. Kinematické struktury	26
1.5.1.5. Rozdělení dle počtu stupňů volnosti	28
1.5.2. Druhy průmyslových robotů	29
1.5.2.1. Angulární robot	29
1.5.2.2. SCARA	31
1.5.2.3. Delta robot	32
1.5.2.4. Kartézský robot	34
1.5.2.5. Kolaborativní robot	35
1.5.3. Typy pracovišť dle stupně spolupráce s člověkem	37
2. Rešerše způsobů přesné robotické montáže	41
2.1. Snímače síly	41
2.1.1. Aplikace snímačů síly	42
2.2. Strojové vidění	44
2.2.1. Princip	44



2.2.2.	Aplikace strojového vidění.....	46
2.3.	Chapadla	50
3.	Stanovení parametrů pracoviště	54
3.1.	Předmět montáže.....	54
3.2.	Možnosti uchopení.....	56
3.3.	Pracovní prostor	58
3.4.	Parametry dle typu robota od společnosti Fanuc	61
3.5.	Parametr krytí IP	65
3.6.	Chapadla	66
4.	Návrh variant pracoviště a stupně robotizace	68
4.1.	Varianta číslo 1	69
4.2.	Varianta číslo 2	81
4.3.	Varianta číslo 3	87
5.	Zhodnocení návrhů.....	92
5.1.	Technické zhodnocení	92
5.2.	Ekonomické zhodnocení	95
6.	Závěr.....	102
	Seznam použité literatury	103
	Obrázky	107
	Seznam tabulek.....	110
	Použitý software	110



Úvod

Cílem diplomové práce je navržení několika variant montážních pracovišť s různými stupni robotizace a taktů montáže. Dále poskytnout komplexní pohled na různá hlediska návrhu robotizovaných montážních pracovišť, jako je výběr vhodných robotů a chapadel. Práce uvažuje různé vstupní investiční náklady, které vedou k rozdílnému množství operátorů, potřebných k obsluze pracoviště.

Začátek práce se zabývá teoretickými hledisky robotické montáže, včetně základů montáže, montážní činnosti a technicko-organizačních hledisek montážního pracoviště. Dále je rozebíráno rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů. Následující kapitola se věnuje rešerši způsobů přesné robotické montáže, kde jsou zkoumány moderní technologie jako snímače síly a strojové vidění a jejich aplikace v robotické montáži.

Třetí kapitola se soustředí na stanovení parametrů pracoviště pro montáž zubového čerpadla, které je předmětem montáže. Popisuje možnosti uchopení, využití pracovního prostoru jednotlivými typy robotů a porovnává parametry vhodných typů robotů od společnosti Fanuc. Poslední část kapitoly se věnuje vhodným chapadlům, pro montáž zubového čerpadla.

Následující kapitola prezentuje návrhy tří variant robotizovaných montážních pracovišť, každé s různým stupněm robotizace, rozdílnou počáteční investicí, počtem pracovníků a robotů. Tyto parametry vedou k rozdílným montážním taktům pracovišť, bez ohledu na to, zda je možné prodat dané výstupní množství produktů. Návrhy variant jsou zde graficky zpracovány, podrobně popsány a vysvětleny.

Poslední kapitola podrobně rozebírá technická a ekonomická hlediska robotizace montážních pracovišť. Z technického úhlu pohledu se věnuje důkladné analýze různých návrhů s cílem nabídnout komplexní přehled možností pro robotizaci. Tato část obsahuje srovnání a hodnocení montážních taktů, stupeň robotizace a prostorové uspořádání pracovišť. Ekonomický rozbor se pak soustředí na hodnocení nákladů, potenciální úspory a dobu návratnosti investic do jednotlivých návrhů montážních pracovišť.



1. Teorie robotické montáže

První kapitola se zabývá teorií montážních pracovišť. Úvod kapitoly je zaměřen na definování výrobního systému, procesu a montážního procesu. Dále se kapitola zabývá zpracování popisu montáže, přesněji na techniky, druhy, formy a činnosti vykonávané na montážních pracovištích. Závěr kapitoly je věnován průmyslovým robotům a manipulátorům, jejich rozdělení dle účelu, pracovního prostoru, či konstrukce. Zaměřuje se na různé typy robotických systémů, jejich design, funkčnost, výhody a nevýhody.

1.1. Strojní výroba a montáž

Výrobní systém se skládá z navzájem propojených výrobních a pomocných prostředků, jako jsou stroje, dopravní, manipulační zařízení, sklady a další, stejně jako z výrobních sil a předmětů výroby, mezi které patří materiál, energie a další. Cílem výrobního systému je transformace vstupů na výstupy a tím naplňování vizí a strategií firem, díky čemuž získají přidanou hodnotou. [1, 2]

Výrobní proces strojírenského závodu je charakterizován jako soubor technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností, které mají za úkol měnit tvar, rozměry, složení, jakost a spojení výchozích materiálů a polotovarů tak, aby byly splněny požadavky na jednotlivé výrobky a byly vyrobeny finální produkty různých typů. Pro uskutečnění výrobního procesu jsou nezbytné lidské zdroje a podnikové prostředky, jako jsou stroje a nástroje. [1]

Montážní proces, který je klíčovou součástí výrobního systému, se primárně soustředí na činnosti spojené s manipulací a spojováním jednotlivých dílů. Jeho účelem je transformace a integrace vstupních komponentů do finálního montovaného produktu. Tento proces lze analyzovat a kategorizovat podle různých kritérií, jako je jeho role a umístění v rámci celkového výrobního systému, specifické funkce, které plní, nebo podle jeho schopnosti začlenění v rámci výrobního procesu. [1, 3]

1.2. Základy montáže

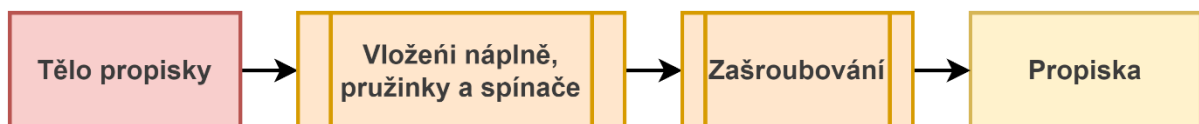
Podkapitola se věnuje fundamentálnímu členění montážních procesů. V úvodu jsou představeny různé techniky montáže doplněné o konkrétní příklady jejich aplikace. Důležitým

aspektem, na který se podkapitola zaměřuje, je rozlišení úrovně mechanizace montáže, která může být manuální, částečně mechanizovaná nebo plně automatizovaná. Následující část podrobněji zkoumá, jaký vliv mají tyto stupně mechanizace na celkový průběh a efektivitu montážního procesu.

Dvě základní montážní techniky:

- 1) **Předmětové:** montážní technika je zařazena postupně dle pořadí operací. Toto uspořádání je navrženo s cílem efektivně sestavit finální montovaný produkt, příklad této montážní techniky na *Obr. č. 1* [3]

Příklad:



Obr. č. 1: Příklad předmětové montážní techniky [3]

- 2) **Technologické:** montážní proces probíhá na specificky vyhrazeném místě, které je dedikováno výhradně pro provádění jednoho druhu montážní operace, příklad na *Obr. č. 2*. Toto uspořádání umožňuje technologickou specializaci, jako jsou svařování, šroubování a další podobné operace, které vyžadují zvláštní dovednosti a zařízení. [3]

Příklad:



Obr. č. 2: Technologická montážní technika [3]

Rozlišení montážních procesů z hlediska stupně mechanizace

















V kontextu ručního montážního procesu se jedná o metodu, kde hlavní roli hraje člověk, který s použitím manuálních nástrojů a náradí provádí všechny potřebné operace. Naopak, v mechanizované montáži převládají stroje, a člověk zasahuje do procesu primárně prostřednictvím ovládacích prvků a komunikačních zařízení, aby definoval a řídil činnosti

strojů. V případě automatizované montáže je lidský prvek často zcela eliminován a nahrazen automatizací pomocí senzorů a programovatelných mechanismů. Když je člověk zapojen do automatizovaného procesu, jeho role se obvykle omezuje na dohled nad průběhem a kontrolu kvality.

Montážní procesy lze tedy celkově kategorizovat do tří základních typů: [3, 4]

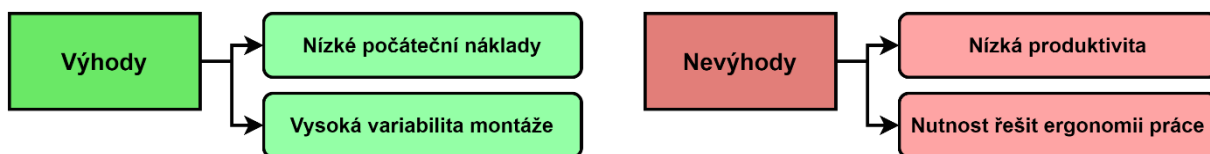
- Ruční
- Mechanizované
- Automatizované (tvrdě a pružně) [4, 5]

Tyto druhy montáže charakterizuje zejména zdroj síly (výkonu), ovládání nástroje, řízení procesu a kontrola. Přehledně zobrazena viz Obr. č. 3 [5]

Charakteristika:	Druh montáže			
	ruční	mechanizovaná	tvrdě	pružně
Zdroj síly (výkonu)	 člověk	 motor	 motor	 motor
Ovládání nástroje	 člověk	 člověk	 stroj	 stroj
Řízení procesu	 člověk	 člověk	 tvrdé řízení	 pružné řízení
Kontrola	 člověk	 člověk	 člověk, čidla	 čidla

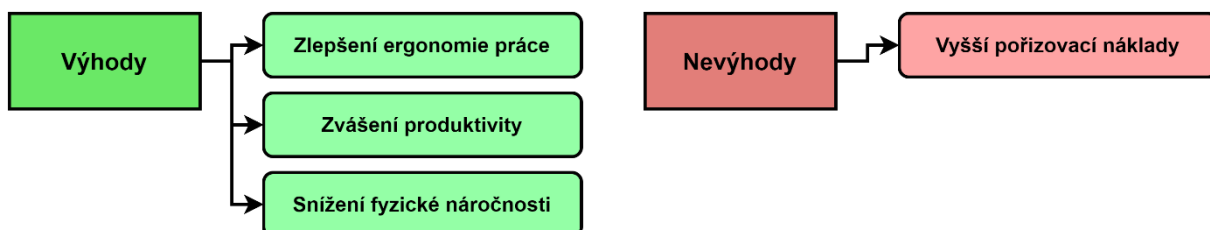
Obr. č. 3: Druhy montáže z hlediska stupně mechanizace [5]

Ruční montáž představuje nejběžnější typ montážních procesů v průmyslu. Tento druh montáže je typický svou potřebou upínacích zařízení a široké škály speciálních i univerzálních nástrojů, které jsou vybírány a používány specificky pro každou operaci. Kritickým aspektem ruční montáže je efektivní logistika součástek a důraz na ergonomii pracoviště. Hlavní výhody a nevýhody jsou zobrazeny na Obr. č. 4. Ergonomie se zaměřuje na optimální rozmístění dílů, které mají být spojeny, a na vytvoření pracovního prostředí, které podporuje pohodlí a snižuje fyzickou zátěž pracovníků, což přispívá k jejich pracovní spokojenosti a efektivitě. [3, 5]



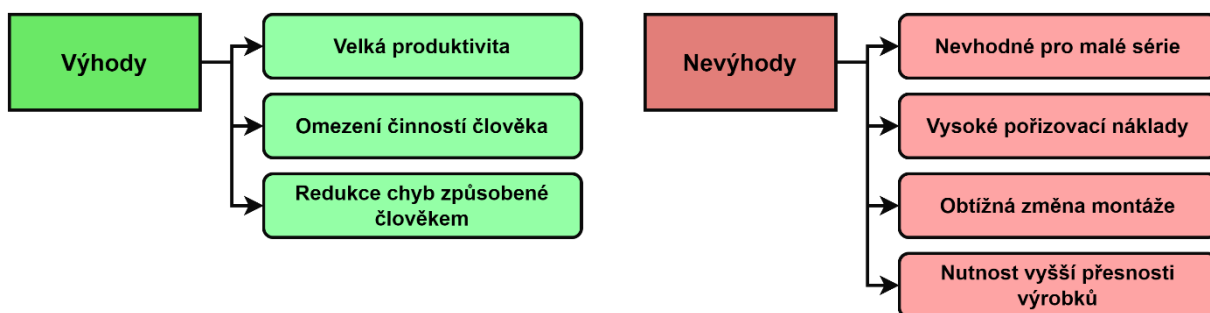
Obr. č. 4: Výhody a nevýhody ruční montáže [5]

Mechanizovaná montáž, často také označována jako poloautomatická, je proces, kde se využívá motorového nářadí a mechanizovaných systémů pro usnadnění montážních operací. V tomto typu montáže hraje člověk klíčovou roli při řízení a kontrole procesu. Operátor používá ovladače a komunikační zařízení k aktivaci a řízení motorů a mechanismů, které provádějí montážní úkony. Hlavní výhody a nevýhody jsou zobrazeny na Obr. č. 5. Zároveň zajišťuje dohled nad montáží, aby se ujistil, že všechny části jsou správně sestaveny a že celkový proces probíhá hladce a efektivně. [3]



Obr. č. 5: Výhody a nevýhody mechanizované montáže [5]

Automatizované montážní procesy představují vrchol v efektivitě a optimalizaci výrobních operací. V takovém procesu je role člověka redukována na dohledovou funkci. Kontrola kvality a průběhu montáže je většinou svěřena sofistikovaným sensorům a detekčním systémům, které zajišťují vysokou přesnost a konzistenci montážních operací bez nutnosti trvalé lidské interakce. Hlavní výhody a nevýhody jsou zobrazeny na Obr. č. 6. [3]



Obr. č. 6: Výhody a nevýhody automatizované montáže [5]



Tato část shrnuje základní rozdělení montážních pracovišť a ukázala hlavní výhody a nevýhody jednotlivých variant v důsledku úrovně automatizace montážních pracovišť.

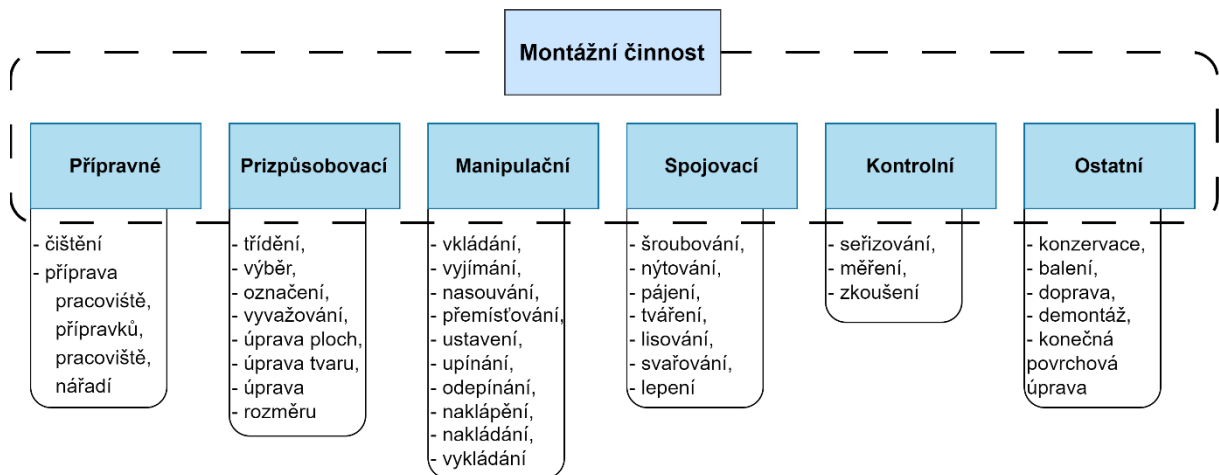
1.3. Montážní činnost

Tato sekce se věnuje podrobnému popisu všech operací, které jsou součástí montážního procesu. Zahrnuje také konkrétní příklady, které ilustrují rozdíly v montážních aktivitách v závislosti na typu a velikosti výrobní série.

Úroveň a typ montážních činností se liší v závislosti na charakteru výroby. V případě malosériové a kusové výroby hrají klíčovou roli práce spojené s přizpůsobením a přípravou, zatímco v samotné montáži je významná kontrola a seřizování, včetně demontáže. Tyto operace dohromady tvoří přibližně 80 % celkové pracovní síly spojené s montáží. Na druhé straně, ve větších sériových a hromadných výrobních procesech se zvyšuje podíl typických montážních operací, jako je spojování a manipulace s díly, například vkládání, nasouvání a podobně. [1]

V současné době se v montáži strojírenských výrobků objevuje mnoho různých činností, které lze klasifikovat do specifických skupin, jak je podrobněji popsáno a znázorněno na Obr. č. 7. Montážní postup je ovlivněn sériovostí výroby, ta se rozděluje na:

- Kusová výroba: probíhá v jednotkách kusů maximálně do desítek
- Malosériová výroba: probíhá v rozsahu desítek kusů až stovek
- Sériová výroba: ve výrobním procesu se zpracovávají dávky o několika desítkách až stovkách kusů
- Velkosériová výroba: přibližně 100 až 1000 ks
- Hromadná výroba: přibližně 10 000 ks a více



Obr. č. 7: Montážní činnosti [2]

Pro zvýšení efektivity montážního procesu je klíčové pečlivě zvážit výběr vhodných operací. Tento výběr by měl být proveden s ohledem na následující kritéria:

- Snížení kvantity ručních prací
- Snížení pracnosti montáže a zvýšení produktivity práce
- Zvýšení stupně mechanizace a automatizace montážních činností
- Zvýšení stupně standardizace, unifikace
- Typizovat technologie a vybavenost pracovišť [1]

1.4. Technicko – organizační hlediska montážního pracoviště

Kapitola podrobně zkoumá kategorizaci montáží podle typu prostředí, které jsou děleny na interní a externí. Interní montáže jsou dále klasifikovány jako stacionární, kde ani pracovník ani montovaný výrobek se nepohybují, a nestacionární, kde dochází k pohybu buď pracovníka, nebo montovaného výrobku. Tyto dvě kategorie interních montáží jsou následně dále rozčleněny do specifických typů montážních pracovišť.

Montážní systémy lze rovněž rozdělit podle různých kritérií, jako jsou časová a technologická návaznost, efektivita využití pracovních sil, strojů, energie a prostoru, a také podle prostorového uspořádání montážních jednotek a pracovišť. Významný vliv na tuto strukturu mají složitost, velikost a objem montovaných výrobků. Časová a prostorová

organizace montážních procesů je tedy určena na základě těchto faktorů a je formována technickými a organizačními aspekty montáže. [1, 5]

Montáž dle prostředí

Montážní procesy lze kategorizovat do dvou základních typů v závislosti na prostředí, ve kterých jsou prováděny, jedná se o externí a interní montáž:

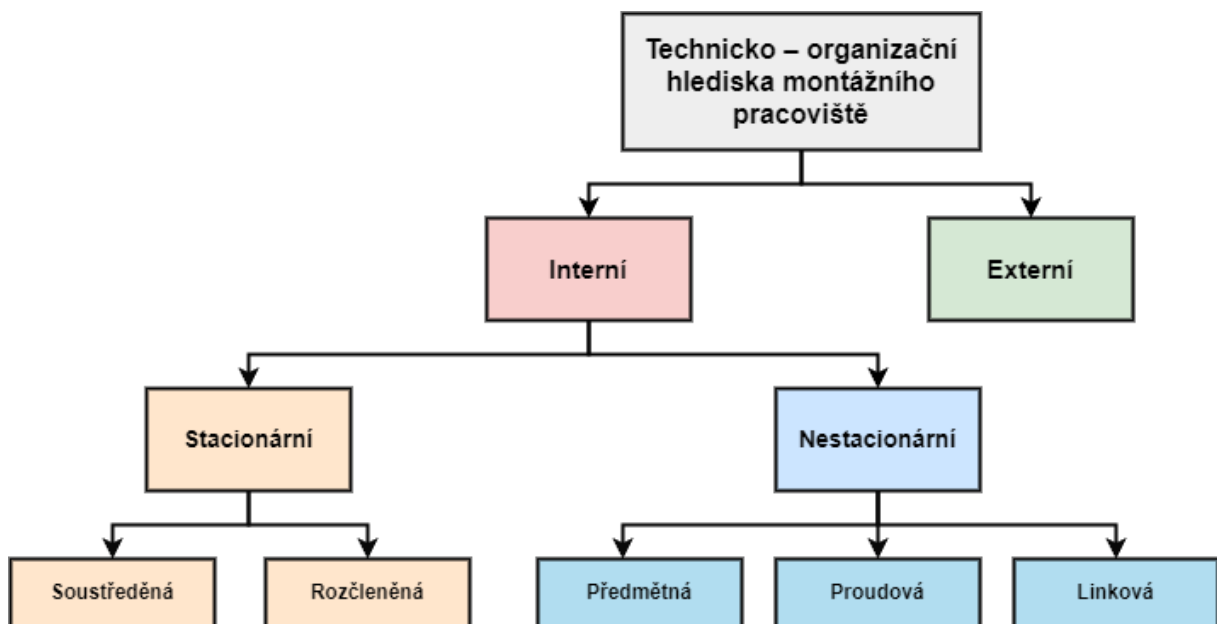
Externí montáž

Tento typ montáže se odehrává mimo areál výrobního podniku, obvykle přímo u zákazníka. Cílem externí montáže je předem sestavit co největší množství součástí v interním prostředí a na místě provést pouze nezbytné úpravy. Typickými příklady externí montáže jsou konstrukce mostů, instalace potrubních systémů, armatur a podobně. [3]

Interní montáž

Interní montáž probíhá v prostředí výrobního závodu a je integrovanou součástí výrobního procesu. Výrobek po dokončení montáže obvykle opouští výrobní linku plně funkční a připravený k okamžitému použití. [3]

Montážní procesy se dále obvykle dělí na stacionární, kde montážní postup zůstává na jednom místě, a nestacionární, kde dochází k pohybu montovaného výrobku nebo pracovníka, což je ilustrováno na Obr. č. 8. [3]



Obr. č. 8: Technicko – organizační formy montáže [1]



1.4.1. Stacionární montáž

V této části jsou podrobně rozebrány charakteristiky stacionární montáže, což je typ montážního pracoviště, kde ani operátor ani montovaný výrobek nepohybuje. Podrobně je zde vysvětlena koncepce soustředěné montáže a jsou kategorizovány různé typy stacionárních montáží.

Stacionární neboli nepohyblivá montáž, je definována situací, kdy montáž výrobku nebo sestavy probíhá na jednom konkrétním místě, kde se nachází jedno nebo více stálých pracovních stanic. Tento druh montáže je obvyklý pro kusovou a malosériovou výrobu. Stacionární montáž můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií: (schématické zobrazení *Obr. č. 8*). [1, 5]

Za stacionární neboli nepohyblivou montáž se považuje, když samotná montáž výrobku, nebo montážního celku probíhá postupně na stálém pracovišti na kterém pracuje jeden nebo více pracovníků. Nepohyblivá montáž je typická pro kusovou a malosériovou výrobu. Stacionární montáže se dělí na: [1, 5]

- Soustředěná montáž (viz *Obr. č. 9*)
- Rozčleněná montáž (viz *Obr. č. 10*) [1]

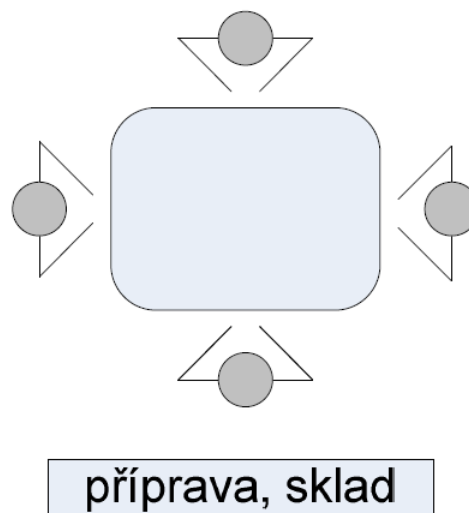
Soustředěná montáž

Soustředěnou montáž charakterizuje spojování jednotlivých součástí, které probíhá na jednom místě, kde na montáži pracuje buď jednotlivec nebo tým pracovníků, tento typ montáže je ilustrován na *Obr. č. 9*. Při této metodě se obvykle pracuje podle obecných montážních postupů, které nejsou detailně časově rozvrženy. Tento přístup je typický pro výrobu jednotlivých kusů nebo malých sérií, jakým je například montáž velkých strojních zařízení. [1, 5, 6]

Soustředěná montáž přináší řadu výzev a nevýhod, které je třeba pečlivě zvážit:

- Vysoké požadavky na kvalifikaci pracovníků jsou nezbytné kvůli komplexnosti a rozmanitosti úkonů, které montáž vyžaduje
- Počet pracovníků, kteří mohou na montáži pracovat, je omezen fyzickými rozměry montované jednotky, což může omezovat možnosti rozšíření týmu
- Montážní proces vyžaduje dostatečně velké montážní plochy, aby bylo možné efektivně pracovat a manipulovat s komponenty

- Doba potřebná k dokončení montáže bývá delší, protože montáž se uskutečňuje postupně, což může vést k delším výrobním cyklům
- Časové normy pro montážní úkony jsou často nepřesné, což ztěžuje předpovídání časové náročnosti montáže a plánování pracovních směn
- Průběh montáže může být nepravidelný, což může vést k neefektivnímu využití pracovních zdrojů a k nekonzistentní produkci [5, 6]



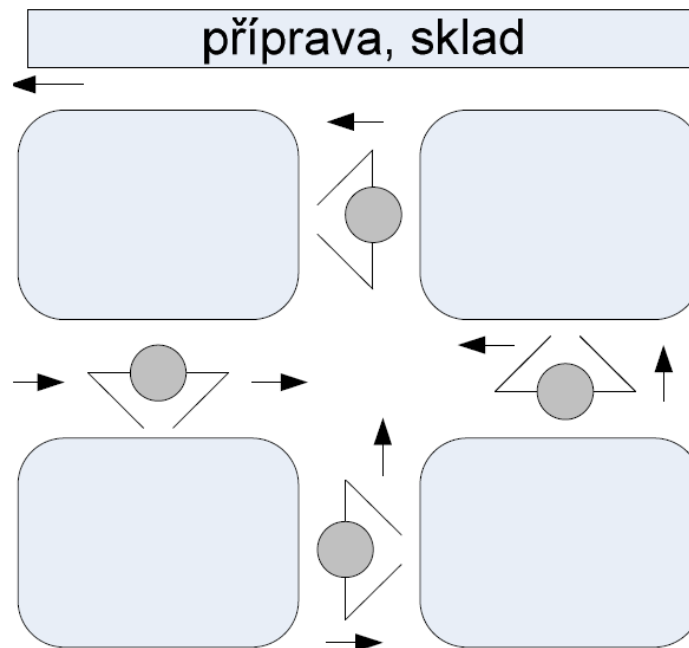
Obr. č. 9: Schéma soustředěné montáže [5]

Rozčleněná montáž

Rozčleněná montáž představuje metodu, která je založena na rozdělení montážních operací s celkovou časovou normou stanovenou pro celou montážní linku. Vzhledem k rozsáhlosti operací poskytuje tento přístup určitý prostor pro flexibilitu v časování předávání montovaných jednotek a provádění specifických montážních úkonů. Základním předpokladem pro efektivní rozčleněnou montáž je možnost dekompozice výrobku na jednotlivé komponenty, podskupiny a celky podle montážního plánu a pracovního objemu na jednotlivých stanicích. Montáž se pak provádí současně na více stacionárních pracovištích, což je ilustrováno na Obr. č. 10. Tento typ montáže je vhodný pro jednotlivé kusy a malé série výrobků, jako jsou například frézovací stroje nebo soustruhy. [1, 5, 6]

Jednou z hlavních výhod rozčleněné montáže je možnost souběžné předmontáže různých celků. V prostředí, kde se v montážní hale současně montují různé typy výrobků, mohou se pracovní týmy pohybovat mezi jednotlivými montážními celky a postupně přecházet

od jedné fáze montáže k další. Konečným výsledkem je sestavení jednotlivých dílů, podsestav a celků do finálního hotového výrobku. [5, 6]



Obr. č. 10: Schéma rozčleněné montáže [26]

1.4.2. Nestacionární montáž

V této části jsou detailně rozebrány různé typy nestacionárních montáží, což jsou montážní procesy, kde dochází k pohybu buď pracovníka nebo montovaného objektu. Většinou je to montovaný objekt, který se pohybuje mezi různými pracovními stanicemi. Tato část poskytuje přehled o různých formách nestacionárních montážních pracovišť, jako je předmětná (řadová) montáž, proudová (synchronní) montáž a linková montáž

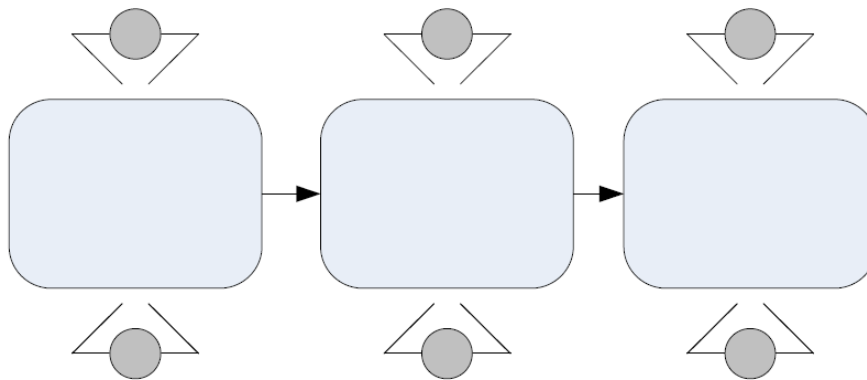
Nestacionární montáž se vyznačuje tím, že se montážní procesy odehrávají na různých místech nebo jsou rozděleny mezi skupiny pracovníků. Je klíčové určit, zda se pohybují samotní pracovníci nebo objekt montáže. V případě pohyblivého montovaného objektu se montážní jednotky postupně přemisťují mezi jednotlivými stanicemi v souladu s technologickým postupem a časovým plánem montáže. V opačném přístupu, kde je montovaný objekt stacionární, se pracovníci, kteří vykonávají specifické a opakující se operace, po dokončení úkonu přesouvají na další stanici. [1, 6]

Montáž s pohyblivým předmětem může být:

- Předmětná (řadová) montáž: montované objekty se zde postupně posouvají podél řady pracovních stanic
- Proudová (synchronní) montáž: montované objekty se pohybují synchronizovaně a současně skrze různé montážní stanice
- Linková montáž: zde se montované objekty pohybují po montážní lince, při čemž na každé stanici probíhá specifická montážní operace [1]

Předmětná (řadová) montáž

Předmětná montážní jednotka představuje nejzákladnější typ pohyblivé montáže, který vyžaduje pouze základní vybavení a uspořádání pracovišť v souladu s montážním plánem. Tato forma montáže je specifická svým volným rytmem, kdy se montovaný objekt volně pohybuje mezi jednotlivými stanicemi, tato varianta montáže je zobrazena na *Obr. č. 11*. Vzhledem k tomuto volnému taktu může docházet k nerovnoměrnému rozložení pracovní zátěže na jednotlivých pracovních stanicích, což může vést k časové nevyrovnanosti v objemu montážních prací. [1, 5]



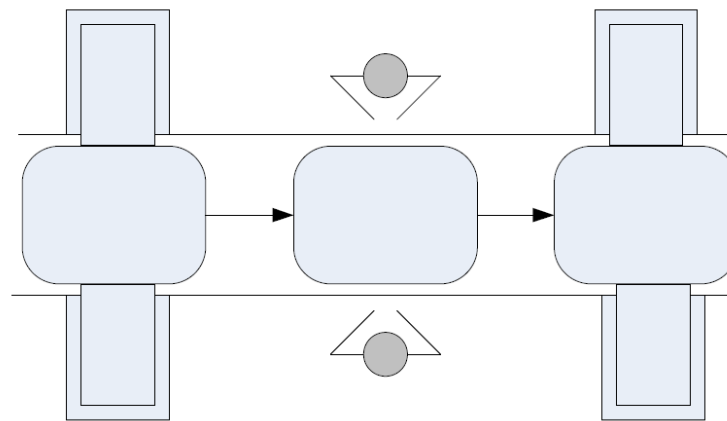
Obr. č. 11: Schéma předmětné (řadové) montáže [5]

Proudová (synchronní) montáž

Proudová (synchronní) montáž je proces, který vyžaduje pečlivou synchronizaci všech montážních operací, aby byl zajištěn plynulý a efektivní průběh montáže. Tento typ montáže je typický pro výrobu, kde se montují jednotné předměty s vysokým stupněm mechanizace a přísnými časovými požadavky na dokončení celého montovaného výrobku. Proudová montáž se obvykle provádí na stacionárních pracovištích, kde každá skupina pracovníků je specializovaná na určitou část montáže, vykonává svůj specifický úkol, jak je znázorněno

na Obr. č. 12. Každý pracovník nebo skupina pracovníků je zodpovědná pouze za omezený rozsah operací, což umožňuje vysokou míru specializace a efektivity. [1, 5]

Díky přesnému časování a synchronizaci pohybu komponent je proudová montáž ideální pro zavedení automatizace, což vede k výraznému zvýšení produktivity a snížení chyb. Tento přístup je obzvláště vhodný pro výrobu ve velkých sériích, jako jsou například valivá ložiska, motory, převodovky a podobné výrobky, kde je důležitá rychlost, opakovatelnost a konzistence montážních operací. [1, 5]

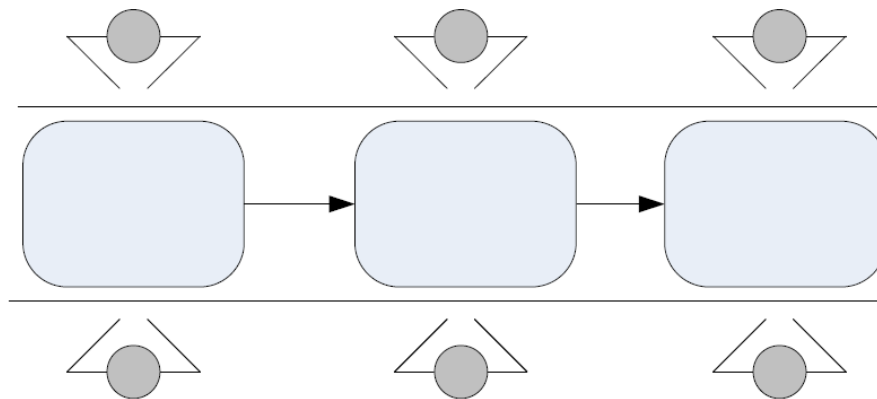


Obr. č. 12: Schéma proudové (synchronní) montáže [5]

Linková montáž

Linková montáž je proces, který se typicky uplatňuje v prostředích s vysokým podílem manuální práce a širokým spektrem montovaných výrobků. Tento typ montáže je zvláště vhodný pro situace, kde je potřeba zpracovat rozmanité montážní celky. Jeho klíčovým rysem je kontinuální pohyb montovaného předmětu podél montážního pásu, který je řízen rytmickým taktováním linky, jak je zobrazeno na Obr. č. 13. Tento pohyb vyžaduje, aby byly montážní úkony důkladně rozčleněny do specifických operací, aby bylo možné zachovat plynulost a efektivitu procesu.

Vzhledem k tomu, že pracovní tempo na jednotlivých stanicích může být variabilní, bývá linková montáž někdy považována za nesynchronní. Avšak v případě, že je linka navržena tak, aby byl pohyb předmětů a odběr hotových výrobků plně synchronizován, dosahuje se vysoké efektivity procesu. Synchronizovaná linková montáž je ideální pro velkosériovou produkci, jako je například výroba čerpadel, kde je důležitá rychlost a plynulý takt výrobního procesu. [1, 5]



Obr. č. 13: Schéma linkové montáže [5]

V řešební sekci, která se věnuje tématu montáže, je montážní proces zkoumán v kontextu jeho integrace do celkového výrobního systému. Tato část poskytuje podrobný přehled základních principů montáže, včetně kategorizace různých montážních technik, stupňů mechanizace a specifických montážních operací. Dále se zde pojednává o různých montážních prostředích a rozlišuje mezi stacionárními a nestacionárními montážními pracovišti. Tyto shromážděné informace jsou nezbytné pro hlubší analýzu a pro návrh efektivních montážních pracovišť.

1.5. Průmyslové roboty a manipulátory

V dnešní době je pro průmyslové podniky nezbytné, aby držely krok s neustále se zvyšujícími požadavky na produktivitu a kvalitu výroby. Tato nutnost je hlavním hnacím motorem pro vzrůstající integraci automatických výrobních systémů do výrobních linek. Automatizace zásadně mění paradigma výrobních procesů, přináší revoluci v technologii a posouvá hranice tradičního strojírenství. Rozšiřování automatizace zahrnuje implementaci robotických manipulátorů a dalších pokročilých zařízení, jež nejen zefektivňují jednotlivé operace, ale celé výrobní sekvenční postupy. Modernizace a rekonstrukce stávajících systémů a jejich nahrazení automatizovanými řešeními jsou klíčové pro zlepšení pracovních podmínek, zamezení monotonie a ochranu zdraví pracovníků, kdykoliv a kdekoliv je to možné. Komplexní chápání automatizačních procesů přesahuje pouhé strojní vybavení a zahrnuje automatizovanou logistiku, manipulaci s materiálem, kontrolní a měřicí systémy a další aspekty. Robotizace průmyslových operací je dnes aplikována napříč všemi výrobními sektory a neomezující se jen



na masovou produkci, což signalizuje její rostoucí flexibilitu a adaptabilitu. Investice do těchto technologií se vyplácí nejen skrze snížení provozních nákladů a zvýšení bezpečnosti, ale i díky jejich schopnosti poskytnout univerzální a efektivní řešení pro rozličné výrobní situace. [7]

1.5.1. Dělení průmyslových robotů a manipulátorů

Kapitola se věnuje systematickému dělení průmyslových robotů a manipulátorů na základě faktorů jako je druh pohonů, činnosti, geometrie pracovního prostoru, či kinematická struktura atd. Účel použití, který určuje, jak jsou roboty navrženy pro vykonávání specifických úkolů. Generace robotů a manipulátorů, které odrážejí vývojový pokrok a technologickou vyspělost. Geometrii pracovního prostoru, jež definuje fyzické limity, v nichž roboty operují. Kinematické struktury, které určují způsob pohybu a flexibility robotů a rozdělení podle počtu stupňů volnosti, což je důležité pro určení schopnosti robotů orientovat se a dosáhnout určité pozice v prostoru.

Základní druhy pohonů

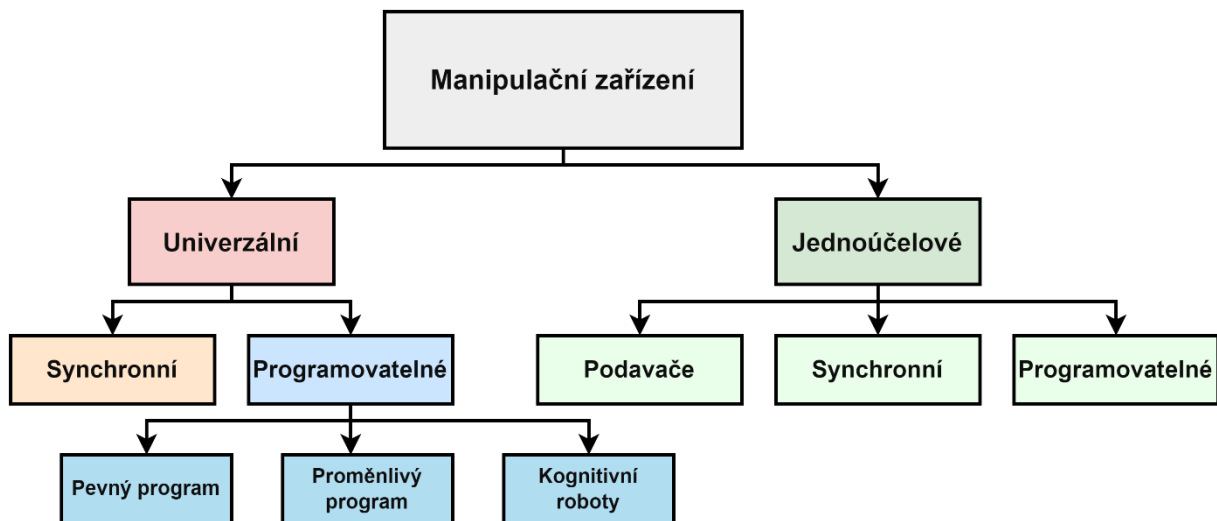
- Elektrické pohony
- Hydraulické pohony
- Pneumatické pohony [8]

Vykonávání činnosti

- Průmyslové roboty – činnosti spojené s výrobou různých produktů
- Servisní roboty – obslužné činnosti buď v humánní (domácí práce, zdravotnictví, aj.) nebo v průmyslu a službách (údržba, stavebnictví, aj.) [9]

1.5.1.1. Rozdělení dle účelu

Průmysloví roboty se rozdělují na základě rozsahu úkolů, pro které jsou navrženy a programovány na jednoúčelové (speciální) a univerzální (víceúčelové). Dále je můžeme rozdělit dle funkce, provedení, aplikačních možností, míry autonomnosti, úrovně řízení apod., toto rozdělení je graficky zobrazeno na *Obr. č. 14*. [7, 8]



Obr. č. 14: Dělení průmyslových robotů a manipulátorů [7]

Jednoúčelové (speciální) roboty

Jednoúčelové průmyslové roboty jsou navrženy tak, aby prováděly jeden konkrétní druh úlohy, nebo úlohy, které jsou velmi podobné. Tyto roboty jsou často optimalizovány pro vysokou efektivitu a rychlost v jedné specifické aplikaci. Jsou výhodné v situacích, kde je potřeba vysokého objemu výroby a malé flexibility. Například robot vybavený svařovací hlavicí pro automobilový průmysl může být navržen pouze pro svařování specifických spojů na karosériích automobilů. [7]

Výhody:

- Vysoká efektivita a produktivita v konkrétním úkolu
- Nižší náklady na pořízení a údržbu v porovnání s univerzálními roboty
- Nižší potřeba složitého programování [7]

Nevýhody:

- Nízká flexibilita, pokud se požadavky na výrobu změní, robot nemusí být schopen se přizpůsobit bez významných úprav nebo nahrazení
- Vyšší náklady na změnu výrobní linky nebo na zakoupení nových robotů při změně výrobních potřeb [7]

Univerzální (víceúčelové) roboty

Univerzální nebo víceúčelové průmyslové roboty jsou navrženy pro větší flexibilitu a mohou být programovány k vykonávání různých úkolů. Mohou být vybaveny různými koncovými efekty (nástroji) a použity pro různé aplikace, jako je sestavování, balení, testování, zpracování materiálů a další. [7]

Výhody:

- Flexibilita a schopnost přizpůsobení se změnám ve výrobním procesu
- Může zastávat více úkolů, což může znamenat úsporu nákladů na vybavení
- Dlouhodobě mohou být nákladově efektivnější, pokud se očekávají změny v produkčních požadavcích [7]

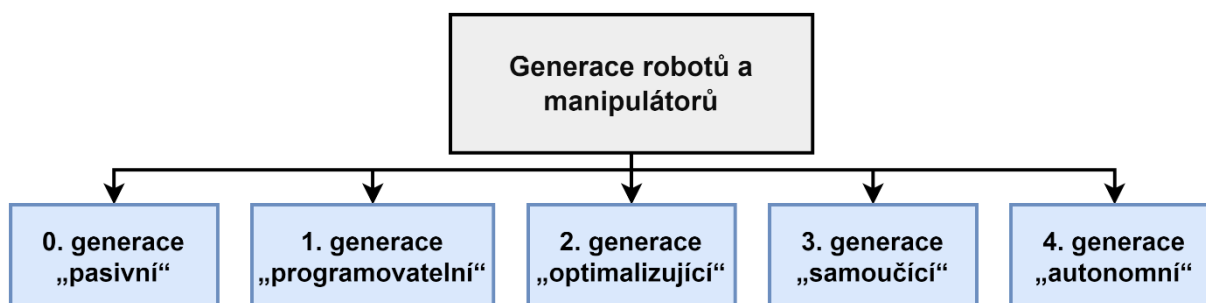
Nevýhody:

- Vyšší počáteční investice vzhledem k větší složitosti a schopnostem
- Vyšší náklady na programování a integraci, protože musí být schopny provádět širší škálu úkolů
- Mohou být pomalejší než specializované roboty, pokud se používají pro jednoduché, opakující se úlohy [7]

Výběr mezi jednoúčelovými a univerzálními roboty závisí na konkrétních potřebách výrobního procesu, flexibilitě požadavků a dostupném rozpočtu.

1.5.1.2. Generace robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory lze klasifikovat do pěti základních generací na základě jejich schopností a pokročilosti, tato klasifikace je zobrazena na *Obr. č. 15*.

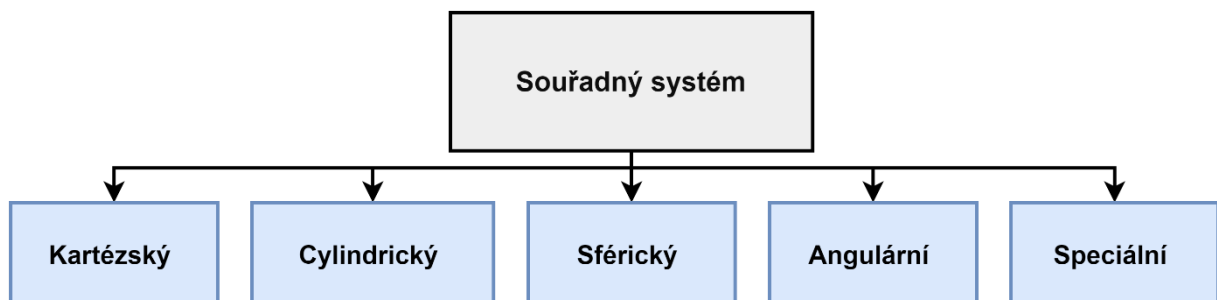


Obr. č. 15: Generace robotů a manipulátorů [7]

- 0. generace: Zahrnuje základní manipulátory a roboty, které pracují bez zpětné vazby. Tato zařízení reagují na chyby, nebo změny detekované senzory tak, že zastaví další operace a odpojí se od napájení. Tato situace vyžaduje zásah údržbáře nebo technika
- 1. generace: Představuje roboty vybavené základní zpětnou vazbou. Jsou schopné přepínat mezi několika přednastavenými programy vytvořenými operátorem a provádět úkoly podle nich
- 2. generace: Roboty této generace disponují optimalizačními schopnostmi. Mohou si vybrat nejvhodnější program z předem definované sady na základě specifických kritérií optimalizace
- 3. generace: Představuje schopnost samostatně vytvářet vlastní programy na základě učení se z minulých zkušeností. Jejich inteligentní řídicí systém umožňuje určení pouze konečného cíle úkolu, zatímco metoda dosažení tohoto cíle je ponechána na rozhodnutí robota
- 4. generace: Reprezentují je autonomní roboti s vyvinutými sociálními dovednostmi, kteří jsou schopni sami rozhodnout o cíli své činnosti, podobně jako to dělá člověk [7]

1.5.1.3. Geometrie pracovního prostoru

Souřadnicové systémy robotů určují tvar, rozsah jejich pracovního prostoru a typy pohybů, které mohou vykonávat. Jednotlivé varianty souřadnicových systémů, které roboty využívají jsou graficky znázorněny na Obr. č. 16.



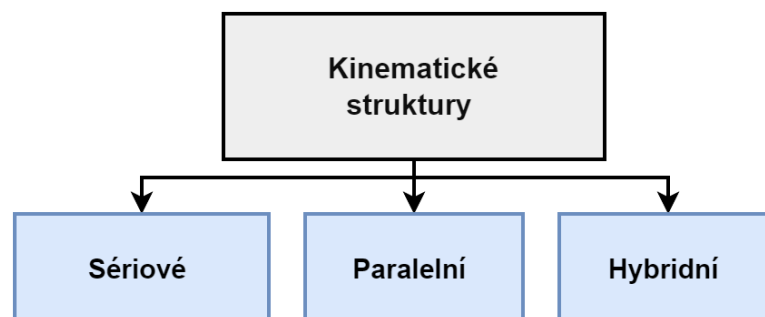
Obr. č. 16: Rozdělení podle geometrie pracovního prostoru [10]

Geometrie pracovního prostoru robotů se dělí na:

- Kartézský souřadnicový systém: Pracovní prostor tvaru hranolu, který je tvořen třemi translacemi
- Cylindrický souřadnicový systém: Tento systém kombinuje jednu rotaci s dvěma translacemi, díky čemuž se robot může pohybovat po obvodu a výšce válce, z čehož je dosažen tvar pracovního prostoru v podobě válcového prstence
- Sférický souřadnicový systém: Pracovní prostor robota je získán kombinací dvou rotačních vazeb a jedné translační vazby. Jeho výsledná pracovní plocha tvoří kulový prstenec
- Angulární souřadnicový systém: Manipulátor s angulárním systémem používá tři rotační osy. V současné době je tento typ konstrukce velmi rozšířený, díky efektivnímu využití prostoru, nižším výrobním nákladům a dobrým dynamickým vlastnostem
- Speciální souřadnicový systém: Tyto systémy mají unikátní konfigurace pohybových os, které nespádají do standardních kategorií souřadnicových systémů a jsou často navrženy pro specifické aplikace nebo průmyslové účely [10, 11, 14]

1.5.1.4. Kinematické struktury

Rozdělení dle kinematických struktur, zobrazené na *Obr. č. 17* určuje způsob, jakým se roboty pohybují a jak jsou schopny interagovat s okolním prostředím.



Obr. č. 17: Rozdělení dle kinematické struktury [10]

Sériová struktura

První kategorií jsou sériové roboty, které se vyznačují otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru, poskytují velkou flexibilitu a dosah. Příklad robota s touto kinematickou strukturou je na *Obr. č. 18*. Tyto roboty jsou často využívány v aplikacích, kde je potřeba například variabilita pohybu. [9, 10]



Obr. č. 18: Průmyslový robot se sériovou kinematickou strukturou M-900iB/280 [27]

Paralelní struktura

Roboty s paralelní kinematickou strukturou, je charakterizovaný uzavřeným kinematickým řetězcem, který umožňuje robotům udržet vysokou úroveň tuhosti a nosnosti, což přispívá k výraznému snížení vibrací v systému. Příklad robota s touto kinematickou strukturou je na *Obr. č. 19*. Tento faktor hraje klíčovou roli ve zlepšení přesnosti polohování, a to i při vyšších rychlostech pohybu, což je výhoda oproti robotům a manipulátorům se sériovou kinematikou. Roboty s paralelní kinematikou obvykle nabízejí tři až šest stupňů volnosti, což robotům s paralelní strukturou umožňuje provádět složité manipulační úkoly. Často jsou instalovány nad výrobními linkami, kde slouží jako manipulátory pro různé účely. Jako typický příklad robota s paralelní kinematikou můžeme uvést robota typu DELTA, který je široce rozšířený v průmyslových aplikacích. Tato konfigurace je ideální pro aplikace vyžadující rychlé a přesné pohyby s vysokou opakovatelností. [9, 10]



Obr. č. 19: Delta robot s paralelní kinematickou strukturou DR-3iB/8L [27]

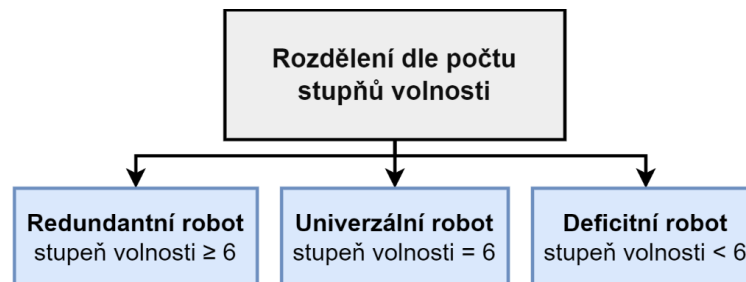
Hybridní struktura

Hybridní kinematická struktura, které kombinují prvky obou předešlých typů. Tyto systémy využívají výhod otevřených a uzavřených kinematických řetězců a nabízejí tak unikátní řešení pro komplexní manipulační úkoly.

Tyto manipulátory odstraňují problém omezeného pracovního prostoru paralelních mechanismů a poskytují výhody sériových i paralelních manipulátorů, jako jsou pevnost a velikost pracovního prostoru. [9]

1.5.1.5. Rozdělení dle počtu stupňů volnosti

Roboty s větším počtem stupňů volnosti dosahují větší flexibility a manévrovatelnosti, která je nezbytná pro složité montážní operace v prostředích s omezeným prostorem. Rozdělení je graficky zobrazeno na Obr. č. 20. Tato klasifikace také ovlivňuje design a výběr robotů pro specifické aplikace, protože různé montážní úlohy vyžadují různé úrovně pohybové složitosti. Složité úlohy, jako je sestavování komplexních komponent, mohou vyžadovat roboty s vysokým počtem DOF pro dosažení potřebné přesnosti a flexibility.



Obr. č. 20: Rozdělení dle počtu stupňů volnosti [9]

Základní rozdělení dle počtu stupňů volnosti:

- Redundantní roboty – mají 6 a více stupňů volnosti, toho využívají pro obcházení překážek, nebo pro pohyb v úzkém prostoru
- Univerzální roboty – mají 6 stupňů volnosti, jednoznačně vymezující v kartézském souřadném systému polohy
- Deficitní roboty – mají méně než 6 stupňů volnosti, to bývají například Scara roboty se 3-4 stupni volnosti [9]

1.5.2. Druhy průmyslových robotů

Mezi různými typy robotů, které se v průmyslu používají, má každý své specifické vlastnosti a aplikace. Následující text se zabývá kloubovými roboty, které jsou pro svou univerzálnost a flexibilitu využívány v širokém spektru průmyslových aplikací. SCARA roboty, kteří excelují v přesných montážních operacích, a delta roboty, vyznačující se svou rychlostí a přesností v manipulaci s lehkými objekty. Kartézské roboty, jejichž lineární pohyby jsou ideální pro aplikace vyžadující vysokou přesnost. Poslední část se zabývá kolaborativními roboty, kteří představují novou éru v interakci mezi člověkem a strojem. Tyto roboty jsou navrženy tak, aby mohly bezpečně pracovat bok po boku s lidskými operátory, což otevírá nové možnosti pro automatizaci a také v oblastech, kde bylo dosud nasazení robotů omezené.

1.5.2.1. Angulární robot

Angulární robot je typ průmyslového robota, který připomíná lidskou ruku ve své struktuře a pohyblivosti. Má několik kloubů, které mu umožňují pohyb v několika osách,

obvykle ve třech nebo i ve více, což mu dává velkou flexibilitu v pohybu a schopnost dosahovat různých poloh v prostoru. Angulární robot je zobrazen na *Obr. č. 21*.



Obr. č. 21: Angulární robot Fanuc M-800iA/60 [27]

Z hlediska struktury se skládá z několika kloubů spojených pevnými segmenty, podobně jako lidské paže, přičemž klouby mohou být rotační nebo lineární. Na konci posledního segmentu, který se nazývá koncový efektor, může být připevněno různé nářadí nebo zařízení, jako jsou svářečky, chapadla nebo nástroje pro montáž. [9]

Pohyb angulárního robota je řízen servomotory nebo za pomoci hydraulických či pneumatických pohonů, které se nacházejí v každém z kloubů. Tyto pohony umožňují přesné ovládání polohy, rychlosti a akcelerace každého segmentu paže robota. [9]

Pro řízení robota se používá pokročilý řídicí systém, který přijímá instrukce buď přímo od operátora, nebo z programovatelného řídicího softwaru. Řídicí systém obvykle zahrnuje uživatelské rozhraní, plánovač pohybů, kontrolu motorů a zpětnou vazbu o pozici a rychlosti pohybů. [10]

Angulární roboty jsou využívány v mnoha průmyslových aplikacích včetně svařování, montáže, lakování, balení, manipulace s materiálem apod. Jsou ceněny pro svou flexibilitu a schopnost provádět složité úkoly, které vyžadují práci z více úhlů, nebo v těsných prostorech. Výhody:

- Vysoká flexibilita a dosah
- Schopnost provádět složité a přesné pohyby
- Může nahradit člověka v nebezpečném nebo škodlivém prostředí [13]

Nevýhody:

- Složitější programování a nastavení
- Může vyžadovat větší pracovní prostor než některé jiné typy robotů
- Obvykle dražší než jednodušší typy robotů [13]

V souhrnu je angulární robot velice univerzálním nástrojem v moderním průmyslu, jehož schopnosti neustále rostou díky pokrokům v robotice a umělé inteligenci.

1.5.2.2. SCARA

Selective Compliance Assembly Robot Arm (Robotická paže s výběrovou shodností pro montážní operace), zkráceně SCARA, zobrazen na *Obr. č. 22*, je typ průmyslového robota, který byl speciálně navržen pro vysoce přesné montážní a manipulační úkoly v horizontální rovině.



Obr. č. 22: SCARA Robot Fanuc SR-3iA [27]

SCARA robot se skládá z několika kloubů, typicky dvou paralelních rotačních os umožňujících pohyb v horizontální rovině, doplněný o jednu vertikální osu pro pohyb nahoru a dolů. Tato konfigurace umožňuje robotu provádět operace s vysokou rychlostí a přesností. [12]

Jsou navrženy tak, aby byly rigidní v rovině pohybu a flexibilní kolmo na tuto rovinu, což jim umožňuje absorbovat síly během montáže nebo při vkládání dílů do těsných otvorů



bez poškození dílů nebo robota. Pohony, často servomotory, jsou umístěny v kloubech pro poskytování pohybu a jsou řízeny pokročilým řídicím systémem. [12]

Řídicí systém zpracovává programovatelné instrukce, které určují konkrétní sekvence pohybu a operací. Systém řízení často zahrnuje vizuální nebo jiné sensory pro zajištění vysoké přesnosti a optimalizaci montážních operací.

Tento typ robotů je běžně používán v montážních linkách, kde jsou potřeba rychlé a opakující se operace, jako je osazování součástek na tištěné spoje, montáž malých mechanických komponentů, přesun produktů mezi montážními stanicemi nebo třídění součástek. [9]

Výhody:

- Vysoká rychlost a přesnost v horizontální rovině
- Ideální pro montážní operace díky vertikální shodnosti
- Kompaktní design, který umožňuje instalaci ve stísněných prostorech [9, 10]

Nevýhody:

- Omezený pohyb ve vertikální ose
- Není ideální pro operace, které vyžadují komplexní manipulaci nebo pohyb v několika rovinách
- Může být omezen na operace, kde je většina práce vykonávána nad pracovní plochou [9, 10]

1.5.2.3. Delta robot

Delta robot je typ průmyslového robota známý pro svou jedinečnou strukturu a schopnost provádět extrémně rychlé a přesné pohyby, často používaný v aplikacích, kde je potřebná vysoká rychlost, jako je manipulace s lehkými objekty, balení, třídění nebo montáž. Tento druh robota lze vidět na *Obr. č. 23*.



Obr. č. 23: Delta robot Fanuc M-3iA/6A [27]

Delta robot se skládá ze tří ramen spojených s paralelními klouby, které jsou připojené k pevné základně. Na koncích ramen jsou připevněny táhla, která se spojují ve společném koncovém efektoru, někdy zvaném také jako „chapadlo“. Tento design je známý svou paralelní kinematikou, která poskytuje robotu unikátní vlastnosti pohybu. [9, 15]

Přednost těchto robotů je rychlost a velká přesnost pohybů. Pohyby jsou generovány synchronizovaným pohybem servomotorů nebo lineárních aktuátorů umístěných na základně, vedoucí k nízké hmotnosti pohyblivých částí a umožnění velmi rychlých operací. Kvůli svému designu mají obvykle omezenější pracovní prostor ve tvaru klenby nebo kupole. [9, 15]

Pro aplikace, kde je potřebná rychlá a přesná manipulace s produkty na výrobních liniích, jako je balení, rychlé třídění součástek, osazování elektronických komponent. Nebo práce v potravinářském průmyslu, kde jsou potřebné rychlé a hygienické manipulační procesy, zde jsou delta roboty ideální volbou. [9, 15]

Výhody:

- Velice rychlé pohyby díky nízké hmotnosti pohyblivých částí
- Vysoká přesnost a opakovatelnost pohybů
- Kompaktní konstrukce s malou základnou, vhodná pro stísněné prostory [9]

Nevýhody:

- Omezený pracovní prostor
- Menší nosnost v porovnání s jinými typy průmyslových robotů
- Složitost při programování a kalibraci kvůli paralelní kinematice [9]

Delta roboty jsou základním prvkem moderních vysokorychlostních výrobních procesů a jsou ceněny pro svou schopnost zvyšovat produktivitu při zachování vysoké úrovně přesnosti a spolehlivosti.

1.5.2.4. Kartézský robot

Kartézský robot, často označovaný také jako lineární nebo portálový robot, je typ průmyslového robota, který je charakterizován svými třemi ortogonálními osami X, Y a Z, umožňujícími lineární pohyb ve třech rozměrech, což odpovídá kartézské souřadnicové soustavě. Příklad kartézského robota je zobrazen na *Obr. č. 24*.



Obr. č. 24: Kartézský robot 5X LINE: [28]

Tento druh robota má typicky pravouhlou konfiguraci s osami uspořádanými tak, aby každá byla kolmá na ostatní. To zahrnuje obvykle dvě horizontální osy (X a Y) a jednu vertikální osu (Z), které umožňují posuvný pohyb koncového efektoru, jako je svařovací pistole, tisková hlava, nebo chapadlo, po definovaných lineárních trajektoriích. [9]

Pohyb je obvykle poháněn lineárními krokovými motory, nebo servomotory. Vzhledem k jeho struktuře poskytuje robot velmi přesný a přímočarý pohyb v každé z jeho os, což umožňuje provádět komplexní sekvence operací s vysokou opakovatelností. [16]

Pro řízení pohybu je obvykle používán počítač nebo specializovaný kontrolér, který umožňuje programování specifických úloh a trajektorií. Programování kartézského robota



je obvykle přímější a intuitivnější než u robotů s komplexnějšími kinematickými systémy, protože pohyby jsou lineární a nevyžadují komplexní výpočty. [16]

Kartézské roboty jsou obvykle používány pro aplikace, které vyžadují lineární, přesné pohyby, jako je 3D tisk, montáž, pick and place operace, aplikace pro paletizaci a celkově ve výrobních prostředích, kde je třeba přesného umístění a manipulace s předměty. [16]

Výhody:

- Vysoká přesnost a opakovatelnost pohybů
- Jednoduchost a přesnost programování
- Relativně nízké náklady na pořízení a údržbu oproti jiným typům robotů
- Dobrá integrace do automatizovaných výrobních linek

Nevýhody:

- Může zabírat více prostoru ve srovnání s SCARA roboty
- Omezení na lineární nebo pravoúhlé pohyby bez možnosti složitějších trajektorií nebo orientací
- Nižší dynamika pohybu ve srovnání s některými jinými typy robotů, jako jsou delta roboty

1.5.2.5. Kolaborativní robot

Kolaborativní robot, známý také jako cobot, zobrazen na *Obr. č. 25*, je typ průmyslového robota navržený k bezpečnému a efektivnímu spolupůsobení s lidskými operátory v sdíleném pracovním prostoru. Na rozdíl od tradičních robotů, které vyžadují bezpečnostní zóny a ochranné bariéry, coboty jsou vybaveny funkcemi a senzory, které jim umožňují pracovat bok po boku s lidmi.



Obr. č. 25: Fanuc, lehký kolaborativní robot CRX-5iA [27]

Kolaborativní roboty, jsou často vzhledově podobné svým průmyslovým protějškům s kloubovými rameny. Mají však pokročilé senzory, jako jsou síťové kamery a taktilní senzory, které umožňují detekci přítomnosti člověka a přizpůsobení svých pohybů tak, aby se zabránilo nehodám.

Nejdůležitějším aspektem kolaborativní robotů je jejich bezpečnostní design. Mohou obsahovat funkce jako je omezení síly, které zajistí, že v případě kontaktu s člověkem robot nepřesáhne bezpečné hladiny síly. Také mohou být vybaveny softwarovými omezeními rychlosti a průmyslovými standardy, které zajišťují bezpečnou spolupráci.

Mohou se pohybovat s vysokou úrovní obratnosti a přesnosti, ale typicky jsou nastaveny na nižší rychlosti ve srovnání s tradičními roboty, aby bylo zajištěno bezpečné spoluexistování s lidmi. Jejich pohyby jsou často programovány pomocí manuálního vedení, kdy operátor fyzicky pohybuje ramenem robota do požadovaných pozic a učí ho požadované úlohy. [17, 18]

Kolaborativní roboty se typicky využívají v lehkých montážních operacích, strojovém obsluhování, testování a kontrole kvality, přesné umístění a v dalších aplikacích, kde je důležitá spolupráce člověka a robota. [17, 18]

Výhody:

- Bezpečná interakce s lidmi bez potřeby ochranných bariér
- Flexibilní nasazení a snadná rekonfigurace pro různé úlohy
- Snížení rizika úrazů na pracovišti
- Přístupnost a jednoduchost programování pro širokou škálu uživatelů [17, 18]



Nevýhody:

- Omezená nosnost a rychlost v porovnání s tradičními průmyslovými roboty
- Může být dražší kvůli integrovaným bezpečnostním funkcím a pokročilým senzorům [17, 18]

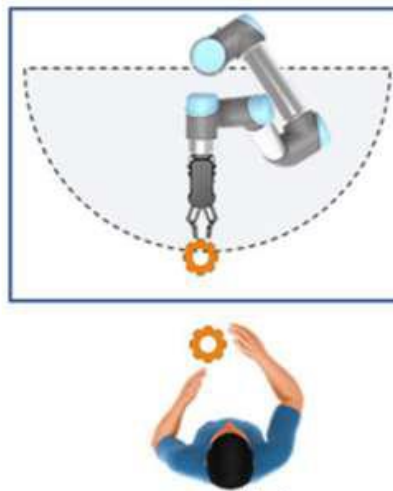
Kolaborativní roboty představují inovativní krok v evoluci automatizace, poskytují flexibilní a bezpečné řešení pro automatizované pracovní procesy, a umožňují využít výhod robotizace i v situacích, kde dříve nebylo možné roboty použít.

1.5.3. Typy pracovišť dle stupně spolupráce s člověkem

Začneme konvenčními robotickými pracovišti, kde jsou roboti z bezpečnostních důvodů fyzicky odděleni od lidí pomocí ochranných klecí. Poté přejdeme k modelu koexistenčnímu, kde se roboti pohybují ve volném prostoru a vyžadují pokročilé bezpečnostní systémy pro ochranu lidí ve svém okolí. Dále se podíváme na synchronizovaná pracoviště, kde robot a člověk pracují sice na stejném výrobku, ale nikoli současně, a rozdělení úkolů je klíčové pro efektivní pracovní proces. Nakonec rozebereme kooperační pracoviště, kde robot a člověk sdílejí prostor, ale stále na odlišných částech výrobního procesu. Dále kolaborativním pracovištím, která představují vrchol integrace člověka a robota, kdy oba společně a synchronně pracují na jednom dílu. [35]

Klecový

Robot je ovládaný v kleci a je vybavený systémem pro bezpečnostní zastavení nebo jsou instalovány světelné závěsy, které zajistí, že jakýkoliv vstup člověka do pracovního prostoru robota způsobí zpomalení nebo zastavení robota. Pracoviště je vyobrazeno na *Obr. č. 26*. Člověk nepřichází přímo do kontaktu s robotem ani s koncovým nástrojem robota. [35]



Obr. č. 26: Klecová varianta [35]

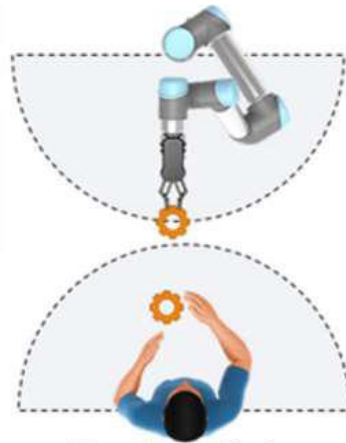
Když operátor nakládá díly robotu, umísťuje je na určené místo mimo pracovní prostor člověka, jako je otáčivý stůl nebo jiné přenosové zařízení. Člověk zůstává ve svém pracovním prostoru a pouze obrobek je přenesen robotu k zpracování. Klíčovým prvkem je mezičlánek (otáčivý stůl, dopravník apod.), který slouží jako zásobník nebo přenosový prvek mezi operátorem a robotem. Tento mezičlánek zabraňuje, aby člověk a robot pracovali v pracovním prostoru druhého. Avšak přidání tohoto hardware zvyšuje náklady, zabírá prostor a snižuje flexibilitu celku s ohledem na budoucí změny. Člověk nesmí vstupovat do pracovního prostoru robota. Pokud do něj vstoupí, je nutné, aby bezpečnostní systém zpomalil nebo zastavil robota. [35]

Robot je ovládaný bez přímého kontaktu člověka, s bezpečnostními prvky pro zastavení či zpomalení při vstupu do jeho pracovního prostoru. Části jsou nakládány operátorem na přenosové zařízení mimo pracovní prostor robota. Přítomnost mezičlátku zvyšuje náklady a snižuje flexibilitu. Výběr typu robota závisí na specifikacích výrobního procesu. Bezpečnost je zajištěna systémy, které zastaví nebo zpomalí robota, pokud člověk vstoupí do jeho pracovního prostoru. [35]

Koexistenční

Lidé a roboti spolupracují vedle sebe, ale nesdílejí společný pracovní prostor, tento typ pracoviště je zobrazen na Obr. č. 27. Mají nezávislé úkoly a každý z nich pracuje ve svém vlastním prostoru. [35]

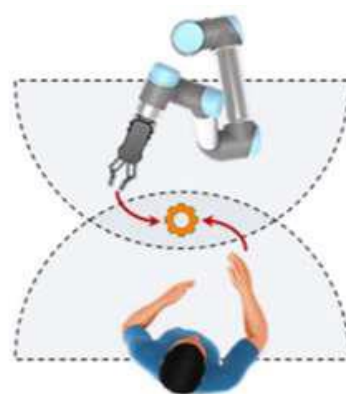
Z hlediska bezpečnostních požadavků by měl být robotický manipulátor omezený výkonem a silou. Pokud to není možné, musí být při vstupu člověka do pracovního prostoru robota zavedeno bezpečnostní zastavení a/nebo dohled nad rychlostí a odstupem. Cíle obou stran mohou být sjednoceny tak, že vykonávají práci na zpracovávaném kusu nebo vedlejší úkol pro ten samý konečný produkt, ale v žádném případě si nesdílejí přidělené úkoly. [35]



Obr. č. 27: Koexistenční varianta [35]

Synchronizované

Člověk a robot sdílejí společný pracovní prostor a společný cíl, tento typ pracoviště je zobrazen na Obr. č. 28, ale v daném okamžiku je v tomto sdíleném prostoru přítomen vždy jen jeden z nich a práci vykonávají střídavě. Montovaný předmět zůstává na svém místě a člověk nebo robot vykonává práci po sobě. Je důležité, aby bylo pečlivě zajištěno vyvážení pracovní zátěže, aby se využily potenciálně nevyužité zdroje. Úkoly musí být rovněž vyvážené tak, aby měl robot i člověk dostatek práce a aby, když jeden pracuje, mohl druhý partner vykonávat jinou úlohu. [35]

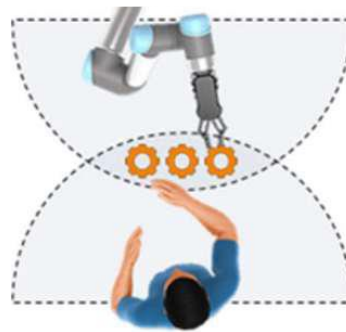


Obr. č. 28: Synchronizovaná varianta [35]

Součinné

Člověk a robot vykonávají sdílené úkoly ve společném pracovním prostoru viz *Obr. č. 29*, ale nepracují současně na stejném komponentu. Oba, člověk i robot, využívají společný pracovní prostor a jsou v něm přítomni zároveň. Každý z nich však pracuje na odlišném předmětu. Úkoly mohou probíhat náhodně nebo podle určité posloupnosti. [35]

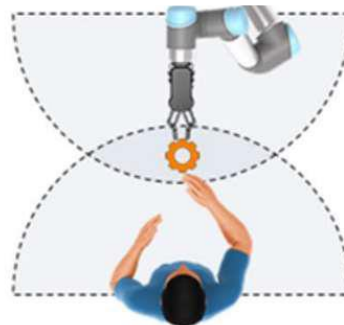
Jako příklad může sloužit situace, kdy člověk vykoná některé úkoly a přesune se k dalšímu obrobku, zatímco robot provádí na předchozích obrobkách sekundární úkoly. Dalším příkladem je, že člověk i robot, jsou schopni vykonávat úkoly se srovnatelnou přesností a opakovatelností, robot s pomocí vizuálního systému rozpozná, který komponent potřebuje asistenci, a začne na něm pracovat. [35]



Obr. č. 29: Součinná varianta [35]

Kolaborativní

Člověk a robot spolupracují na úpravě nebo sestavení stejného dílu zároveň viz *Obr. č. 30*. Robot musí být vybaven systémem pro vnímání svého okolí, aby byl schopen zaručit bezpečnost a mohl se flexibilně přizpůsobovat změnám v pracovním prostředí. Musí být dostatečně ovladatelný, aby mohl v reálném čase reagovat na překážky a upravovat svůj pohyb. [35]



Obr. č. 30: Kolaborativní varianta [35]



Tato varianta je technologicky velmi náročná, ale nabízí značné možnosti pro kombinaci automatizace a lidské práce, zejména u úkolů, které jsou z hlediska ergonomie náročné. [35]

2. Rešerše způsobů přesné robotické montáže

Přesná robotická montáž je proces, při němž roboti sestavují součástky nebo kompletní produkty s vynikající přesností a opakovatelností. Vysoký stupeň přesnosti je dosažen například díky konstrukci robotů, snímačů sil, robotického vidění, či matematických korekcí.

Roboty využívají rozmanitou sensoriku, jako jsou kamery a dotykové senzory k pečlivému sledování a přizpůsobování svých pohybů v reálném čase. Díky servomotorům a precizním vedením mohou roboty opakovaně vykonávat pohyby s přesností na desetiny až setiny milimetru. Software, kterým jsou roboty řízeny, obsahuje pokročilé algoritmy pro řízení, adaptaci a kompenzaci rušivých faktorů, což zvyšuje přesnost jejich operací. Pro udržení této přesnosti je zásadní pravidelná kalibrace, která zajistí, že roboty budou i nadále provádět úkoly s vysokou přesností, a to i v případě opotřebení nebo změn v jejich systému. Stabilitu a přesnost také podporuje robustní konstrukce robotů a použití kvalitních komponent, což minimalizuje vlivy jako jsou vůle, pružnost a vibrace. Aby roboty mohly efektivně manipulovat s různorodými komponenty, jsou vybaveny flexibilními koncovými efekty, které jsou schopné přesně chytit a manipulovat s objekty různých tvarů a velikostí.

Pro určení polohy a identifikaci komponent se často využívá pokročilé zpracování obrazu a strojové vidění. Tyto systémy umožňují robotům identifikovat a orientovat díly s velkou přesností. V některých případech se v robotice také využívá umělá inteligence, která umožňuje strojům učit se z předchozích operací a optimalizovat tak své procesy na základě zpětné vazby a detekce chyb. [21]

2.1. Snímače síly

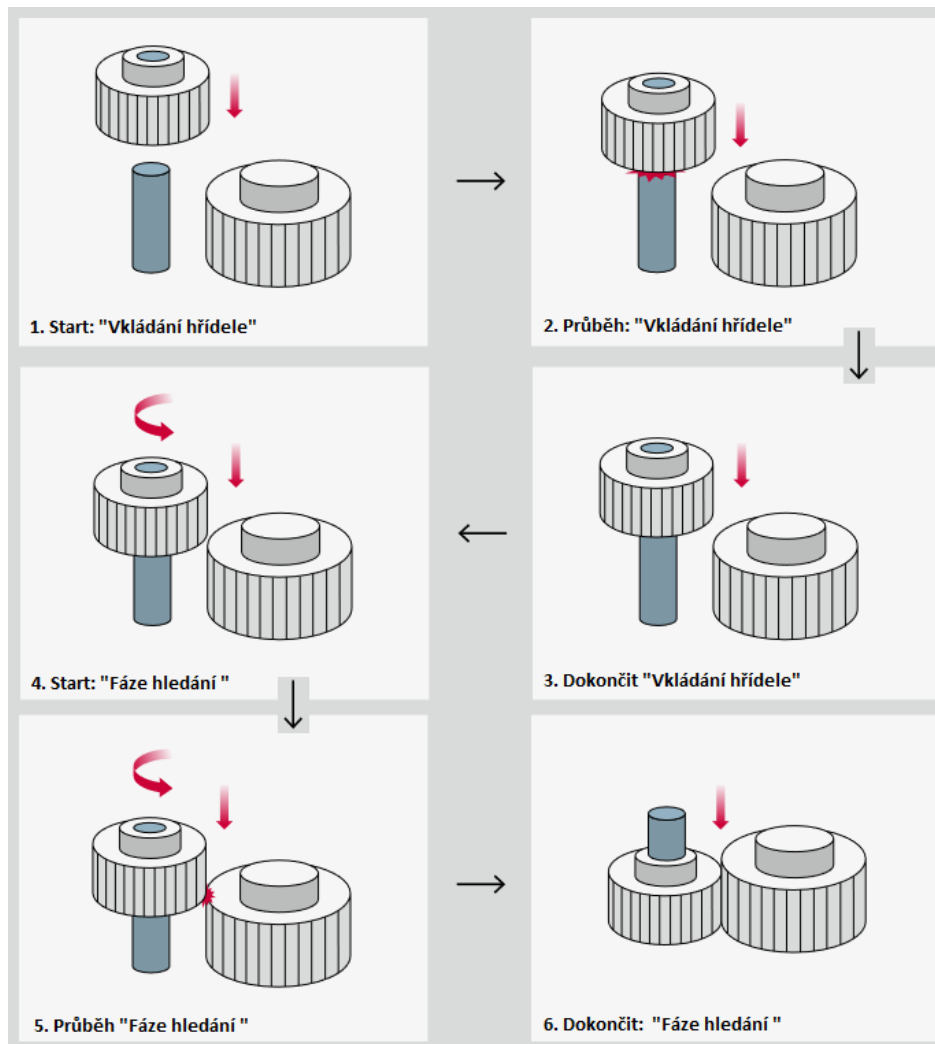
Snímače síly představují technologii důležitou pro automatizované procesy, jako je montáž, tvarové obrábění a kontrolní měření. Tyto snímače jsou vybaveny schopností detekovat sílu a moment v šesti různých osách, čímž robotům poskytuje vysokou úroveň hmatové citlivosti srovnatelnou s lidskými schopnostmi. Díky tomu mohou roboty nyní přebírat úkoly, které byly dříve vyhrazeny pouze pro vysoce kvalifikované pracovníky. Roboty se



snímači jsou schopni provádět složité montážní úkony, přesné tvarové obrábění a detailní měření s vysokou přesností a opakovatelností. Společnost Fanuc poskytuje tyto snímače ve čtyřech různých velikostech s nosností až 250 kg, což z nich činí flexibilní řešení pro různé aplikace. [19, 20]

2.1.1. Aplikace snímačů síly

Snímače síly jsou ve většině případů vybavené detekcí síly a momentu v šesti osách. Díky tomu mohou roboty aplikovat konzistentní tlak, přesně spojovat komponenty, vkládat hřídele a čepy, nebo montovat ozubená kola s vysokou přesností viz *Obr. č. 31*. Tato technologie umožňuje robotům provádět složité montážní úkoly s lidskou precizností a jemností, čímž zvyšuje efektivitu a kvalitu výrobních procesů. Snímače síly například umožňují robotovi aplikovat konstantní sílu při tlačení v jednom směru, a to až do dosažení nastaveného prahu kontaktu, poté pokračuje v tlačení s definovanou silou po potřebnou dobu. Schopnost zarovnání ploch dává robotům možnost přesného zarovnání a sladění ploch komponent. Další funkce snímačů síly je hledání otvoru, to umožňuje robotovi najít otvor pro vkládání hřídele nebo jiného objektu pohybem kolmo k otvoru. Funkce vkládání hřídele zajišťuje, že hřídel je správně zarovnána s otvorem před samotným vložením. Dalším příkladem aplikace snímačů síly je operace fázové zarovnání, která zajišťuje, že zuby ozubených kol nebo klíčové hřídele jsou přesně sladěny otáčením a zapojením do sebe před finálním vložením, čímž je zajištěn hladký a efektivní spoj. [19]



Obr. č. 31: Příklad funkce Fanuc force sensor [19]

Přesné vkládání

Při procesu přesného vkládání tyto snímače zajišťují, že roboty mohou manipulovat s díly a umisťovat je do upínacích zařízení s minimálními tolerancemi, což minimalizuje riziko zaseknutí a snižuje množství chyb. [19, 20]

Snímače síly umožňují robotům v procesu mechanické montáže provádět koordinované montážní operace, jako je sestavování převodovek, kde jeden robot drží základní komponentu, zatímco ostatní roboty přesně montují další součástky. Tato spolupráce mezi roboty zvyšuje produktivitu a zároveň udržuje vysokou úroveň kvality. [19, 22]

Přesná kontrola je zajištěna schopností robotů provádět kontrolní měření, například otvorů nebo hřídelí s vysokou přesností. Hmatová zpětná vazba při montáži je neocenitelná, protože inteligentní snímače umožňují robotům aplikovat konstantní tlak, který je klíčový



pro montážní operace, jako je spojování ploch, zasouvání hřídelí a osazování ozubených kol. [19, 22]

2.2. Strojové vidění

Termín strojové vidění se v současné době používá pro označení technologií, které jsou schopné automaticky provádět analýzu a interpretaci vizuálních informací, získaných z digitálních obrazů, typicky z kamery. Strojové vidění se skládá z kamery, objektivu, osvětlení a softwaru s procesorem pro zpracování dat. Aplikace strojového vidění je velmi široká, zahrnuje rozpoznávání a analýzu různých objektů, ať už jde o monitorování dopravy, identifikaci lidských obličejů, posuzování lidské aktivity, nebo sledování montážních procesů.

Klíčovým rozlišovacím rysem strojového vidění je jeho integrace do výrobních procesů a zaměření na specifické úkoly, jako je vizuální kontrola kvality, detekce defektů, měření objektů a sledování parametrů výroby. Dále umožňuje strojům „vidět“ a „rozumět“ svému okolí v rámci výrobního prostředí, což přispívá k zvýšení efektivity, přesnosti a bezpečnosti výrobních procesů. [36]

Strojové vidění se typicky využívá například pro:

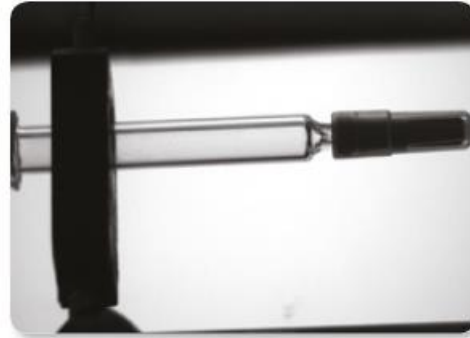
- Zajištění kvality
- Navádění robota
- Testování a kalibraci
- Řízení procesů v reálném čase
- Sběr dat
- Třídění, počítání [37]

2.2.1. Princip

Strojové vidění se při řešení úloh zaměřených na analýzu obrazu řídí principy velmi podobnými lidskému vnímání. Podobně jako oko zachytí obraz, kamera snímá scénu, kterou poté vyhodnocuje pomocí sofistikovaných algoritmů a na základě analýzy určuje vhodnou reakci. Pro technické účely lze systém strojového vidění pojímat jako sofistikovaný senzorický nástroj. [36]

Počítačové vidění umožňuje detailní analýzu vizuálních dat pomocí rozsáhlé matice pixelů, která zvyšuje přesnost a schopnost detekce. Specializovaný software poté

na tyto snímky aplikuje různé algoritmy, aby identifikoval rozměry, určil polohu hran, zachytil pohyb a určil vzájemnou polohu objektů. Příkladem je snímek pořízený CCD senzorem viz Obr. č. 32. [37]



Obr. č. 32: Snímek pořízen CCD snímačem [37]

Objektivy slouží k přenášení obrazu na senzor v podobě světelného signálu. Správný výběr objektivu je klíčový pro optimální výkon systémů strojového vidění a typicky se upřednostňují objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností. [37]

Osvětlení je možné aplikovat na snímek mnoha způsoby, kde směr, intenzita a barva světla, v porovnání s barvou objektu, jsou klíčové aspekty ke zvážení při designu systému počítačového vidění. Clona objektivu, která reguluje množství světla vstupujícího do kamery, expoziční čas, tedy dobu, po kterou je snímek vystaven světlu, jsou rovněž zásadní pro získání kvalitního snímku. [37]

Softwarové nástroje jsou po snímání obrazu aplikovány k jeho úpravě. Některé z nich se využívají pro předzpracování, jako jsou techniky pro zvýraznění hran a kontrastu, jiné pak slouží k identifikaci charakteristik zkoumaného objektu. Cílem předzpracování je připravit obraz pro efektivnější analýzu pomocí pokročilého softwaru. [37]

Hlavním cílem sběru dat během kontrolních procesů je umožnit jejich srovnání se standardními referenčními hodnotami a rozhodnout, zda zkoumané objekty splňují stanovené požadavky. Tento proces rozhodování se typicky vyjadřuje jako výběr mezi „akceptovat“ nebo „odmítnout“ apod. Při měřicích úkonech se pak získaná měření porovnávají s přesnými specifikacemi a přípustnými odchylkami. Při inspekci povrchů na přítomnost vad se zjištěné rozměry defektu porovnávají s limitními velikostmi definovanými kvalitativními standardy, aby se určilo, zda jsou defekty akceptovatelné nebo ne. [37]

2.2.2. Aplikace strojového vidění

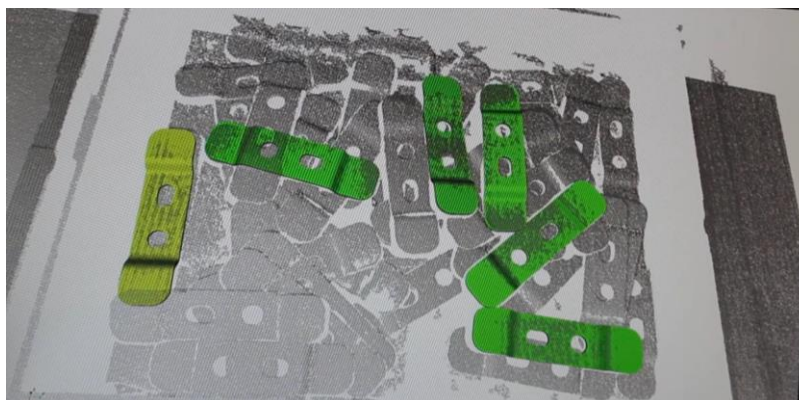
Bin picking

„Bin picking“ je termín používaný v oblasti robotického vidění a automatizace, který se vztahuje na proces, kdy robot identifikuje a manipuluje s předměty, které jsou náhodně rozmístěné v kontejneru nebo koši viz *Obr. č. 33*. V případě, kdy jsou předměty uspořádány nepředvídatelně, pro uchopení těchto předmětů je třeba pokročilé schopnosti rozpoznávání a manipulace. Příkladem způsobu identifikace pozice předmětů může být 3D skener Photoneo viz *Obr. č. 34* u kterého výrobce uvádí přesnost 25 až 500 μm .



Obr. č. 33: Bin picking [23]

Proces bin picking zahrnuje několik kroků, nejprve detekuje a rozpozná předměty pomocí kamer a senzorů, čímž systém získá polohu a orientaci předmětů viz *Obr. č. 34*. Následně naplánuje trajektorii robotického ramene pro uchopení předmětů, po uchopení robot přemístí předmět na určené místo. [21, 23]



Obr. č. 34: Bin Picking s Photoneo Phoxi 3D skenerem [23]

V mnoha systémech je zahrnuta zpětná vazba pro zajištění přesnosti a spolehlivosti. Robot může být vybaven senzory, které kontrolují úspěšnost uchopení a umístění dílu. Pokud dojde k chybě, systém se může adaptovat a upravit své akce pro další pokusy.

Pick and place

Na rozdíl od tradičních „pick and place“ aplikací, kde roboty opakovaně přemísťují předměty mezi pevně stanovenými pozicemi, roboty vybavené strojovým viděním mohou flexibilně reagovat na proměnlivé podmínky. To zahrnuje například odebrání předmětů z vibračních podavačů. Jejich přesné umístění je zobrazeno na *Obr. č. 35*. Tato schopnost adaptace umožňuje robotům efektivněji reagovat na dynamické výrobní požadavky a zvyšuje celkovou flexibilitu a efektivitu výrobních linek.



Obr. č. 35: Robot provádějící činnost pick and place [23]

V tomto případě je nad každým podavačem instalována vysokorozlišovací kamera, která zajišťuje velmi přesné navedení robota do pozice pro odebrání dílů s přesností až na $\pm 0,1$ mm. Za účelem možného odebrání i částečně překrytých výrobků, jsou výrobky osvětlovány spodním světlem pod průsvitnou deskou, ale i pomocí horního osvětlení, díky čemuž lze zjistit, překrytí součástek a identifikovat součástku, která je nejvýše. U dílů s komplexnějšími prostorovými charakteristikami se pak provádí matematická korekce nabírací pozice v 3D prostoru. [23]

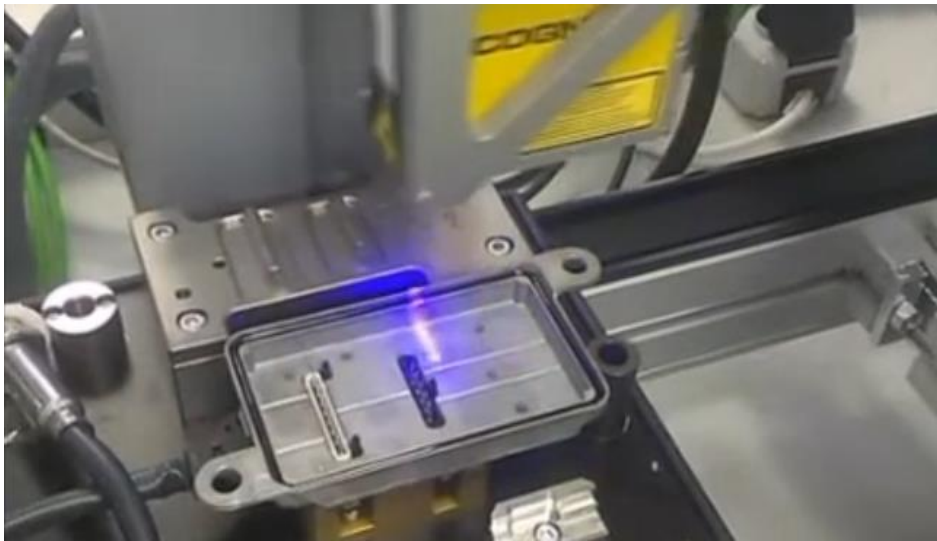
Montáž

Robotizované pracoviště s kamerovým naváděním umožňuje provádět složité precizní montáže. Systém zajišťuje kontrolu polohy jednotlivých dílů a jejich přesné navedení

do montážních pozic. Systém vizuálního rozpoznávání umožňuje robotům adaptovat se na variace v dílech nebo v jejich umístění. To znamená, že roboty mohou efektivně pracovat i v prostředích, kde se díly nebo jejich orientace mohou mírně lišit od jednoho cyklu k druhému.

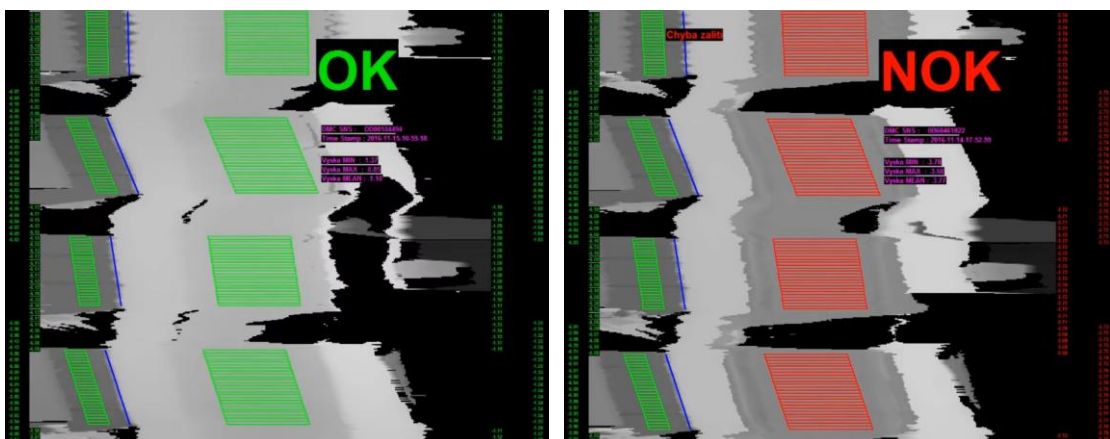
Měření

Pro kontrolu výrobků pomocí robotů může být použita technologie 2D, nebo 3D strojového vidění. Může jít o kontrolu výšky naneseného lepidla, nebo kontrolu, zda je těsnění správně umístěno v drážce apod. viz *Obr. č. 36*.



Obr. č. 36: Měření výšky lepidla v drážce 3D skenerem [23]

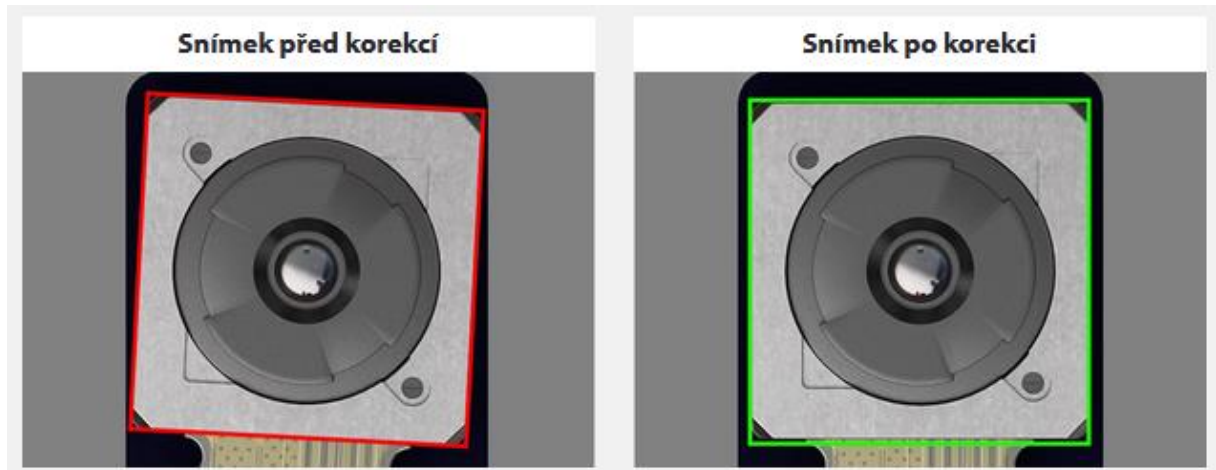
Po kontrolním měření následuje zpracování dat pomocí příslušného software. Příklad vizualizace dat je na *Obr. č. 37*.



Obr. č. 37: Vizualizace měření OK a NOK [23]

Polohování/zarovnání (2D)

Jednou z hlavních výhod robotického vidění je schopnost určit přesnou polohu a orientaci dílů viz *Obr. č. 38*. To umožňuje robotům přesně manipulovat s díly, což je zvláště důležité v případech, kde musí být díly umístěny nebo sestaveny s velkou přesností.

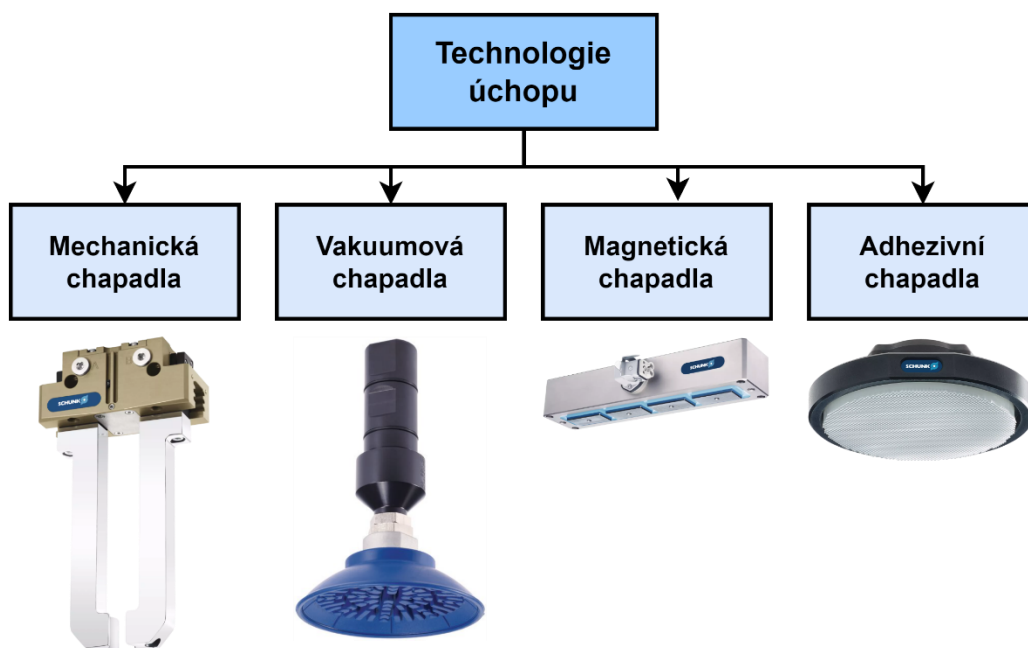


Obr. č. 38: Vyrovnání pro montáž modulu kamery [29]

Přesná kontrola polohy a orientace dílů pomocí robotického vidění výrazně snižuje pravděpodobnost chyb v montážním procesu, což vede ke zvýšení celkové kvality výrobků.

2.3. Chapadla

Chapadlo, známé také jako koncový efektor, je jednou z hlavních součástí robota, neboť přímo manipuluje s předměty. Výběr správného typu chapadla závisí na několika faktorech, jako je povaha manipulovaných objektů, rychlost a přesnost požadované manipulace a specifické požadavky pracovního prostředí. Správný výběr chapadla má zásadní vliv na efektivitu, přesnost a bezpečnost celého pracovního procesu. Dle technologie úchopu rozdělujeme chapadla dle *Obr. č. 39*.



Obr. č. 39: Rozdělení chapadel dle technologie úchopu [24]

Mechanická chapadla se obvykle sestávají z jednoho a více pohyblivých prstů, nebo čelistí. Tyto prsty nebo čelisti se mohou pohybovat buď symetricky nebo asymetricky, aby uchopily a pevně držely objekt. Tento typ chapadla je poháněn elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky a je schopen manipulovat s předměty s vysokou přesností.

Tento druh chapadla je schopen uchopit a pevně držet i těžké nebo robustní předměty, dle konstrukce mohou poskytovat velkou univerzálnost z pohledu možnosti manipulovat s předměty různých velikostí a tvarů. Mechanická chapadla mají několik variant viz *Obr. č. 41*. [26]

Vakuová chapadla vytvářejí vakuum mezi chapadlem a povrchem objektu. Toto vakuum se vytvoří odstraněním vzduchu z meziprostoru, což vede k vzniku tlakového

rozdílu, který drží objekt pevně při chapadle. Typicky se skládají z vakuového generátoru, často poháněného pneumaticky, uchopovacího prvku, jako jsou sací poháry a systému pro řízení vakua. Sací poháry mohou být vyrobeny z různých materiálů a mít různé tvary a velikosti v závislosti na aplikaci.

Jsou ideální pro manipulaci s hladkými a rovnými předměty, jako jsou skleněné desky, plechy, plastové nebo dřevěné panely a podobně. Mohou být také použita pro manipulaci s porézními materiály, jako je papír nebo karton, kde by jiné typy chapadel mohly způsobit poškození. Vakuová chapadla jsou schopna uchopit objekty bez rizika jejich poškození, což je důležité při práci s křehkými materiály. Díky schopnosti rychle a efektivně manipulovat s různými materiály, jsou často používány v automobilovém průmyslu a balicích aplikacích.

Magnetická chapadla využívají elektromagnety k vytvoření magnetického pole, které přitahuje kovové objekty a udržuje je pevně přichycené k chapadlu. Intenzita magnetického pole lze regulovat změnou proudu, což umožňuje kontrolu síly uchopení.

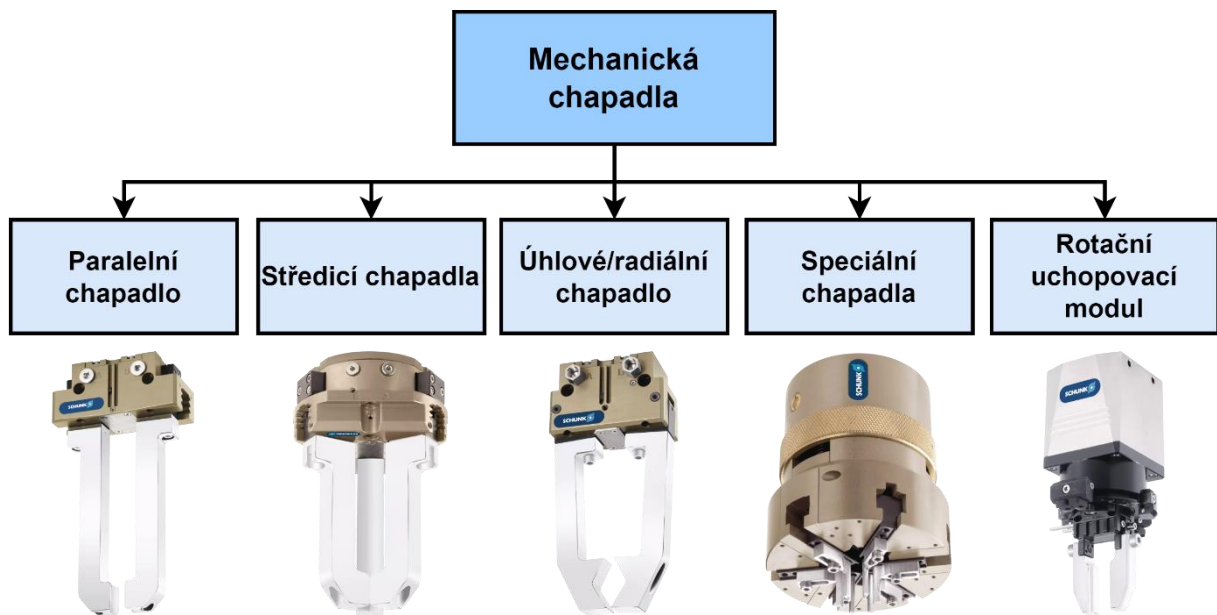
Nabízí bezpečnou a efektivní manipulaci bez fyzického opotřebení, což je důležité v prostředích s vysokým objemem produkce nebo kde je riziko poškození objektů jinými typy uchopení. [10] Jsou ideální pro manipulaci s různými druhy kovů, zejména s feromagnetickými materiály, jako jsou ocel a železo. Umožňují rychlé přesuny kovových dílů a jsou vhodná pro aplikace, kde je potřeba rychle měnit objekty nebo provádět opakované manipulační úkony.

Adhezivní chapadla mají na svých uchopovacích plochách speciální adhezivní materiály s extrémně jemnou strukturou, které beze zbytků přilnou k různým materiálům a předmětům. Tyto materiály mohou napodobovat mikroskopické struktury nalezené u některých zvířat, jako jsou gekoni, které jim umožňují přilnout k různým povrchům viz *Obr. č. 40.* [24]



Obr. č. 40: Adhezivní chapadla Schunk [33]

Tato adhezivní chapadla se používají pro manipulaci s jemnými, křehkými nebo citlivými objekty, u kterých by mohlo dojít k poškození při použití ostatních druhů chapadel. Vynikají v aplikacích, kde je potřeba vysoká přesnost a kontrola nad uchopením objektu, například v elektronickém průmyslu nebo při manipulaci s křehkými materiály. Díky jejich jemnému uchopení jsou vhodná pro situace, kde je důležité zabránit poškození povrchu objektu. Mechanická chapadla se dále rozdělují viz Obr. č. 41.



Obr. č. 41: Rozdělení mechanických chapadel [24]

Pro stanovení, zda je chapadlo schopno uchopit různé předměty pomocí mechanických chapadel, je důležité znát parametry těchto chapadel. Parametry jako jsou zdvih na čelist, uchopovací síla, délka prstů, opakovatelná přesnost, hmotnost obrobku, zavírací a otevírací časy, princip fungování, materiál těla a čelistí, vedení, spouštění (pohon) či schopnost udržení uchopovací síly. Důležitý je také druh pohonu chapadla, základní dva druhy jsou pneumatická, poháněna stlačeným vzduchem a elektrická, poháněna elektromotory.

Pneumatikky poháněná chapadla obvykle nabízejí větší sílu uchopení a jsou schopna rychlých pohybů, což je ideální pro aplikace vyžadující rychlé otevírání a zavírání. Obecně mají jednodušší konstrukci a mohou být robustnější a spolehlivější v náročných průmyslových prostředích. Vyžadují pravidelnou údržbu pneumatických systémů a mohou mít vyšší provozní náklady kvůli potřebě stlačeného vzduchu. Jsou často používána v aplikacích, kde je potřeba



rychlého a silného uchopení, jako je paletizace, balení nebo rychlé montážní operace. Přesnost a kontrola nad pohybem mohou být omezenější ve srovnání s elektrickými chapadly. [10]

Elektricky poháněná chapadla poskytují vysokou přesnost a opakovatelnost pohybů a mohou být energeticky efektivnější, zejména v aplikacích s nižší frekvencí manipulace. Jsou tedy ideální pro aplikace vyžadující vysokou přesnost, složité manipulační úkoly nebo kde je potřeba detailní kontrola pohybu, jako jsou montáže elektroniky nebo jemná manipulace. [10]

Paralelní chapadla mají čelisti, které se pohybují symetricky k sobě a od sebe, tento pohyb umožňuje paralelní orientaci vůči manipulovanému objektu. Konstrukce je ideální pro uchopení předmětů s rovnými a hladkými povrchy, jako jsou krabice, desky nebo díly s pravidelnými geometriemi. Poskytují stabilní a rovnoměrné uchopení, jsou vhodná pro přesnou manipulaci a jsou efektivní při automatizovaných montážních operacích.

Středící chapadla mají čelisti, které se pohybují radiálně směrem k centru objektu, což umožňuje středění objektu během uchopení. Používají se pro uchopení kruhových nebo válcových objektů, jako jsou trubky, válečky nebo různé rotační součásti. Zajišťují pevné a vycentrované uchopení, což je ideální pro operace, kde je důležitá přesnost umístění.

Čelisti úhlových chapadel se pohybují v úhlu (obvykle 90 stupňů), jenž jim umožňuje uchopení objektů z boku. Chapadla jsou vhodná pro situace, kde není možné přistupovat k objektu z vrchu nebo pro manipulaci s objekty v omezených prostorech. Umožňují flexibilitu v manipulaci a přístupu k objektům v komplikovaných nebo stísněných prostředích.

Speciální chapadla jsou navržena pro specifické aplikace a mohou mít unikátní charakteristiky nebo konstrukce, které nejsou obvyklé u standardních typů chapadel. Jsou navrhována a používána pro specifické průmyslové aplikace, jako je manipulace s velmi křehkými objekty, práce ve speciálních prostředích např. vakuových komorách, nebo manipulace s nepravidelně tvarovanými objekty. Poskytují řešení pro výzvy, které nelze řešit standardními typy chapadel a jsou často vysoce přizpůsobená pro konkrétní úkoly. [24]

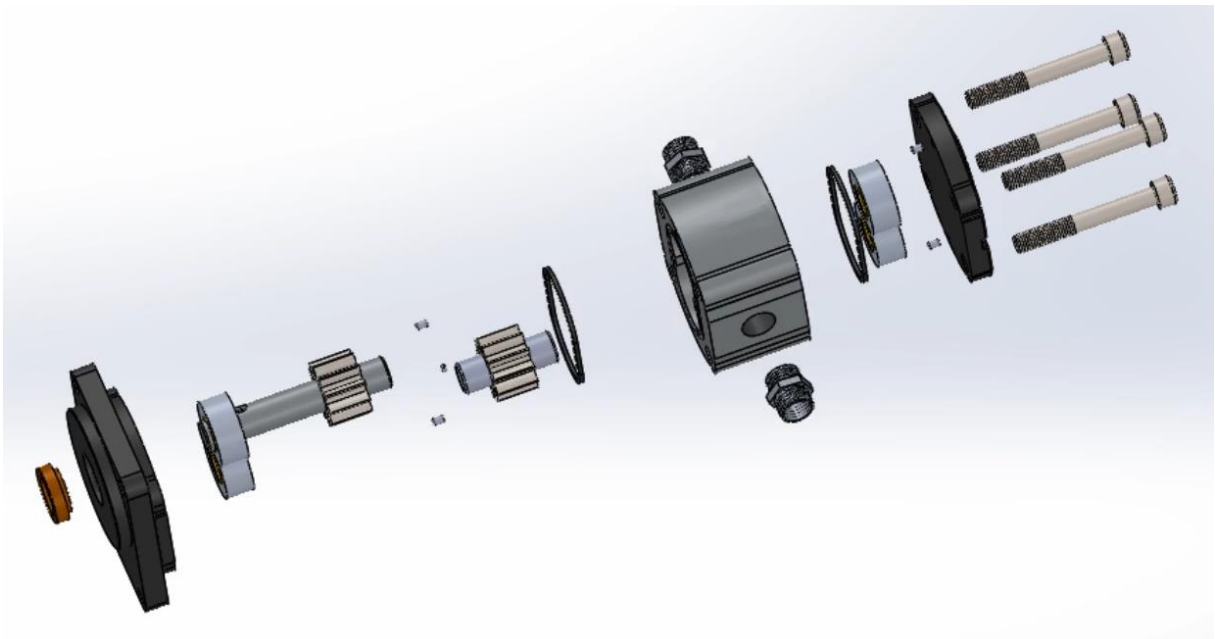
Rotační uchopovací moduly umožňují otáčet uchopenými objekty kolem jejich osy, což poskytuje větší flexibilitu při manipulaci. Toto je obzvláště užitečné v montážních aplikacích, kde je nutné přesně orientovat díly.

3. Stanovení parametrů pracoviště

Kapitola se zabývá stanovením parametrů robotického pracoviště montáže a příkladů pro volbu konkrétního robota pro přesnou montáž. Je důležité zvážit specifické požadavky aplikace, jako je velikost a hmotnost montovaných součástí, prostorové omezení nebo požadavky na přesnost a opakovatelnost. Možnosti uchopení dílů pomocí chapadel, schopnost pracoviště přizpůsobit se montáži podobných dílů apod.

3.1. Předmět montáže

Jedná se o jednokomorové zubové čerpadlo, které přeměňuje mechanickou energii např. z elektromotoru na hydraulickou energii ve formě tlaku a průtoku kapaliny, typicky oleje. Konstrukce s vnějším ozubením viz *Obr. č. 42*. Pro přesnější představuje je čerpadlo sestaveno a některé části jsou zprůhledněny na *Obr. č. 43*.















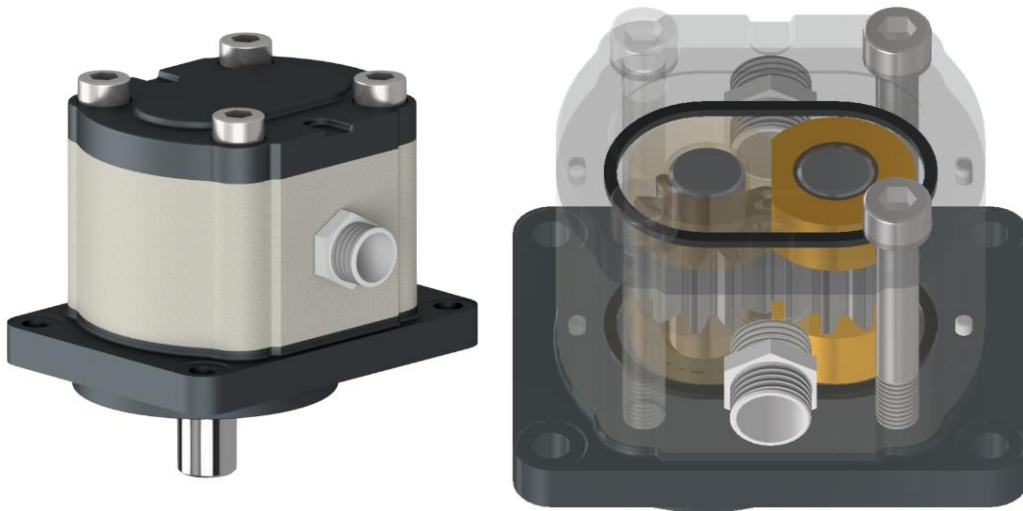
Obr. č. 42: Rozložená sestava zubového čerpadla

Výpis všech dílů potřebných ke složení jednoho čerpadla je zobrazen v následující *Tab. 1*. Tabulka také informuje o základních třech optimálních rozměrech, za který lze uchytit díl pomocí chapadla. Rozměry v závorkách jsou buď výška dílu, či nejsou optimální pro manipulaci běžnými chapadly.



Tab. 1 - Výpis dílů zubového čerpadla

Číslo	Obrázek	Název	Ks	Rozměry pro úchop [mm]			Hmotnost [kg]
				Rozměr 1	Rozměr 2	Rozměr 3	
1		Víko	1	84	100	(14.5)	0,142
2		Tělo	1	84	100	(54)	0,402
3		Příruba	1	90	120	(22.7)	0,275
4		Oválné těsnění	2	(2.2)	(44.7)	(77.8)	0,003
5		Kluzná ložiska	2	15.5	20	(37)	0,196
6		Hnací ozubené kolo	1	18	37	(105)	0,283
7		Hnané ozubené kolo	1	18	37	(53)	0,181
8		Čep 4x6	4	4	6	x	0,001
9		Šrouby M10 x 80	4	10	16	(90)	0,062
10		Závitová spojka	2	19	21.65	25	0,024
11		Gufero	1	(20)	(30)	(6.7)	0,004
12		Přípravek	1	94	100	130	0,242
Celkem							1,814

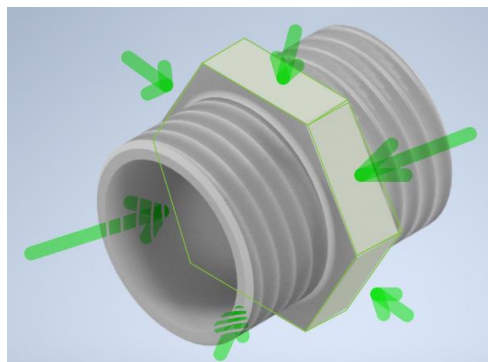


Obr. č. 43: Zubové čerpadlo

3.2. Možnosti uchopení

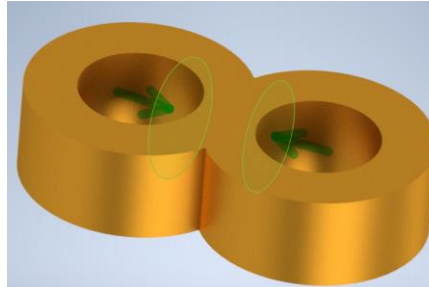
Kapitola se zaměřuje na optimální možnosti uchycení jednotlivých komponent čerpadla robotickými chapadly. Montáž zubových čerpadel představuje komplexní úkol, který vyžaduje precizní manipulaci s množstvím rozličných součástí – od robustních kovových dílů až po těsnění. Úspěch tohoto procesu závisí na pečlivém výběru bodů uchycení pro každou součást, což umožňuje robotům manipulovat s díly bez rizika poškození nebo nepřesného umístění. Tento odstavec obsahuje přehled jednotlivých dílů čerpadla a strategie pro uchopení.

V rámci manipulace se závitovou spojkou, zobrazená na Obr. č. 44, pomocí chapadla je potřebné, aby chapadlo dokázalo přesně identifikovat polohu a orientaci šestihranu. To může vyžadovat integraci s robotickým viděním, popřípadě přesně danou polohu a orientaci v přepravce, nebo zásobníku.



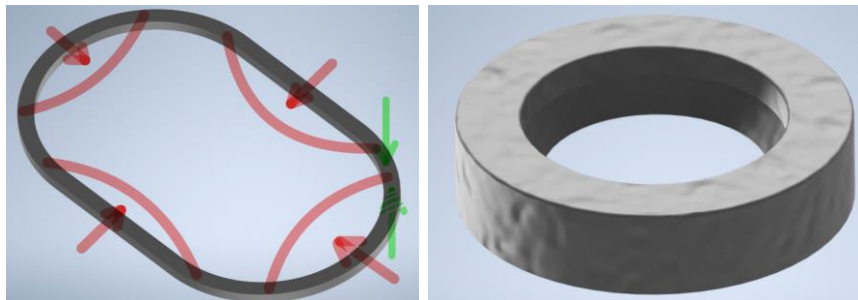
Obr. č. 44: Závitová spojka

Při manipulaci s kluznými ložisky, která jsou spojena čepem, je neoptimálnější uchycení z vnitřních stran kluzných ložisek viz *Obr. č. 45*, díky čemuž je zajištěna nejstabilnější manipulace.



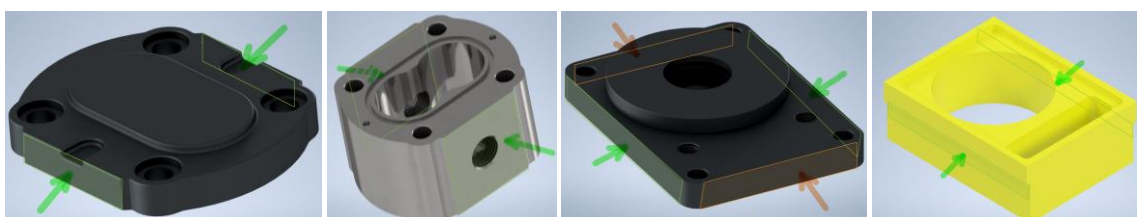
Obr. č. 45: Kluzná ložiska

Uchopení oválného těsnění a guferu představuje v robotice a automatizaci značnou výzvu. Těsnění vyrobená z měkkých a pružných materiálů, mají tendenci se deformovat, což komplikuje jejich přesné uchopení a manipulaci. Oválné těsnění a gufero jsou zobrazeny na *Obr. č. 46*.



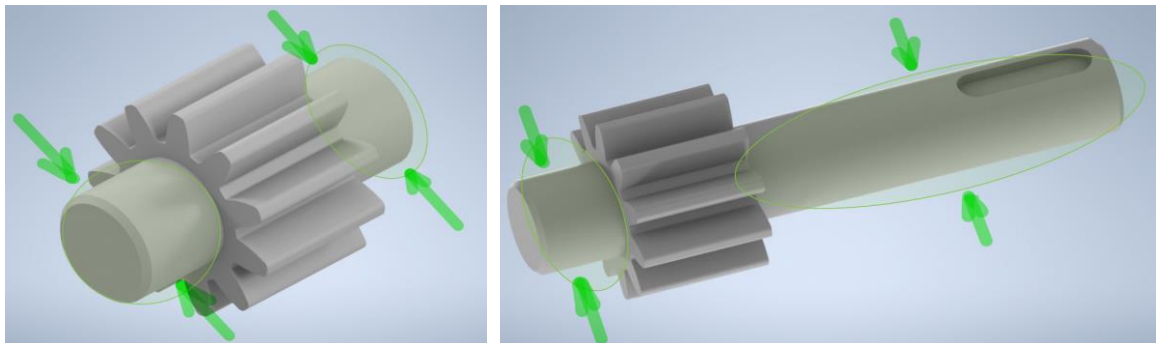
Obr. č. 46: Oválné těsnění a gufero

Při manipulaci s jednoduše uchopitelnými díly jako jsou víko, tělo, příruba a přípravek (*Obr. č. 47*) lze použít standardní robotická chapadla. Je tedy důležité vybrat chapadlo s vhodným zdvihem na čelist a vhodnou silou uchopení pro zajištění bezpečného a pevného uchopení.



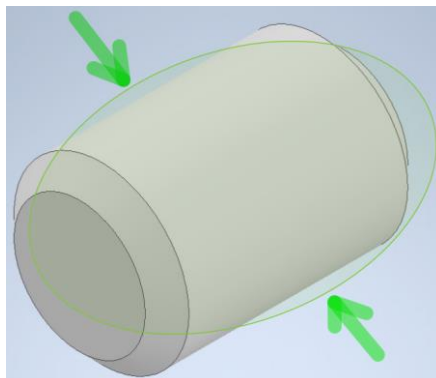
Obr. č. 47: Víko, tělo, příruba a přípravek

Pro manipulaci s hřídelemi (Obr. č. 48) je vhodné vybrat čelist, která nejlépe odpovídá tvaru hřídele. Vhodným typem chapadla je paralelní typ, který poskytuje stabilní a rovnoměrné uchopení, v ideálním případě středící chapadlo. Pro založení ozubení do sebe je vhodné použít například snímače síly.



Obr. č. 48: Hnaná a hnací hřídel s ozubením

Uchopení malých čepů (Obr. č. 49) o rozměrech 4 x 6 mm pomocí chapadla, představuje jemnou a precizní manipulační úlohu s pečlivě nastavenou silou úchopu. Možnými metodami, jak připravit tento díl pro uchycení chapadly, jsou pomocí bubnového vibračního zásobníku, či za pomoci robotického vidění a vibračního stolu.



Obr. č. 49: Čep

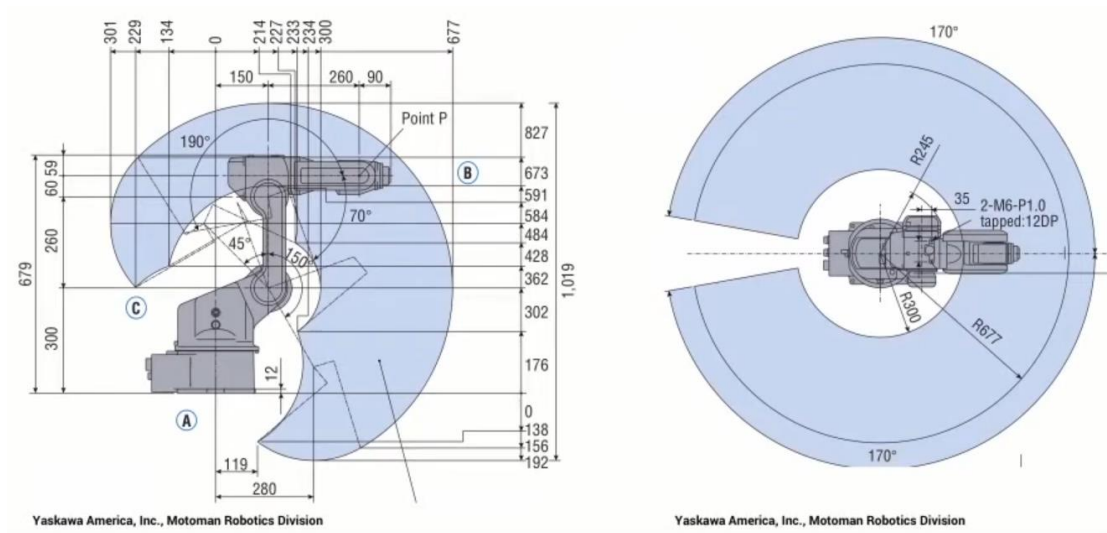
3.3. Pracovní prostor

Pracovní prostor robota je trojrozměrný prostor, ve kterém robot operuje. Zahrnuje všechny pozice a orientace, kterých může robot dosáhnout svým chapadlem nebo pracovním nástrojem. Každý robot má specifický pracovní prostor, který je určen jeho dosahem a konfigurací.



Obr. č. 50: Příklad pracovního prostoru SCARA robota SR-3iA [30]

Roboty SCARA mají obvykle pracovní prostor připomínající tvar válce (Obr. č. 50), s různými variacemi v průměru a hloubce válce. Celkové délky ramen jedna a dva definují průměr kruhu, zatímco zdvih Z definuje hloubku válce. Zadní oblast nemusí být použitelná, pokud kabely a pneumatické hadice vedou zezadu.



Obr. č. 51: Pracovní prostor angulárního robota Yaskawa Motoman SV3X [31]

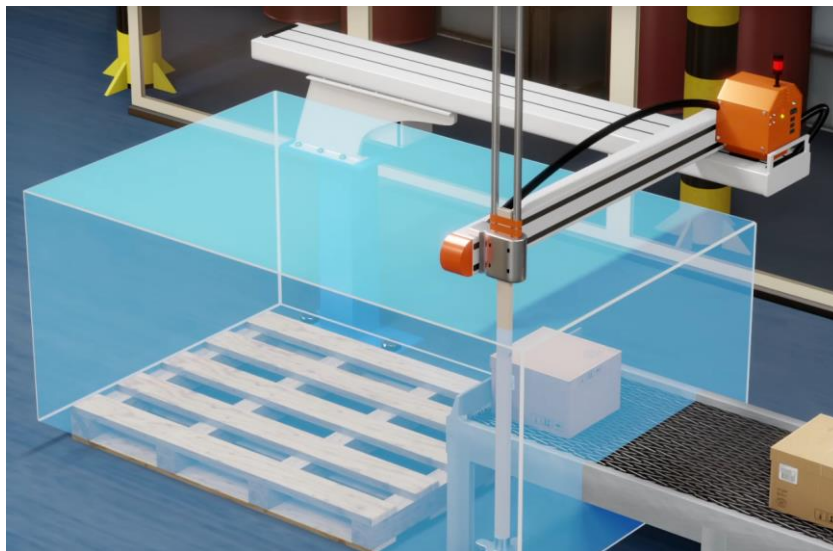
Tvar pracovního prostoru angulárního robota závisí na jeho konfiguraci a počtu os, čímž může vzniknout různorodý komplexní tvar. Každý kloub robota má omezený rozsah pohybu, který definuje celkový pracovní prostor. V některých konfiguracích vznikají

„mrtvé zóny“, kam robot nemůže dosáhnout. Příklad tvaru pracovního prostoru angulárního robota viz *Obr. č. 51*.



Obr. č. 52: Pracovní prostor tříosého delta robota společnosti ABB [32]

Pro tříosé delta roboty je typický pracovní prostor ve tvaru obráceného kužele (*Obr. č. 52*). Tento tvar je dán uspořádáním a délkou ramen robota. Delta roboty jsou známé svou schopností provádět rychlé pohyby, ideální pro manipulaci s předměty.



Obr. č. 53: Pracovní prostor kartézského robota [34]

Kartézské roboty mají pravoúhlý pracovní prostor (*Obr. č. 53*), pohybují se ve třech ortogonálních osách (X, Y, Z). Vertikální a horizontální dosah je určen rozsahem pohybu na každé ose, což umožňuje robotu manipulovat s objekty v jasně definovaném trojrozměrném prostoru.

3.4. Parametry dle typu robota od společnosti Fanuc

Výrobci robotů je velké množství, avšak z pohledu přesnosti většina poskytuje přibližně stejné výsledky. Pro usnadnění výběru robotů byla zvolena společnost Fanuc. Různé typy robotů, např. angulární, delta a SCARA, mají různé schopnosti přesnosti. Výběr vhodného typu robota je zásadní pro dosažení požadované přesnosti montáže. Dále pokročilé kontrolní systémy a softwarové algoritmy mohou významně zlepšit přesnost robotických operací. Použití senzorů a systémů robotického vidění pomáhá robotům přizpůsobit se proměnlivým podmínkám a udržovat vysokou přesnost.

Kolaborativní roboty řady CR a CRX

Řada robotů CR a CRX viz *Tab. 2* od společnosti FANUC představuje různorodou skupinu kolaborativních robotů, které jsou navrženy pro širokou škálu aplikací, včetně manipulace s materiálem, montáží, balení, testování a inspekce.

Tab. 2 - Porovnání kolaborativních robotů FANUC, řady CR a CRX [27]

Model Robota	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Max. nosnost na zápěstí (kg)	Max. dosah (mm)	Počet os
CR-7iA/L	± 0.01	55	7	911	6
CRX-25iA	± 0.05	135	25	1889	6
CR-4iA	± 0.01	48	4	550	6
CR-14iA/L	± 0.01	55	14	911	6
CRX-5iA	± 0.03	25	5	994	6
CRX-10iA/L	± 0.04	40	10	1418	6
CR-35iB	± 0.03	386	35/50	1831/1643	6
CR-15iA	± 0.02	255	15	1441	6
CR-7iA	± 0.01	53	7	717	6

Speciální modely, jako je CR-35iB, jsou vysoce nosné, což umožňuje manipulaci s těžšími předměty, zatímco modely s kratším ramenem, jako je CR-4iA, jsou ideální pro práci v omezených prostorech.

Vysoká přesnost a opakovatelnost zajišťují kvalitní a konzistentní výkon. Modely s vyšším nosným rozsahem, jako je CRX-25iA, umožňují manipulaci s většími náklady. Některé modely jsou speciálně navrženy pro aplikace v potravinářském průmyslu nebo pro práci v čistých místnostech.

Angulární roboty řady LR Mate

Řada robotů LR Mate 200iD od společnosti FANUC (Tab. 3) nabízí rychlou a přesnou manipulaci s díly nejčastěji v oblasti maximální hmotností 4 až 7 kg. Poskytují vysokou flexibilitu a přizpůsobivost pro různé aplikace v automatizaci. Úroveň přesnosti a produktivity lze zvýšit volitelnou inferovanou optickou a silovou inteligencí. Tato řada je univerzálně použitelná pro mnoho průmyslových aplikací.

Tab. 3 - Porovnání angulárních robotů FANUC, řady LR Mate [27]

Model Roboty	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Max. nosnost na zápěstí (kg)	Max. dosah (mm)	Počet os
LR Mate 200iD/14L	± 0.01	27	14	911	6
LR Mate 200iD/7WP	± 0.018	25	7	717	6
LR Mate 200iD/4S	± 0.01	20	4	550	6
LR Mate 200iD	± 0.01	25	7	717	6
LR Mate 200iD/7C	± 0.018	25	7	717	6
LR Mate 200iD/7LC	± 0.018	27	7	911	6
LR Mate 200iD/4SH	± 0.013	19	4	550	5
LR Mate 200iD/7L	± 0.01	27	7	911	6
LR Mate 200iD/4SC	± 0.013	20	4	550	6
LR Mate 200iD/7H	± 0.018	24	7	717	5

Modely, jako je LR Mate 200iD/7LC, jsou optimalizovány pro použití v čistém prostředí, tato optimalizace je zásadní v oblastech jako jsou farmaceutický průmysl, výroba polovodičů a další aplikace vyžadující vysokou úroveň čistoty. Krátko ramenné verze, jako je LR Mate 200iD/4S, jsou ideální pro operace, kde je potřeba práce v těsných prostorech. Model LR Mate 200iD/7WP jsou odolné proti mytí, což je důležité pro potravinářský průmysl

nebo tam, kde je vyžadována důkladná čistota. Verze s delším dosahem, jako je LR Mate 200iD/14L, umožňují manipulaci s těžšími předměty a mají širší pracovní prostor. Celkově tato řada angulárních robotů má lehkou konstrukci a poskytuje vysokou přesnost a opakovatelnost pohybů zajišťující kvalitu a konzistenci operací.

Angulární roboty řady M-10

Vhodná aplikace robotů z řady M-10iD od společnosti FANUC (Tab. 4) je například obsluha strojů a vysokorychlostní a přesné manipulační úkoly sběru a ukládání dílů. Tyto roboty jsou zvláště vhodné pro kompaktní výrobní linky, kde je důležitá jejich malá velikost a vysoká přesnost.

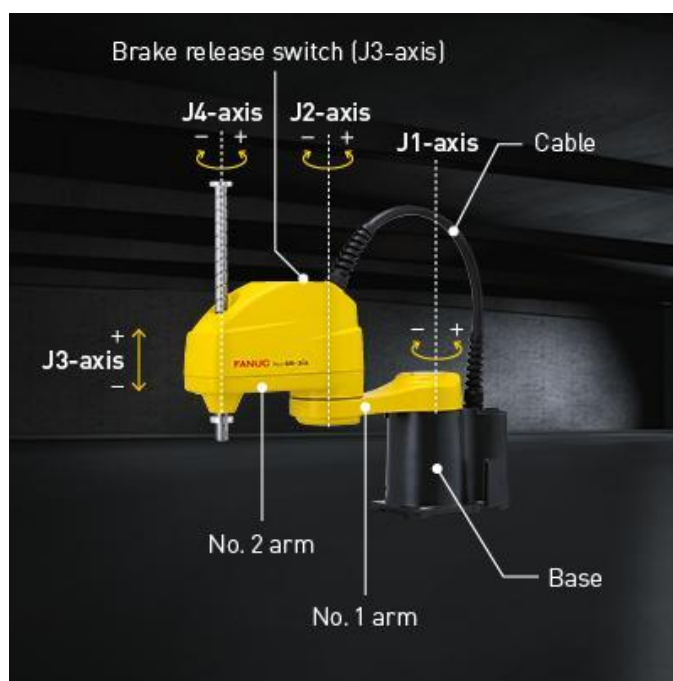
Tab. 4 - Porovnání angulárních robotů FANUC, řady M 10 [27]

Model Roboty	Opakovatelnost (mm)	Hmotnost (kg)	Max. nosnost na zápěstí (kg)	Max. dosah (mm)	Počet os
M-10iD/8L	± 0.03	180	8	2032	6
M-10iD/10L	± 0.03	150	10	1636	6
M-10iD/12	± 0.02	145	12	1441	6
M-10iD/12 (Potravinařská jakost)	± 0.02	145	12	1441	6
M-10iD/16S	± 0.02	140	16	1103	6

Kompaktní a lehký design umožňuje snadnou integraci do stísněných prostor a minimalizuje rušení s periferními zařízeními. Vysoká opakovatelnost a přesnost pohybů zvyšuje kvalitu a spolehlivost výrobních procesů. Plně integrované řízení kabeláže zabraňuje zádrhelům a usnadňuje čištění. Inteligentní softwarové řešení Zero Down Time umožňuje predikci stavu mechanických a procesních zařízení pro plánování údržby.

SCARA

Řada robotů SR od společnosti FANUC, známá jako SCARA roboty, je navržena pro vysokorychlostní pick and place aplikace, jsou ideální pro rychlé a přesné manipulační úlohy, jako je montáž, balení, testování a třídění. SCARA robot s jednotlivými osami je zobrazen na Obr. č. 54.



Obr. č. 54: SCARA robot s vyznačenými osami J1, J2, J3 a J4 [30]

Tabulka č. 12 Porovnání SCARA robotů FANUC, řady SR [27]

Model Roboty	Maximální zatížení (kg)	Max. dosah (mm)	Počet os	Opakovatelnost (J1, J2, J3) / J4 (mm)	Hmotnost (kg)	Maximální rychlost (°/s)	Ochrana
SR-3iA/C	3	400	4	±0.01 / ±0.004	21	1800	IP54
SR-6iA/C	6	650	4	±0.01 / ±0.004	32	2000	IP54
SR-3iA	3	400	4	±0.01 / ±0.004	19	1800	IP20
SR-6iA	6	650	4	±0.01 / ±0.004	30	2000	IP20
SR-12iA	12	900	4	±0.01 / ±0.005	53	2800	IP20 / IP65
SR-20iA	20	1100	4	±0.02 / ±0.01	64	2800	IP20 / IP65

SCARA roboty od Fanuc poskytují vysokou opakovatelnost pohybu, až ± 0.01 mm. Model SR-20iA nabízí vysokou nosnost až 20 kg. Řada SR poskytuje vysokou úroveň přesnosti a rychlosti pro automatizaci drobných montážních a manipulačních úloh.

3.5. Parametr krytí IP

Parametr krytí IP (Ingress Protection), označuje míru odolnosti elektronických zařízení proti vniknutí cizích objektů (jako jsou prsty, nástroje, nebo prach) a kapalin (například vody). Tento parametr se vyjadřuje dvouciferným kódem, kde první číslo popisuje úroveň ochrany proti dotyku a pronikání cizích předmětů a druhé číslo udává odolnost vůči kapalinám. Nejvyšší možný stupeň krytí IP je IP69, což značí maximální ochranu. Je však důležité si uvědomit, že IP krytí nebere v úvahu odolnost vůči agresivním chemikáliím, nebo prostředím. [25]

Tab. 5 - Stupně krytí před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů [25]

Stupeň krytí	Před nebezpečným dotykem	Před vniknutím cizích předmětů
IP 0x	Bez ochrany	Bez ochrany
IP 1x	Dlaní (>5×5 cm)	Velkých
IP 2x (IPxxB)	Prstem (>12,5×12,5 mm)	Malých
IP 3x	Nástrojem (>2,5 mm)	Drobných
IP 4x (IPxxD)	Nástrojem, drátem (>1 mm)	Velmi drobných
IP 5x	Jakoukoliv pomůckou	Prachu částečně
IP 6x	Jakoukoliv pomůckou	Prachu úplně

Příklady číselných kombinací a co znamenají:

Stupeň krytí IP20 nabízí základní ochranu proti vniknutí větších cizích částic, ale nechrání vůbec proti vlhkosti.

Stupeň krytí IP65 zajišťuje efektivní ochranu ve vlhkých prostředích, chrání zařízení proti tryskající vodě po dobu nejméně 3 minut ze vzdálenosti 3 metrů a zaručuje úplnou odolnost proti prachu a nebezpečnému dotyku.

Stupně krytí před vniknutím vody:

Tab. 6 - Stupně krytí před vniknutím vody [25]

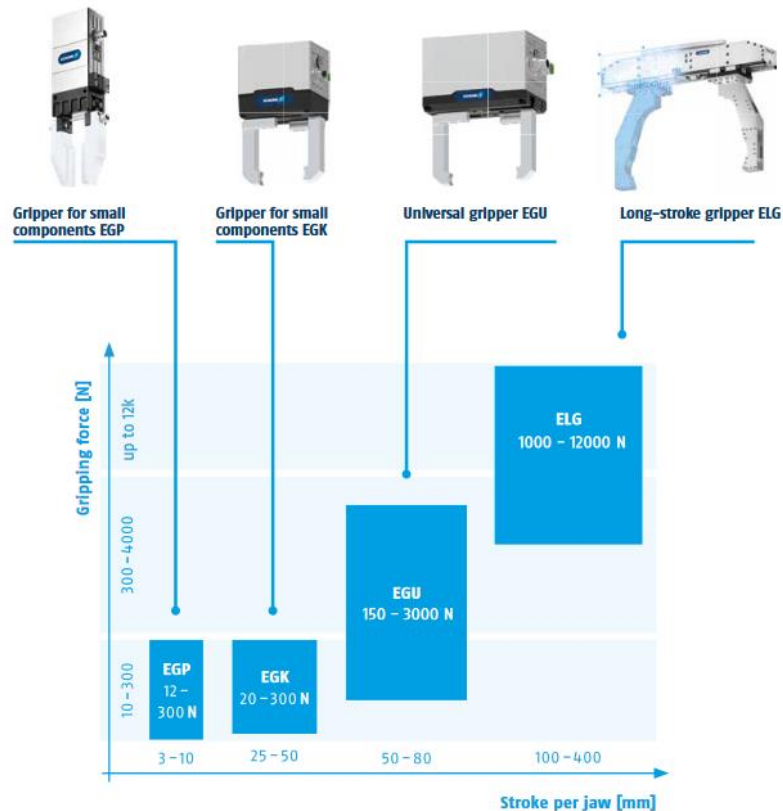
Stupeň krytí	Před vniknutím vody (specifikace IPX)
IP x0	Bez ochrany
IP x1	Chráněno proti kapající vodě 1+0,5 mm za minutu. Jednotka je umístěna ve své pracovní poloze a otáčí se kolem vertikální osy. Doba zkoušky 10 minut.
IP x2	Chráněno proti kapající vodě 3+0,5 mm za minutu, Jednotka je testována ve 4 pozicích, nakloněných o 15° od normální provozní polohy. Doba zkoušky 2,5 minuty na polohu.
IP x3	Chráněno proti vodní tříšti. Voda stříká na přístroj v úhlu 60° vertikálně, v množství 10 litrů za minutu a při tlaku 80–100kN/m ² po dobu nejméně 5 minut.
IP x4	Chráněno proti stříkající vodě. Stejně jako u IP x3, jen s rozdílem, že voda stříká ve všech úhlech.
IP x5	Chráněno proti tryskající vodě. Voda míří 6,3 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 12,5 litrů za minutu při tlaku 30 kN/m ² po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.
IP x6	Chráněno proti intenzivně tryskající vodě. Voda míří 12,5 mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 100 litrů za minutu při tlaku 100 kN/m ² po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.
IP x7	Chráněno proti ponoření do vody na 30 minut do hloubky 1 metr.
IP x8	Chráněno proti potopení do vody. Zařízení je schopné nepřetržitého potopení do vody za podmínek, které určí výrobce zařízení.
IP x9	Chráněno proti tryskající vysokotlaké teplé vodě.

3.6. Chapadla

Jedním z parametrů robotického pracoviště je druh chapadla, který bude manipulovat s předměty. Pro montáž zubového čerpadla je vhodnou volbou pro manipulaci s díly paralelní typ chapadla, která poskytují symetrické uchopení, což je ideální pro přesnou manipulaci s díly různých tvarů a velikostí. Odstraněním nutnosti výměny nebo úpravy chapadla pro uchopení různých dílů je zvýšena flexibilita montážního procesu a snížena doba potřebná pro přestavby a úpravy.

Při výběru chapadla je nutné zvážit sílu uchopení, která je vhodná pro bezpečné a stabilní uchopení dílů. Přílišná síla může poškodit díly, zatímco nedostatečná síla může vést k jejich upuštění. Zdvih čelistí určuje maximální a minimální velikost objektu, který může chapadlo uchopit. Je důležité si předem rozmyslet strategii manipulace s díly v rámci montáže.

Graf uchopovacích sil se zdvihy čelistí pro zvolené typy chapadel od Schunk lze vidět na Obr. č. 55. Nosnost chapadla musí odpovídat hmotnosti manipulovaných dílů. Požadavky na dynamiku pohybu neboli, jak rychle se bude chapadlo otevírat a zavírat. Důležitá je také kompatibilita s robotem, a to jak z hlediska mechanického připojení, tak z hlediska řídicího softwaru.



Obr. č. 55: Porovnání síly úchopu a zdvihu čelisti chapadel [24]

Z důvodu usnadnění výběru chapadel byla vybrána společnost Schunk. Chapadla od této společnosti jsou kompatibilní s technologií od společnosti Fanuc. Vlastnosti kvality a spolehlivosti poskytuje např. společnost Schunk, ačkoliv mohou být chapadla od společnosti Schunk v porovnání s některými konkurenty dražší, nabízejí lepší dlouhodobý výkon a spolehlivost, která činí z investice do jejich produktů výhodnou, dlouhodobou strategii. Dále poskytuje rozmanitou paletu chapadel, což umožňuje najít ideální řešení pro téměř jakoukoli aplikaci, od jemné manipulace s malými díly, až po manipulaci s velkými a těžkými předměty.



4. Návrh variant pracoviště a stupně robotizace

Kapitola se zaměřuje na prozkoumání a návrh tří rozdílných variant pracoviště pro montáž zubových čerpadel, které se liší stupněm robotizace, množstvím pracovníků, efektivitou a taktu montáže. Cílem je poskytnout komplexní přehled možností, jak lze využít robotické technologie v různých fázích montážního procesu a jaký dopad mají tyto technologie na celkovou efektivitu montáže.

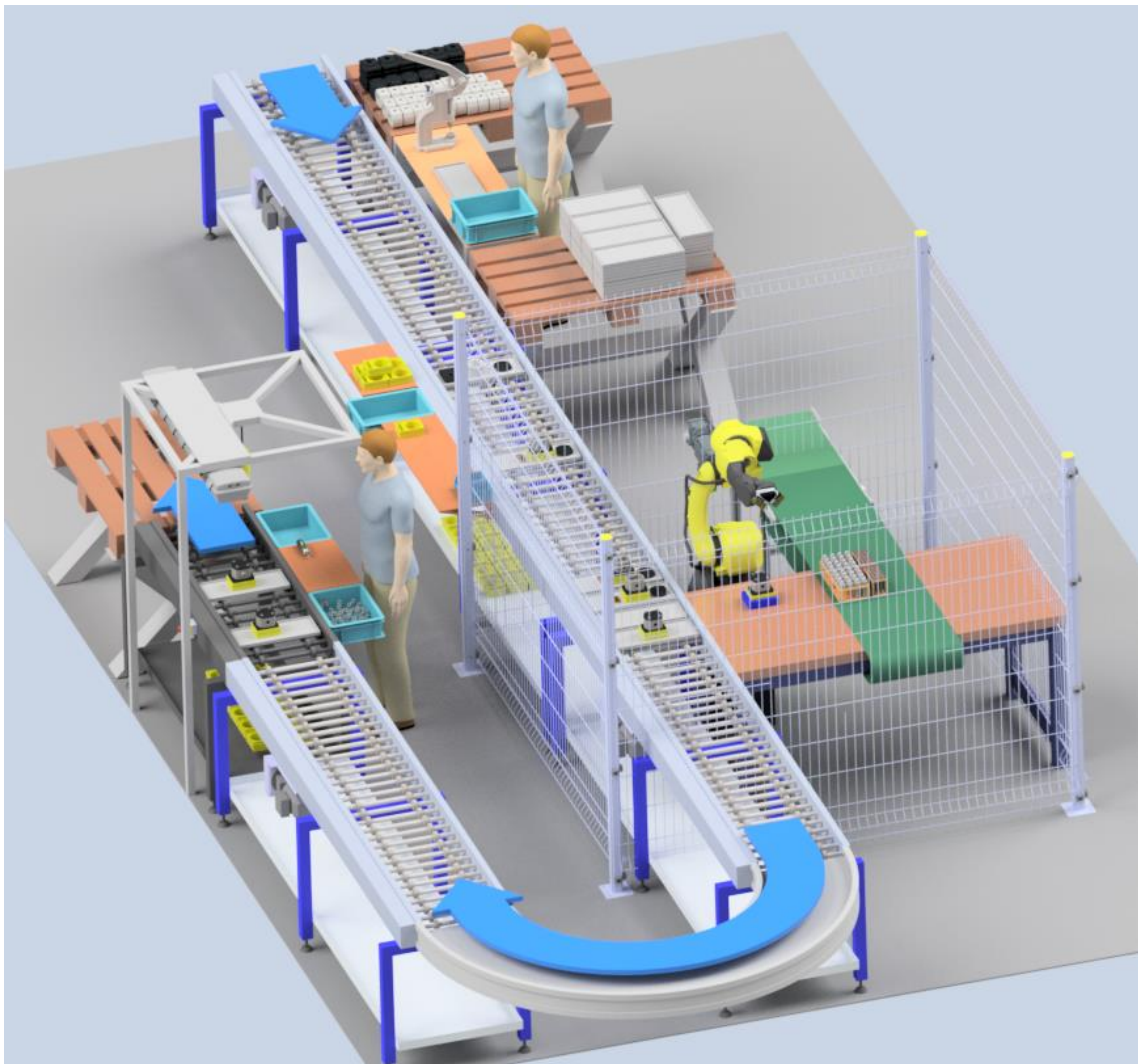
První varianta představuje pracoviště s jedním robotem, využívá jak lidské síly, tak robotů. Zaměřuje se na flexibilitu a adaptabilitu, avšak s menším důrazem na vysokou rychlost montáže. Tato varianta je ideální pro menší montážní série s nižším taktu montáže. Varianta obsahuje jeden angulární robot a dva pracovníky montážní takt je jedna minuta.

Druhá varianta má velký důraz na vysoký takt montáže, konkrétně 15 sekund. Tato varianta je založena na principu one piece flow a je navržena tak, aby zvýšila montážní kapacitu a efektivitu, Obsahuje jeden SCARA robot, jeden delta a jeden angulární robot, variantu celkově obsluhuje 6 pracovníků.

Třetí a nejkompexnější varianta je plně automatizované pracoviště. S taktu montáže 18 sekund je tato varianta zaměřena na maximální efektivitu, což je ideální pro dlouhodobou, nepřetržitou montáž vysokých objemů. Tato varianta navazuje na předchozí variantu s tím, že představuje návrh automatizace úvodních stanovišť. Varianta obsahuje 4 pracovníky, dva SCARA roboty jeden delta robot a jeden angulární robot.

4.1. Varianta číslo 1

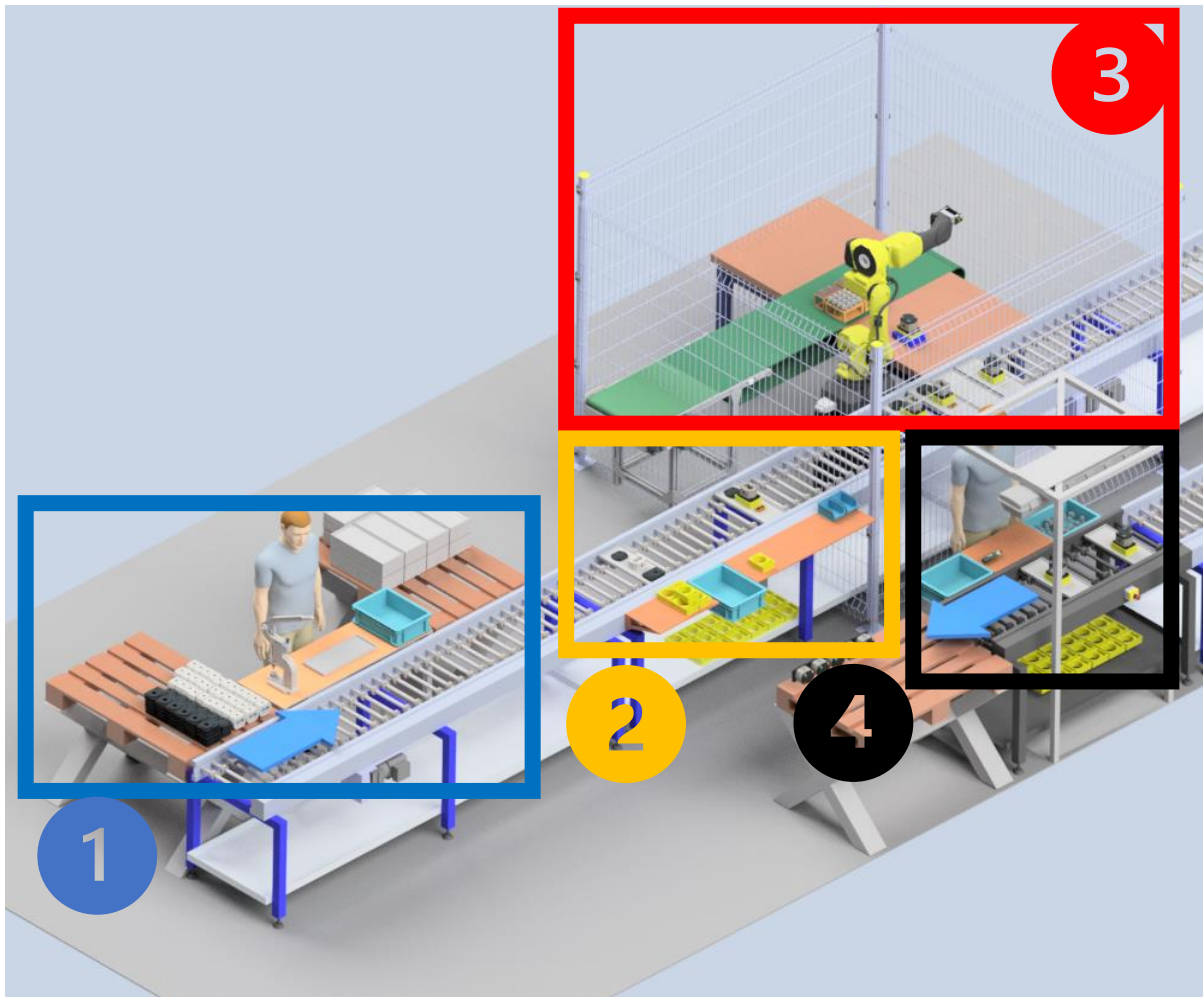
První varianta (Obr. č. 56) je navržena s cílem obsahovat co nejnižší počet pracovníků, s nízkými pořizovacími náklady a zároveň, aby poskytovala možnost přizpůsobení různým typům čerpadel. Pracoviště je obsluhováno dvěma pracovníky. Typ robota byl zvolen tak, aby i v případě montáže víceúhňových čerpadel byl schopný se zvýšenou hmotností stále manipulovat. Angulární šestiosý robot M-10iD/12 od společnosti FANUC, poskytuje vysokou nosnost až 12 kg a dosah až 1103 mm s opakovatelností ± 0.02 mm.



Obr. č. 56: Montážní pracoviště varianta č. 1

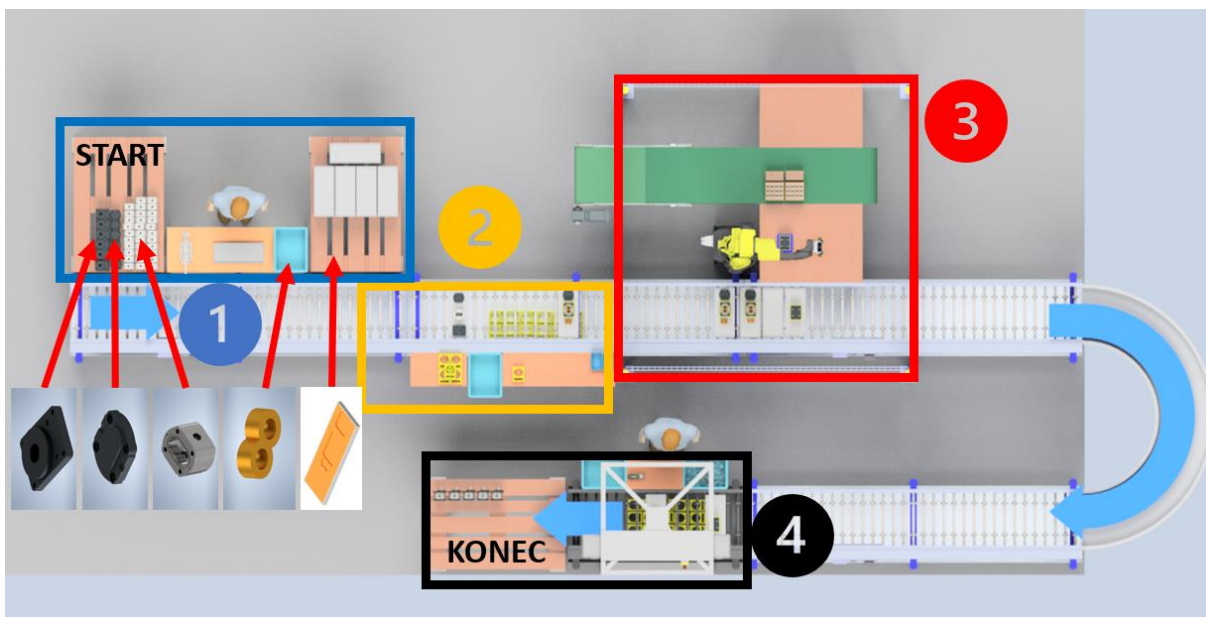
Pracoviště se skládá ze 4 stanovišť, která jsou zobrazena na Obr. č. 58. Stanoviště č. 1 obsluhuje operátor, který se stará o přípravu a zásobování dílů do všech stanovišť a v případě potřeby (např. odchod operátora na toaletu) pracovník zastane činnost operátora ze stanoviště 2 a 4. Zásobování a v případě potřeby náhrada pracovníka je možná díky bufferu

(rezervě) v podobě válečkového dopravníku. Stanoviště č. 2 a č. 4 jsou obsluhována jedním operátorem, 3. stanoviště je robotizováno.



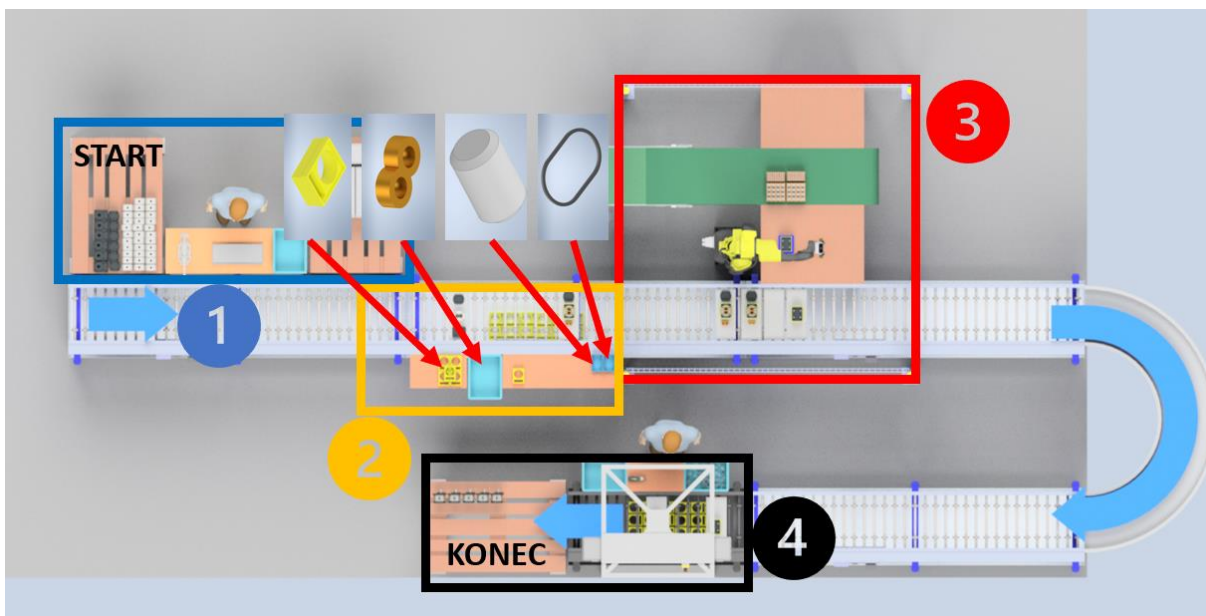
Obr. č. 57: Varianta č. 1: Rozložení stanovišť

Operátor na stanovišti č. 1 spojuje kluzná ložiska k sobě pomocí čepu a z palet vykládá na válečkový dopravník paletky, na které následovně umísťuje kluzná ložiska, tělo, přírubu a víko čerpadla viz Obr. č. 58.



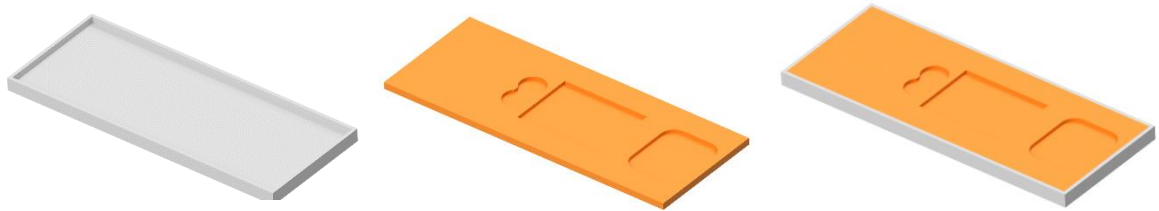
Obr. č. 58: Rozdělení pracovišť varianty č. 1, stanoviště č. 1

Stanoviště číslo 2, které je obsluhováno operátorem má za cíl vložení 4 čepů a kluzných ložisek do těla čerpadla, následuje vložení dvou oválných těsnění do drážek těla, založení těla čerpadla na přírubu a následně celou sestavu do přípravku. Po provedení těchto úkonů se operátor přesune na stanoviště číslo 4. Umístění jednotlivých dílů je zobrazeno na Obr. č. 59.



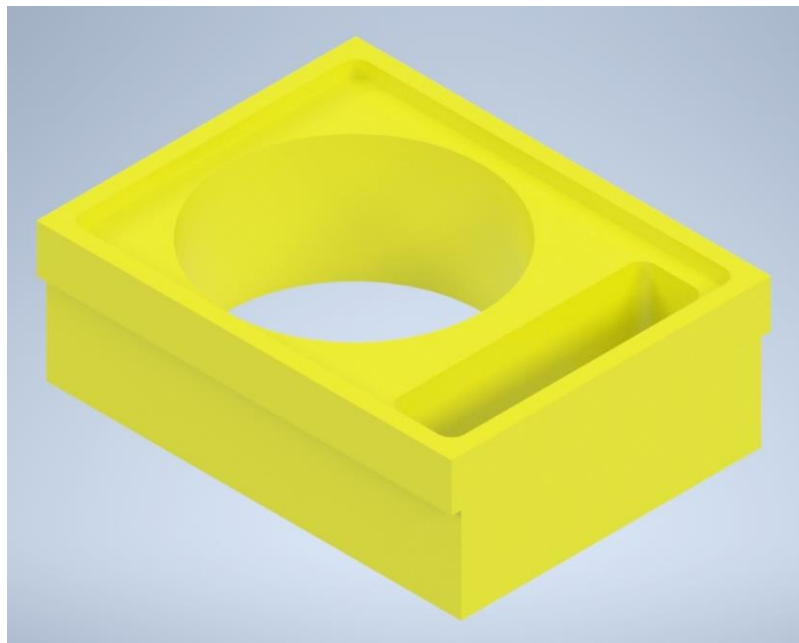
Obr. č. 59: Rozdělení pracovišť varianty č. 1, stanoviště č. 2

Do stanoviště číslo 2 jsou dopravovány pomocí válečkového dopravníku a paletky dopravovány 4 komponenty a to tělo, příruba, kluzná ložiska a víko čerpadla. Dopravní paletka s výplní pro uložení dílů na dané pozice jsou zobrazeny na *Obr. č. 60*



Obr. č. 60: Paletka s výplní

Z důvodu vyčnívajícího hnacího ozubeného kola bylo potřeba zkonstruovat přípravek, ve kterém probíhá montáž. Tento přípravek zároveň usnadňuje robotu manipulaci s celou sestavou, přípravek je zobrazen na *Obr. č. 61*



Obr. č. 61: Přípravek

Oba přípravky jsou navrženy tak, aby mohly být vytištěny pomocí 3D tiskáren s cílem snížení nákladů návrhu montážního pracoviště.

V rámci návrhu číslo 1, stanoviště číslo 2 operátor provádí činnosti dle *Tab. 7*, doba jednoho cyklu je 34 sekund.

Tab. 7 - Varianta 1, stanoviště 2, činnosti

Varianta č. 1						
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			Operace
			Start	Konec	Celk.	
Operátor stanoviště 2	Umístění příruby do přípravku	Manuálně	0	2	2	OP1
	Vyložení těla	Manuálně	2	4	2	OP2
	Vložení 2 čepů	Manuálně	4	9	5	OP3
	Vložení kluzného ložiska do těla	Manuálně	9	14	5	OP4
	Vložení oválného těsnění do drážky těla	Manuálně	14	19	5	OP5
	Uložení těla na přírubu	Manuálně	19	24	5	OP6
	Vložení oválného těsnění do drážky těla	Manuálně	24	29	5	OP7
	Vložení 2 čepů	Manuálně	29	34	5	OP8
	Celkem		34			

Časová analýza montáže zubového čerpadla byla prováděna pomocí 3D tištěných dílů viz Obr. č. 62



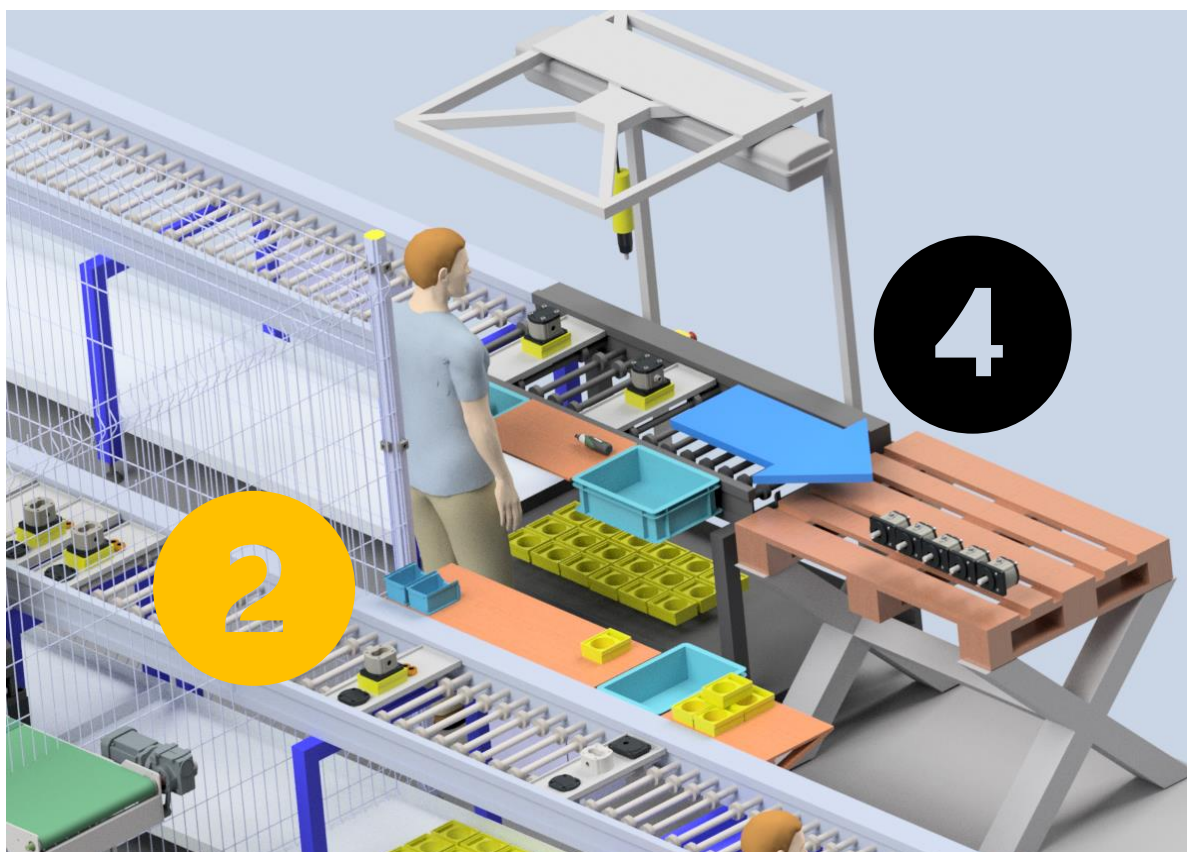
Obr. č. 62: 3D tištěná sestava zubového čerpadla

Operátor se po vykonání montáže na stanovišti číslo 2 přemístí na stanoviště číslo 4, viz Obr. č. 63, na kterém se věnuje finálním operacím dle Tab. 8 v rámci montáže zubového čerpadla.

Tab. 8 - Varianta 1, stanoviště 4, činnosti

Varianta č. 1						
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			Operace
			Start	Konec	Celk.	
Operátor stanoviště 4	Přesun operátora	Manuálně	0	2	2	OP1
	Šroubování šroubu 4x	Manuálně	2	8	6	OP2
	Nasazení a uražení závitové spojky 2x	Manuálně	8	18	10	OP3
	Vložení gufera	Manuálně	18	21	3	OP4
	Odebrání přípravku a odložení čerpadla	Manuálně	21	23	2	OP5
		Celkem	23			

Při cestě zpět na stanoviště č. 2 umístí čerpadlo na výstupní paletu a vezme si sebou přípravek, který hned použije na montážním stanovišti č. 2. Příslušenství stanoviště č., 4 paleta na hydraulickém zvedáku, vrtačka apod., je zobrazena na *Obr. č. 63*.

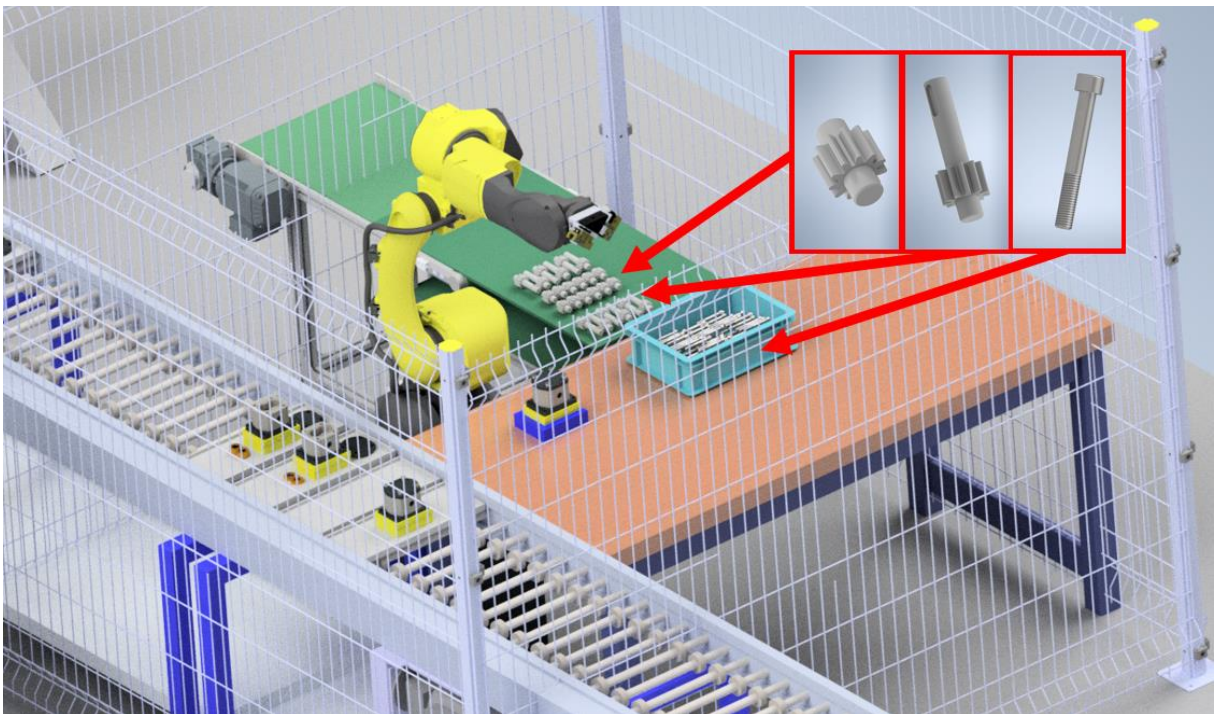


Obr. č. 63: Varianta č. 1, stanoviště č. 2 a 4

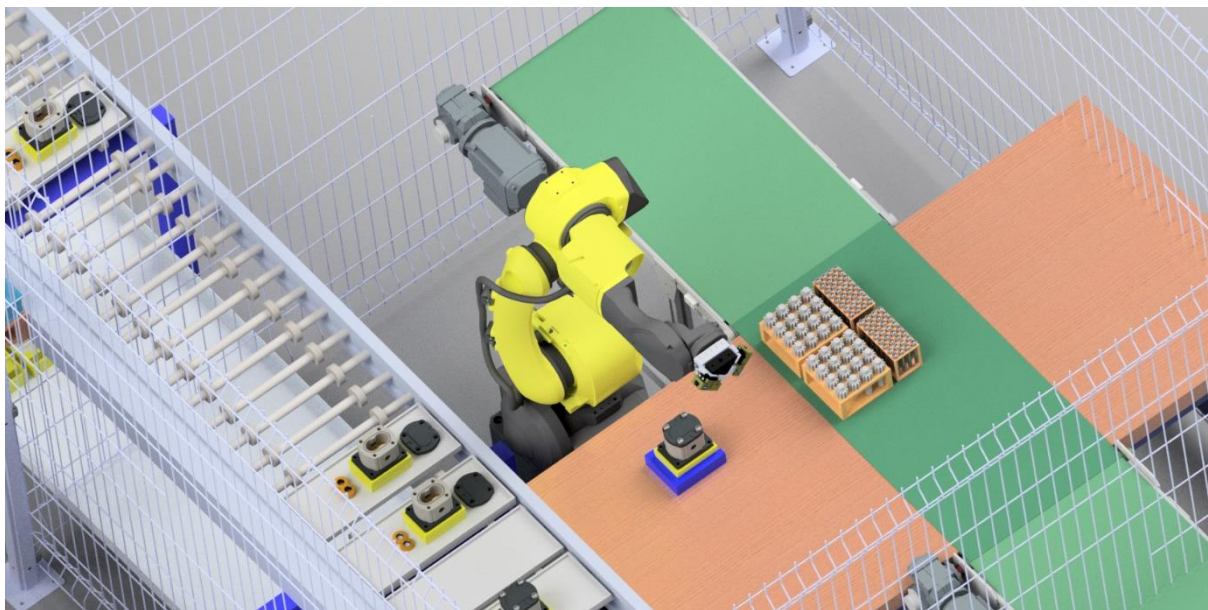
Stanoviště číslo 3, na toto stanoviště jsou dopravovány hlavní části zubového čerpadla ze stanoviště číslo 1 pomocí válečkového dopravníku. Robot Fanuc M-10iD/12 má za úkol nejdříve přesunout přípravek s montovanou sestavou do přípravku s dorazem.

Poté zavést hnané a hnací ozubené kolo do těla čerpadla. Tento návrh obsahuje dvě možnosti, jak manipulovat s ozubenými koly.

První možnost je na bázi 3D vision systému viz *Obr. č. 64*, druhá varianta počítá s zásobením ozubených kol v přepravkách s přesně danou pozicí s dorazy viz *Obr. č. 65*. Dalším krokem je manipulace s víkem a posledních operací je vložení šroubů do těla čerpadla. Manipulace se šrouby je také rozdělena na dvě varianty, variantu s 3D vision systémem viz *Obr. č. 64* a variantou, kde jsou šrouby umístěny v přepravkách s přesně danou pozicí s dorazy na pásu viz *Obr. č. 65*. Další variantou by mohlo být doplňování šroubů pomocí automatického vibračního podavače šroubů, avšak kvůli velikosti šroubů M10 x 80, tato varianta není v rámci návrhu cenově lukrativní. Po provedení všech těchto operací robot umístí čerpadlo v přípravku zpět na válečkový dopravník.



Obr. č. 64: Varianta č. 1, stanoviště 3, vision systém



Obr. č. 65: Varianta č. 1, stanoviště 3, paletky

Robotizované stanoviště číslo 3 provede všechny činnosti (dle Tab. 9) do 60 sekund. Pro přesné založení ozubených kol potřebuje robot M-10iD/12 doplněk snímače síly force sensor pro automatizovanou kompletaci. Pro odebírání ozubených kol a šroubů z pásu bez přepravky je potřeba doplněk 3D vision, který zároveň zvyšuje bezchybnost procesu.

Tab. 9 - Varianta 1, stanoviště 3, operace

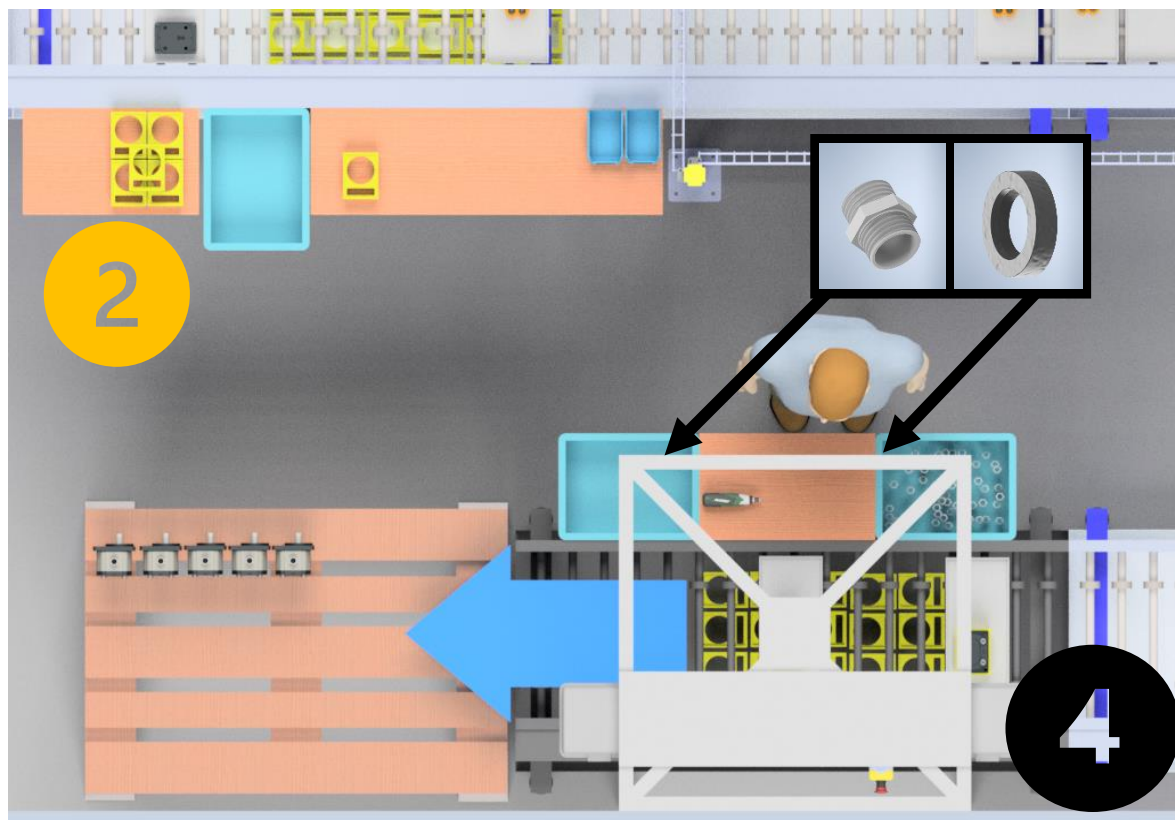
Varianta č. 1						
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			Operace
			Start	Konec	Celk.	
Robot stanoviště 3	Založení sestavy	Automatizováno	0	8	8	OP1
	Vložení hnacího ozubeného kola	Automatizováno	8	14	6	OP2
	Vložení hnaného ozubeného kola	Automatizováno	14	26	12	OP3
	Vložení kluzného ložiska do těla	Automatizováno	26	36	10	OP4
	Umístění víka na tělo	Automatizováno	36	41	5	OP5
	Umístění 4 šroubů	Automatizováno	41	55	14	OP6
	Manipulace se sestavou	Automatizováno	55	60	5	OP7
		Celkem	60			

K manipulaci s díly využívá robot aplikační sadu dvojitého chapadla MTB SG-JGP-P 100-1 se zdvihem na čelist 10 mm, díky které je schopen manipulovat s díly. Detailněji zpracováno v tabulce Tab. 10.

Tab. 10 - Manipulace s díly

Součást	Manipulant	Rozměr k uchycení [mm]	Ks
Přípravek	Chapadlo 2	84	1
Víko	Chapadlo 2	84	1
Kluzné ložisko	Chapadlo 1	10	1
Hnací ozubené kolo	Chapadlo 1	18	1
Hnané ozubené kolo	Chapadlo 1	18	1
Šrouby	Chapadlo 1	16 - 10	4

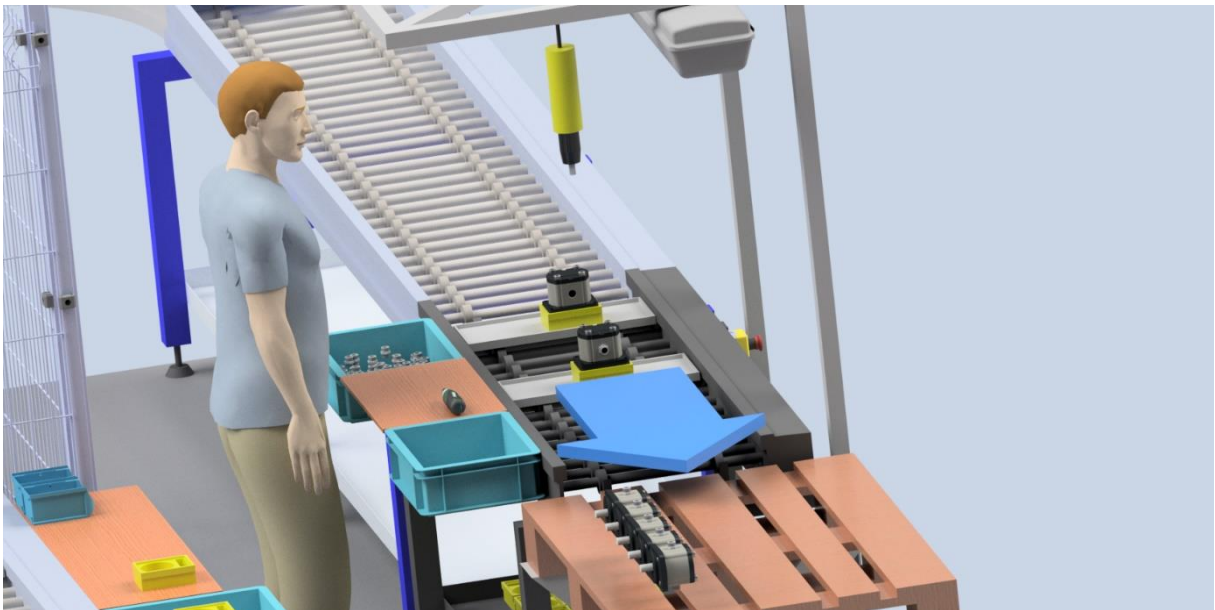
Poslední stanoviště v rámci návrhu varianty číslo 1 je stanoviště číslo 4 určené k utahování šroubů, závitových spojek a vkládání gufera viz *Obr. č. 66* a *Obr. č. 67*. Stanoviště obsluhuje stejný operátor, jako na stanovišti číslo 2.



Obr. č. 66: Varianta č. 1, stanoviště č. 4, pohled shora

Operátor zde utahuje šrouby pomocí závěsného elektrického šroubováku a závitové spojky pomocí elektrického šroubováku. Dále vloží gufero, po vložení gufera je čerpadlo kompletní a cestou k stanovišti č. 2 jej odkládá na paletu a zároveň si sebou nese přípravek,

který odebral na stanovišti č. 4. Přípravek využívá k první činnosti na stanovišti č. 2, což je umístění příruby do přípravku. Podrobně rozebráno v *Tab. 11*.



Obr. č. 67: Varianta č. 1, stanoviště č. 4

Celkově je návrh varianty č. 1 schopný montovat čerpadla s taktem 60 sekund pomocí jednoho robota, jednoho operátora a jednoho pracovníka zabývající se zásobováním, montáží kluzných ložisek a v případě potřeby nahrazením operátora. Návrh je univerzální a malými úpravami lze na tomto pracovišti montovat více druhů čerpadel. Operace a časy popisuje *Tab. 11*. Grantův diagram návrhu varianty č. 1 je zobrazen v *Tab. 12*.

Tab. 11 - Výpis činností a jejich časová náročnost návrhu varianty č. 1

Návrh varianty č. 1						Operace
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			Čas [s]
			Start	Konec	Celk.	
Operátor stanoviště 1	Umístění dílů na paletku	Manuálně	0	5	5	OP1
	Spojení valivého ložiska	Manuálně	5	13	8	OP2
		Celkem	13			
Operátor stanoviště 2	Umístění příruby do přípravku	Manuálně	0	2	2	OP1
	Vyložení těla	Manuálně	2	4	2	OP2
	Vložení 2 čepů	Manuálně	4	9	5	OP3
	Vložení kluzného ložiska do těla	Manuálně	9	14	5	OP4
	Vložení oválného těsnění do drážky těla	Manuálně	14	19	5	OP5
	Uložení těla na přírubu	Manuálně	19	24	5	OP6
	Vložení oválného těsnění do drážky těla	Manuálně	24	29	5	OP7
	Vložení 2 čepů	Manuálně	29	34	5	OP8
		Celkem	34			
Robot stanoviště 3	Založení sestavy	Automatizováno	0	8	8	OP1
	Vložení hnacího ozubeného kola	Automatizováno	8	14	6	OP2
	Vložení hnaného ozubeného kola	Automatizováno	14	26	12	OP3
	Vložení kluzného ložiska do těla	Automatizováno	26	36	10	OP4
	Umístění víka na tělo	Automatizováno	36	41	5	OP5
	Umístění 4 šroubů	Automatizováno	41	55	14	OP6
	Manipulace se sestavou	Automatizováno	55	60	5	OP7
		Celkem	60			
Operátor stanoviště 4	Přesun operátora	Manuálně	0	2	2	OP1
	Šroubování šroubu 4x	Manuálně	2	8	6	OP2
	Nasazení a uražení závitové spojky 2x	Manuálně	8	18	10	OP3
	Vložení gufera	Manuálně	18	21	3	OP4
	Odebrání přípravku a odložení čerpadla	Manuálně	21	23	2	OP5
		Celkem	23			

Varianta číslo 1 má střední stupeň robotizace a je vhodná pro malosériovou montáž zubových čerpadel. Zároveň zaměstnává menší počet pracovníků, což s kombinací malého množství robotů vede k montážnímu taktu 60 sekund. Delší takt může znamenat méně stresové pracovní podmínky pro pracovníky. Tato varianta poskytuje možnost přizpůsobení se různorodých montážních požadavků.

Tab. 12 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 1

Operace		Ganttův diagram Návrh varianty č. 1	
čas [s]			
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			

	Návrh varianty č. 1		
Op1	0-1		
Op2		2-3	
Op3			4-5
Op4			
Op5			
Op6			
Op7			
Op8			

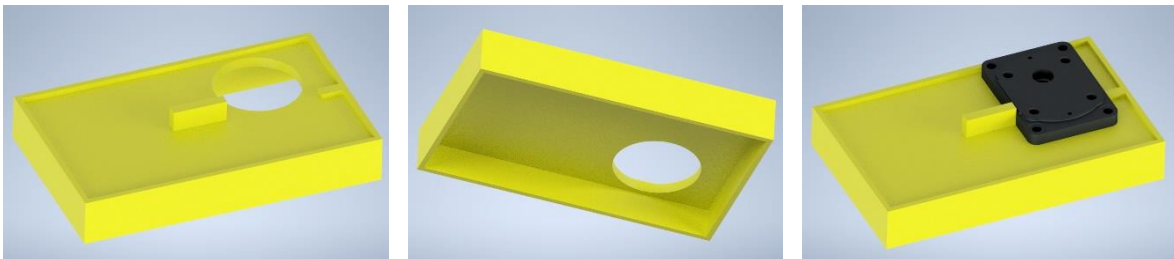
	Stanoviště 2 (manuální)		
Op1			
Op2			
Op3			
Op4			
Op5			
Op6			
Op7			
Op8			

	Stanoviště 3 (automatizované)		
Op1			
Op2			
Op3			
Op4			
Op5			
Op6			
Op7			

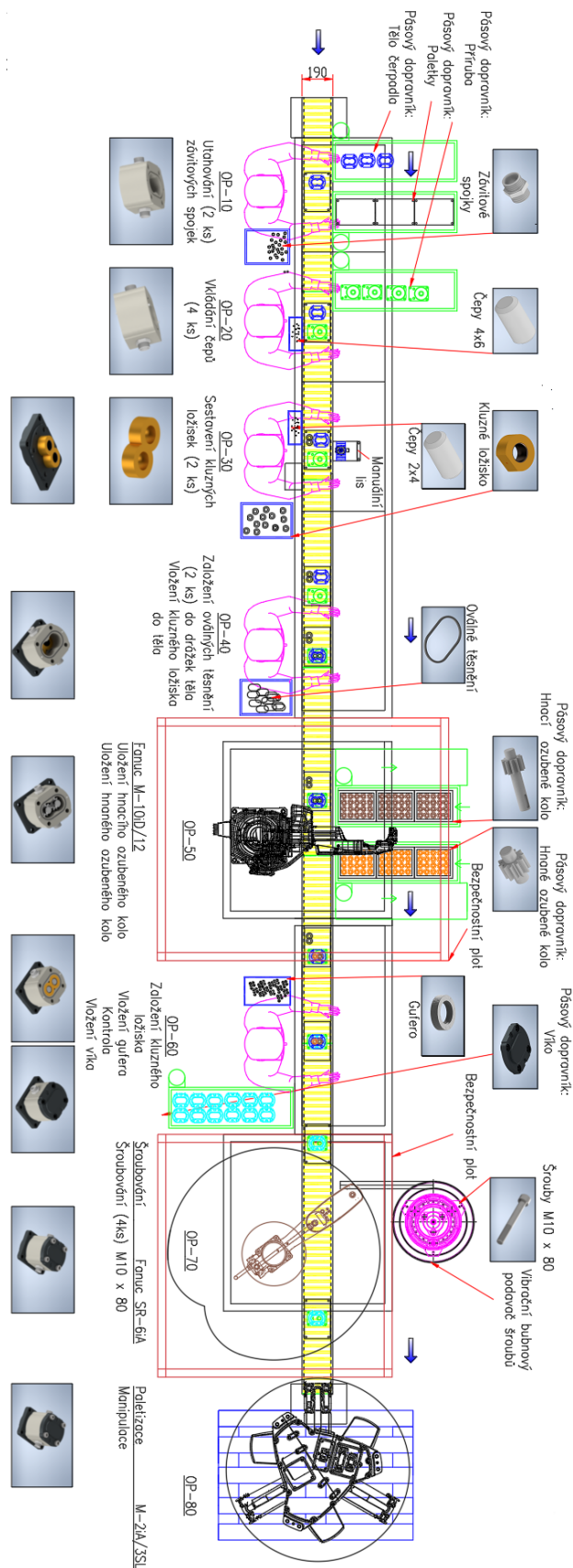
	Stanoviště 4 (manuální)		
Op1			
Op2			
Op3			
Op4			
Op5			

4.2. Varianta číslo 2

Druhá varianta (*Obr. č. 69*) je založena na principu one piece flow a se zaměřením na zvýšení montážního taktu čerpadel. Tento koncept (one piece flow) znamená, že každý kus produktu je zpracováván jednotlivě a plynule prochází celým montážním procesem bez zbytečných čekacích dob nebo skladování mezi jednotlivými kroky. Zubové čerpadlo je dopravováno na paletce pomocí válečkového dopravníku k jednotlivým montážním stanovištím. Návrh obsahuje tři roboty, první je angulární robot od Fanuc M-10iD/12 s maximální zátěží 12 kg dosahem 1441 mm. Druhý robot od Fanuc je SCARA SR-6iA s maximální zátěží 6 kg a dosahem 650 mm. Posledním robotem je Fanuc M-2iA/3SL, což je delta robot s maximální zátěží 3 kg a dosahem 1130 mm, který se zabývá paletizací. Díly čerpadla jsou dopravovány pomocí válečkového dopravníku na paletce s dírou viz *Obr. č. 68*. Dále je montážní linka obsluhována pěti operátory a jednoho pracovníka, který má na starost doplňování dílů a v případě potřeby nahrazení jednoho z operátorů montážní linky. Celkově tedy varianta obsahuje 8 stanovišť, 6 lidí a 3 roboty. (OP – 10 až OP 80). Montážní takt pracoviště je 15 sekund.

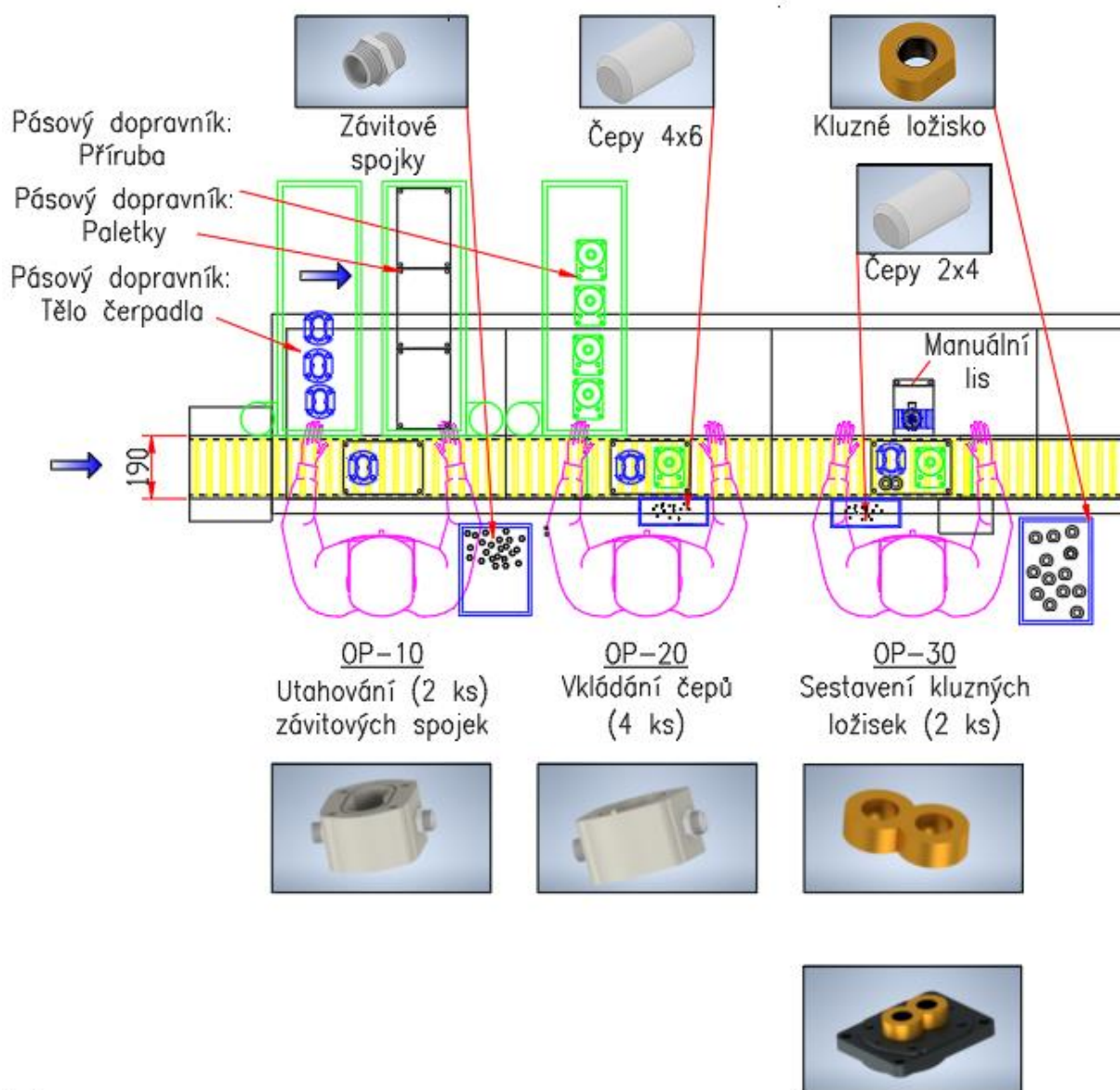


Obr. č. 68: Paletka s dírou



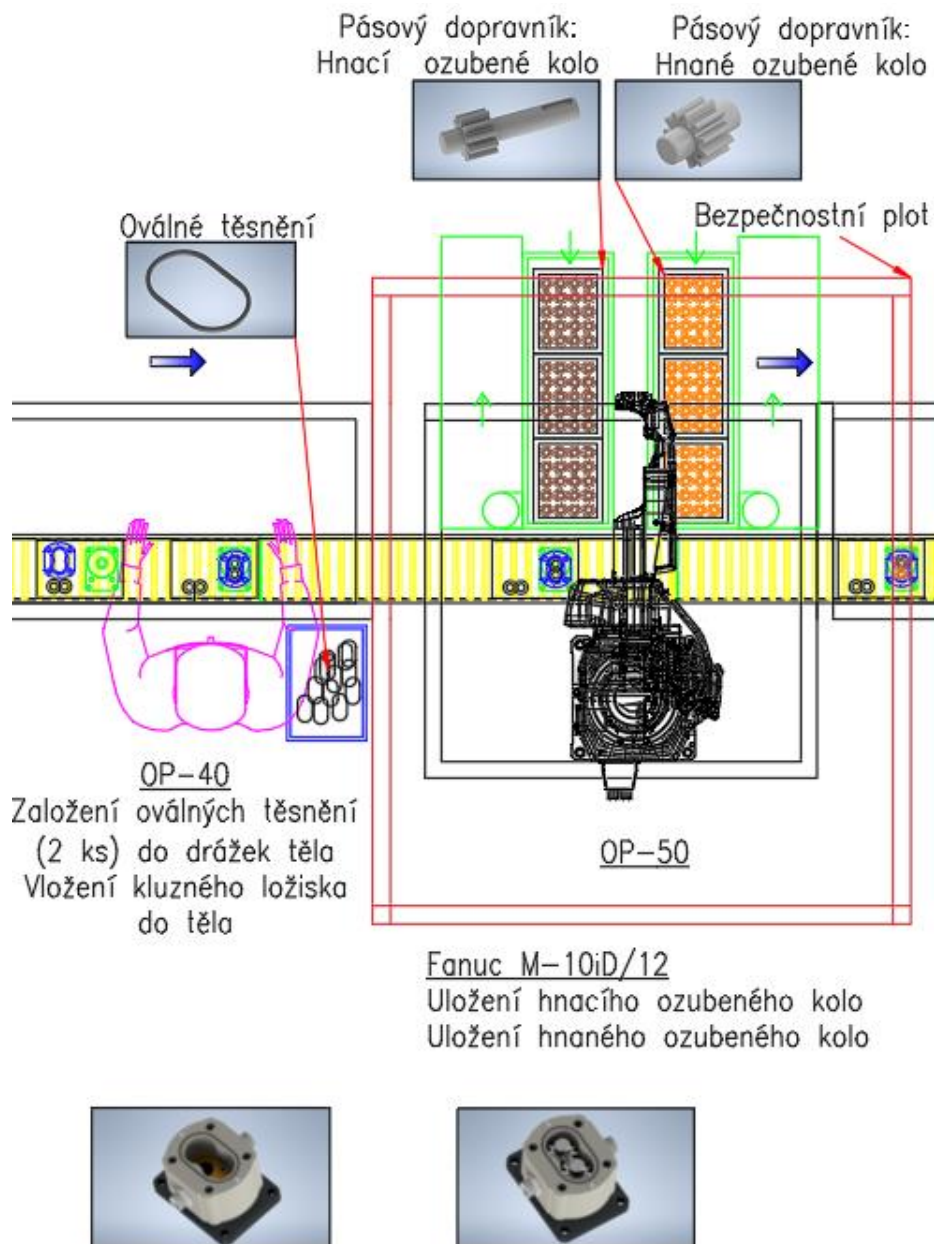
Obr. č. 69: Varianta č. 2

Stanoviště 1 (OP – 10) obsluhuje operátora, který přesune paletku s dírou na válečkový dopravník a poté na ni umístí tělo čerpadla. Pomocí elektrických šroubováků zašroubuje závitové spojky do těla čerpadla. Následuje stanoviště 2 (OP – 20), kde operátor zavede čtyři čepy 4 x 6 mm do těla čerpadla a položí přírubu čerpadla na paletku. Na stanovišti 3 (OP – 30) operátor zavede čep 2 x 4 mm mezi kluzná ložiska a pomocí manuálního lisu stlačí k sobě, tuto operaci provede dvakrát. Stanoviště č. 1, 2 a 3 jsou zobrazena na Obr. č. 70.



Obr. č. 70: Varianta č. 2: Stanoviště č. 1, 2 a 3

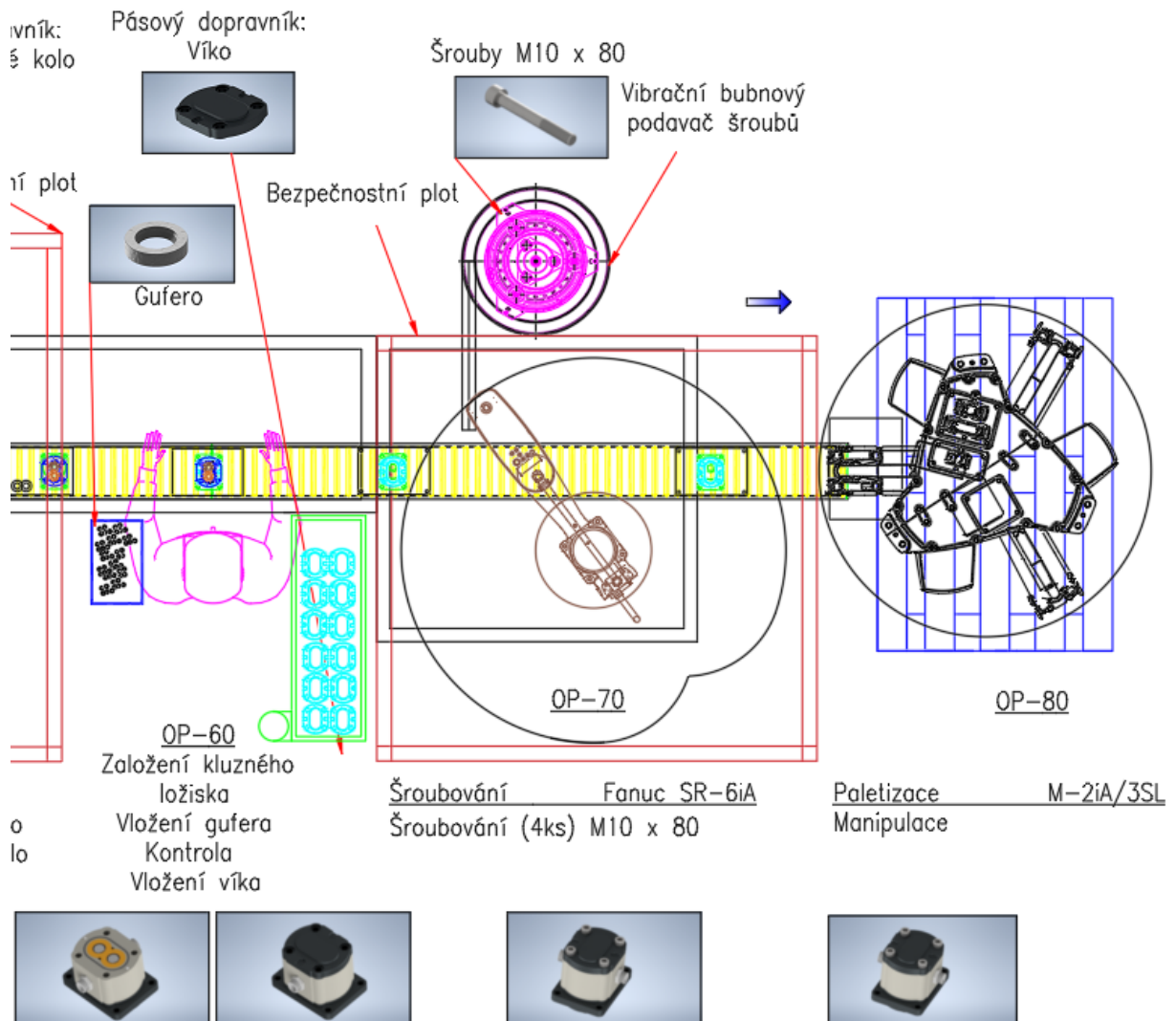
Stanoviště 4 (OP – 40) je navrženo ke vkládání kluzného ložiska do těla čerpadla a zakládání dvou oválných těsnění do drážek těla čerpadla, činnost je vykonávaná jedním operátorem. Po zavedení těsnění operátor vloží tělo na přírubu čerpadla. Následuje stanoviště s robotem, stanoviště číslo 5 (OP – 5). Toto stanoviště má za úkol zakládat hnací a hnaná ozubená kola do těla čerpadla, je k tomu určen robot Fanuc M-10iD/12. Pro přesné založení ozubených kol je robot vybavený snímačem síly od Fanuc. Pracoviště je zásobováno pomocí pásových dopravníků. Stanoviště č. 4 a 5 jsou zobrazena na *Obr. č. 71*.



Obr. č. 71: Varianta č. 2: Stanoviště č 4 a 5



Následující stanoviště číslo 6 (OP – 60) je obsluhováno operátorem, který vloží gufero, vizuálně zkontroluje správné založení ozubených kol a oválného těsnění v drážce a následně vloží kluzné ložisko do těla čerpadla. Poté vezme víko z pásového dopravníku a umístí jej na tělo čerpadla. Předposledním je stanoviště číslo 7 (OP – 70), které obsluhuje SCARA robot SR – 6iA, který má za úkol vložení šroubů a následné šroubování. Poslední stanoviště má za úkol paletizaci kompletně smontovaných čerpadel, je tak docíleno díky delta robotovy Fanuc M-2iA/3SL. Stanoviště č. 6, 7 a 8 jsou zobrazena na *Obr. č. 72*. Detailnější informace o operacích a jejich časové kapacitě jsou zobrazeny v *Tab. 13*.



Obr. č. 72: Varianta č. 2: Stanoviště č 6, 7 a 8

Tab. 13 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 2

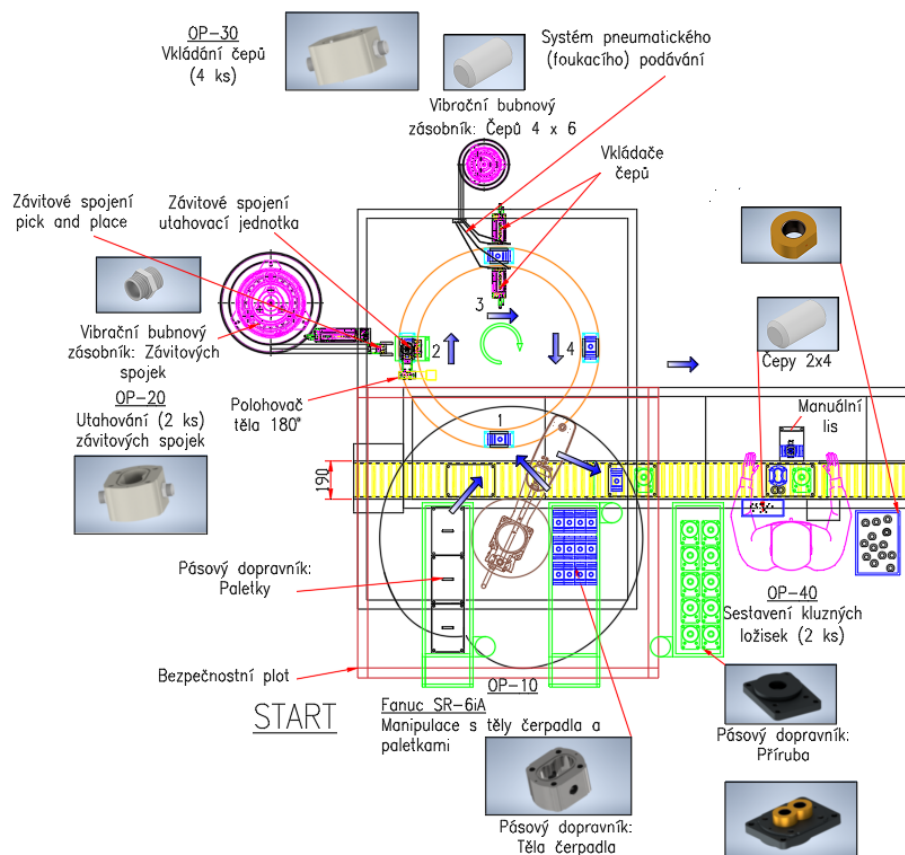
Návrh varianty č. 2						Operace		Ganttův diagram														
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			$\frac{t}{n}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			Start	Konec	Čelk.																	
Operátor stanoviště 1	Manipulace	Manuálně	0	2	2	OP1																
	Nasazení a utažení závitové	Manuálně	2	15	13																	
	Čelkem		15																			
Operátor stanoviště 2	Manipulace	Manuálně	0	2	2	OP1																
	Vložení 4 čepů	Manuálně	2	15	13																	
	Čelkem		15																			
Operátor stanoviště 3	Spojení kluzných ložisek	Manuálně	0	15	15	OP1																
	Čelkem		15																			
Operátor stanoviště 4	Vložení kluzného ložiska do těla	Manuálně	0	5	5	OP1																
	Vložení oválné těsnění do drážky	Manuálně	5	9	4																	
	Vložení těla na přírubu	Manuálně	9	11	2																	
	Vložení oválné těsnění do drážky	Manuálně	11	15	4																	
	Čelkem		15																			
Robot stanoviště 5	Vložení hnacího ozubeného kola	Automatizováno	0	5	5	OP1																
	Vložení manetného ozubeného kola	Automatizováno	5	14	9																	
	Čelkem		14																			
Operátor stanoviště 6	Vložení kluzného ložiska do těla	Manuálně	0	5	5	OP1																
	Vizuální kontrola těsnění	Manuálně	5	6	1																	
	Vložení šufra	Manuálně	6	10	4																	
	Umístění víka na tělo	Manuálně	10	13	3																	
	Čelkem		13																			
Robot stanoviště 7	Umístění a utažení 4 šroubů	Automatizováno	0	15	15	OP1																
	Čelkem		15																			
Robot stanoviště 8	Paletizace	Automatizováno	0	4	4	OP1																
	Čelkem		4																			

Varianta číslo 2 má střední stupeň robotizace a vysoký takt montáže, varianta je tedy schopna každých 15 sekund smontovat jedno zubové čerpadlo a čas jednoho montážního cyklu je 106 sekund. Vysoký takt však může vést k riziku vyššího pracovního tlaku na operátory, což může vést k chybám, únavě a stresu. Varianta je vhodná pro velkosériovou montáž s minimálními variacemi.

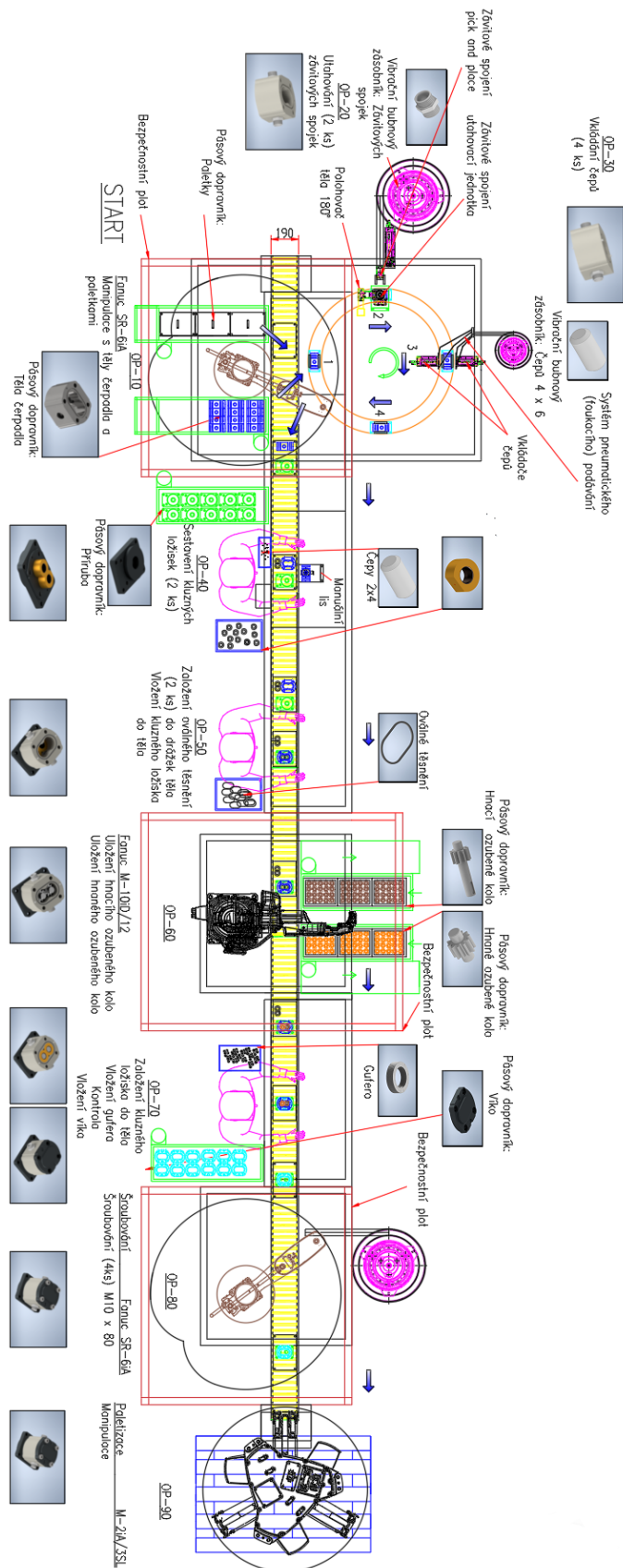
4.3. Varianta číslo 3

Třetí varianta (*Obr. č. 74*) je navržena s cílem vysokého taktu montáže a snížení počtu pracovníků. Pracoviště je založeno na principu one piece flow, tato varianta však poskytuje větší časovou kapacitu na montáži dílů, které mají za cíl snížit mentální vyčerpání pracovníků. Návrh se skládá ze dvou SCARA robotů Fanuc SR-6iA robotů, jednoho angulárního robota Fanuc M10iD/12 s doplňkem snímače síly, jednoho delta robota Fanuc M-2iA/3SL a tří operátorů a jednoho pracovníka, který má na starost doplňování dílů a v případě potřeby nahrazení jednoho z operátorů montážní linky. Další důležitou součástí návrhu jsou manipulátory, podavače a dopravníky. Tento návrh montuje zubová čerpadla s taktem 18 sekund. Celkově se tedy montážní linka skládá z 9 stanovišť, 4 robotů, 3 operátorů a jednoho pracovníka, který se stará o zásobování a v případě potřeby nahrazení operátora na montážním stanovišti.

Varianta číslo 3 má zásadní změnu v úvodní části montáže, která automatizuje operace umístění dílů na válečkový dopravník, šroubování závitových spojek, vkládání čepů. Detail (*Obr. č. 73*) na změnu stanovišť OP – 10 až OP – 40:

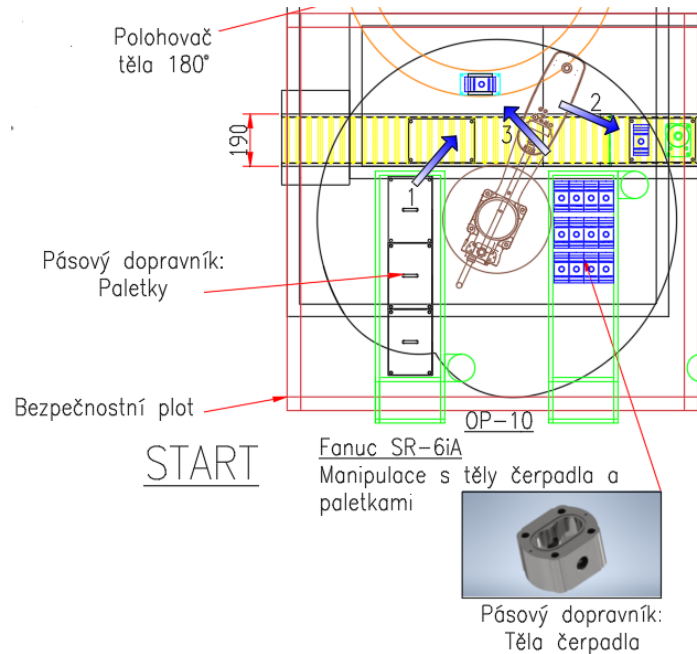


Obr. č. 73: Detail na změnu stanovišť OP – 10 až OP – 40



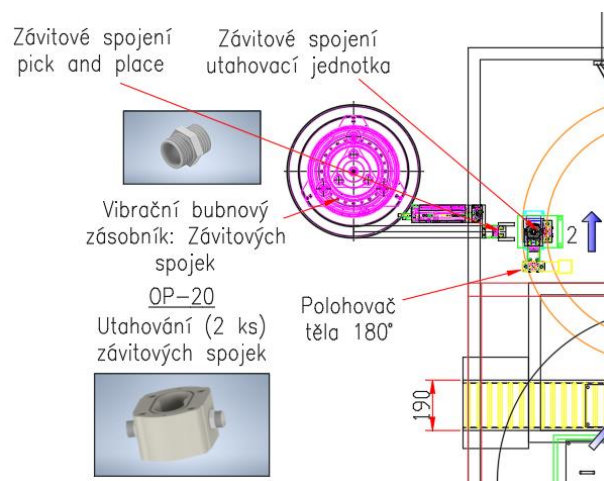
Obr. č. 74: Varianta č. 3

První stanoviště (OP – 10) je obsluhováno robotem Fanuc SR-6iA, který umísťuje paletku s dírou (Obr. č. 68) na válečkový dopravník, dále vykládá sestavy těl čerpadla z rotačního dopravníku a následně nakládá těla čerpadel na rotační dopravník viz *Obr. č. 75*.



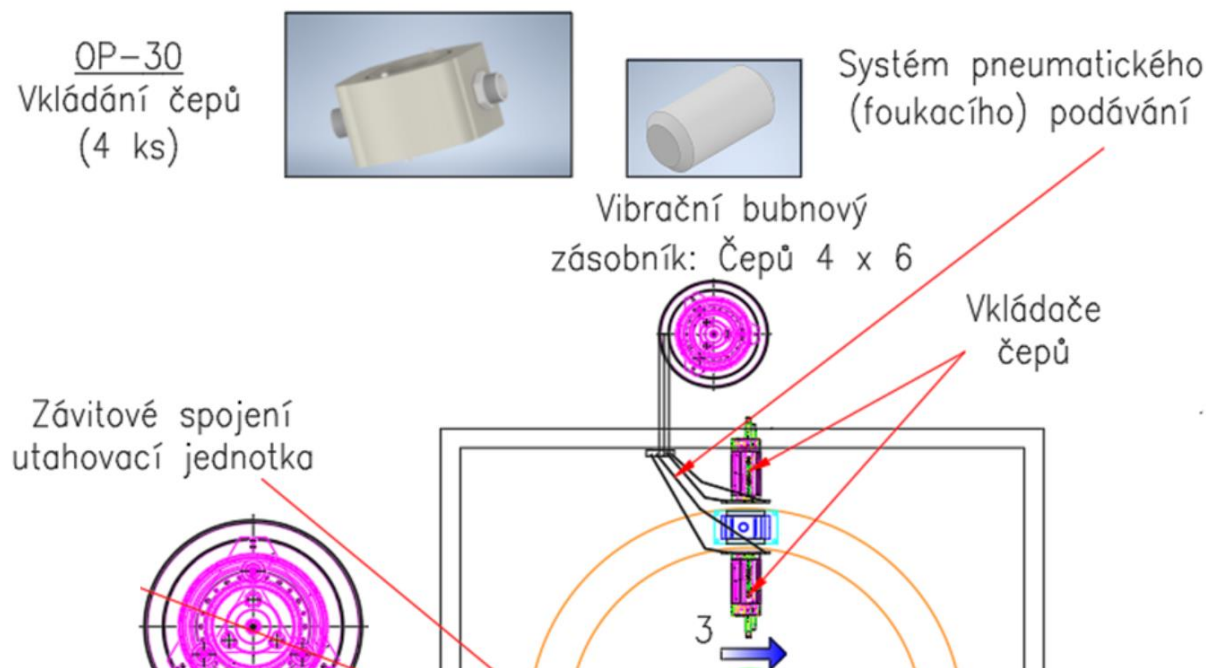
Obr. č. 75: Varianta č. 3, stanoviště č. 1

Druhé stanoviště (OP – 20) se zabývá vložením a šroubováním závitových spojek do těla čerpadla (*Obr. č. 76*). Vibrační bubnový zásobník připraví závitovou spojku, kterou manipulátor přemístí k závitové díře těla. Utahovací jednotka následně zašroubuje závitovou spojku. Polohovací manipulátor otočí tělem o 180° a operace utahování závitové spojky proběhne znovu, čím proces končí.



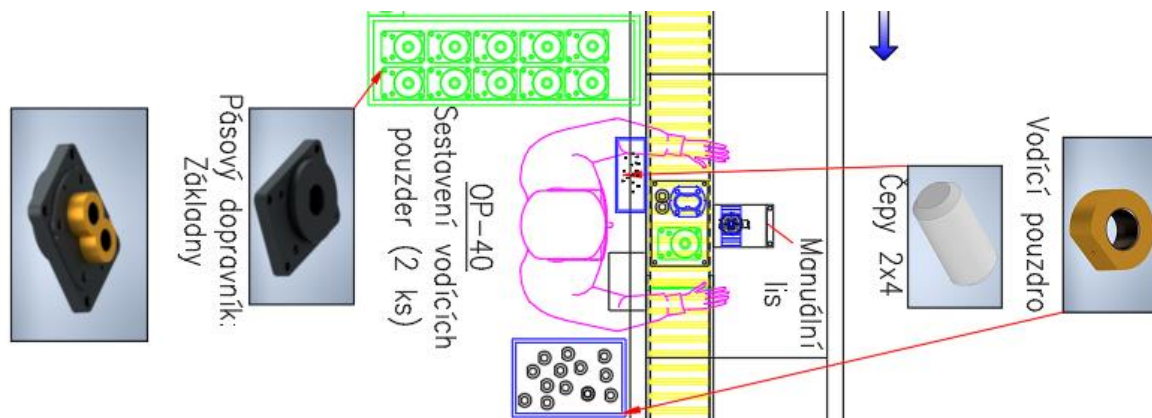
Obr. č. 76: Varianta č. 3, stanoviště č. 2

Třetí stanoviště (OP – 30) zajišťuje vkládání čepů do těla. Je tak docíleno díky systému pneumatického vyfoukávání čepů. Nejprve jsou čepy připraveny pomocí vibračního bubnového zásobníku, poté jsou trubičkou pomocí stlačeného vzduchu a manipulátorů dopraveny do těla čerpadla viz *Obr. č. 77*.



Obr. č. 77: Varianta č. 3, stanoviště č. 3

Stanoviště číslo 4 (OP – 40) je až na jednu změnu stejné jako ve variantě číslo 2, stanoviště 3 (OP – 30). Změna spočívá v přidání pásového dopravníku s přírubami. Takt montáže je ve variantě číslo 3 oproti variantě číslo 2 pomalejší, operátorovi tedy nevzniká časový problém s přidanou činností. Stanoviště č. 4 je zobrazeno na *Obr. č. 78*.



Obr. č. 78: Varianta č. 3, stanoviště č. 4



Následující stanoviště jsou stejná, jako ve variantě číslo 2. Časové rozdíly jsou znázorněny v tabulce Tab. 14.

Tab. 14 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 3

Návrh varianty č. 3							Operace	Ganttův diagram																				
Název stanoviště	Činnost	Zpracování	Čas [s]			Op. číslo		Návrh varianty č. 3																				
			Start	Konec	Celk.		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
Robotické stanoviště 1	Umístění palety na dopravník	Automatizováno	0	4	4	OP1																						
	Umístění těla čerpadla do m. jednotky	Automatizováno	4	11	7	OP2																						
	Vyložení sestaveného těla čerpadla	Automatizováno	11	16	5	OP3																						
Automatické stanoviště 2	voženi závitové spojky	Celkem	16																									
	šroubování	Automatizováno	0	3	3	OP1																						
	Otočení těla	Automatizováno	3	8	5	OP2																						
Automatické stanoviště 3	voženi závitové spojky	Automatizováno	8	10	2	OP3																						
	šroubování	Automatizováno	10	13	3	OP4																						
	šroubování	Automatizováno	13	18	5	OP5																						
Automatické stanoviště 4	Celkem	Celkem	18																									
	Vrouknutí čepů trubkou do těla	Automatizováno	0	6	6	OP1																						
	Manipulátory stačí čepů na obou stranách	Automatizováno	6	11	5	OP2																						
Manuální stanoviště 5	Celkem	Celkem	11																									
	Spojení kurzových otěsek	Manuálně	0	15	15	OP1																						
	Umístění příruby čerpadla na paletku	Manuálně	15	18	3	OP2																						
Manuální stanoviště 6	Celkem	Celkem	18																									
	voženi kurzového ložiska do těla	Manuálně	0	5	5	OP1																						
	voženi oválné těsnění do drážky těla	Manuálně	5	9	4	OP2																						
Manuální stanoviště 7	voženi těla do příruby	Manuálně	9	11	2	OP3																						
	voženi oválné těsnění do drážky těla	Manuálně	11	15	4	OP4																						
	Celkem	Celkem	15																									
Robotické stanoviště 8	voženi hradiče ozubeného kola	Automatizováno	0	5	5	OP1																						
	voženi hradiče ozubeného kola	Automatizováno	5	14	9	OP2																						
	Celkem	Celkem	14																									
Manuální stanoviště 9	voženi kurzového ložiska do těla	Manuálně	0	5	5	OP1																						
	vizuální kontrola těsnění	Manuálně	5	6	1	OP2																						
	voženi gufara	Manuálně	6	10	4	OP3																						
Manuální stanoviště 7	Umístění víka na tělo	Manuálně	10	13	3	OP4																						
	Celkem	Celkem	13																									
	Umístění a utažení 4 šroubů	Automatizováno	0	15	15	OP1																						
Robot stanoviště 9	Celkem	Celkem	15																									
	Paletace	Automatizováno	0	4	4	OP1																						
	Celkem	Celkem	4																									

Varianta číslo 3 poskytuje vyšší stupeň robotizace a udržuje si vysoký takt montáže, varianta je tedy schopna každých 18 sekund smontovat jedno zubové čerpadlo. Vysoký takt, stejně jako u varianty č. 2, může vést k riziku vyššího pracovního tlaku na operátory, což může vést k chybám, únavě a stresu. Varianta je vhodná pro velkosériovou montáž s minimálními variacemi. Čas jednoho montážního cyklu je 124 sekund.



5. Zhodnocení návrhů

Kapitola se zaměřuje na detailní zhodnocení návrhů, které byly představeny v předchozích částech. Každý návrh je technicko-ekonomicky zhodnocen a analyzován z hledisek, jako jsou jejich přínosy, efektivita montáže a návratnost.

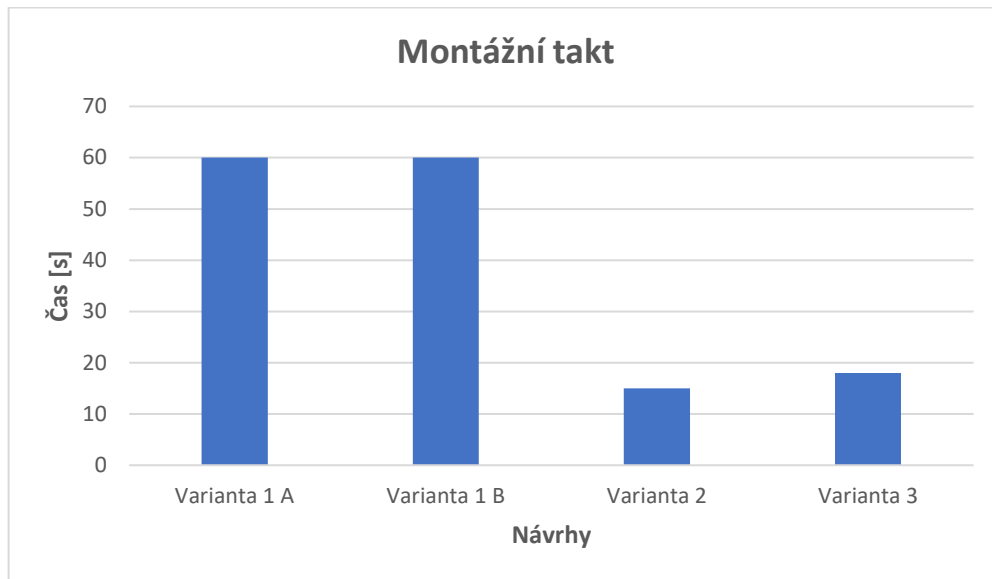
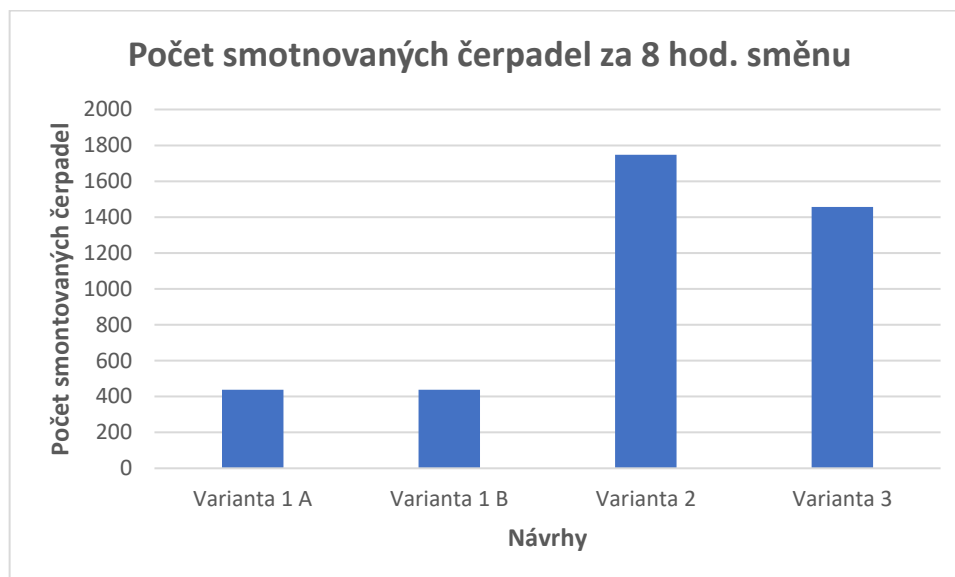
5.1. Technické zhodnocení

Varianta číslo 1 má nejnižší takt montáže, 60 sekund. Jedná se o variantu s nejnižším počtem robotů, obsahuje jednoho angulárního šestiosého robota M-10iD/12 od společnosti FANUC, který poskytuje nosnost až 12 kg a dosah až 1103 mm s opakovatelností ± 0.02 mm. Tato vysoká nosnost dodává montážnímu pracovišti vyšší flexibilitu. Pracoviště je obsluhováno dvěma pracovníky, což je mezi návrhy nejnižší počet pracovníků. Delší takt montáže může být na operátory pozitivní dopad z pohledu mentálního vyčerpání. Varianta č. 1 poskytuje flexibilitu vůči montovaným součástem, v případě montování vícestupňového čerpadle, či jiné varianty lze poměrně lehce jednotlivá stanoviště přizpůsobit těmto změnám. Návrh je vhodný pro malosériovou montáž zubových čerpadel.

Návrh varianty číslo 2 je založen na principu one piece flow s vysokým taktom montáže a to 15 sekund. Tento vysoký takt může mít negativní dopad na mentální vyčerpání pracovníků. Pracoviště obsahuje tři roboty a to: angulární robot M-10iD/12, SCARA robot SR-6iA a delta robot M-2iA/3SL určený k paletizaci. Díky velkému množství pracovníků je varianta flexibilní, v případě záměru montovat vícestupňová čerpadla je tato možnost realizovatelná.

Třetí návrh varianty robotického pracoviště je ve své podstatě nadstavba varianty č. 2, jedná se o verzi, která automatizuje činnosti manipulace s díly, utahování závitových spojek a vkládání čepů. Tato změna zvyšuje takt montáže na 18 sekund, avšak odebírá dva pracovníky z montážního pracoviště. Zvýšený takt montáže nemusí být negativním faktorem, může například oproti variantě č. 2 snižovat mentální únavu. Varianta neposkytuje flexibilitu, je vypočtena pro specifický typ zubového čerpadla, v případě záměru montovat vícestupňová čerpadla je zapotřebí návrhy variant kompletně přepočítat a velkou část přestavit.

Porovnání variant návrhů je zobrazeno v *Tab. 16*, graficky znázorněné porovnání taktů varianta je na *Obr. č. 79*. Porovnání počtu smontovaných čerpadel je graficky znázorněno na *Obr. č. 80*.

*Obr. č. 79: Montážní takt**Obr. č. 80: Počet smontovaných čerpadel za 8 hod. směnu*

Rozměry pracovišť

Důležitým kritériem pro začlenění nového robotizovaného pracoviště do přístřešku jsou jeho zástavbové rozměry. Je nezbytné, aby rozměry zařízení nepřekročily stanovené limity, jelikož v opačném případě by instalace zařízení nebyla proveditelná, nebo by nedošlo k zachování nezbytných minimálních vzdáleností pro bezpečný průchod obsluhy apod. Rozměry jednotlivých návrhů jsou zobrazeny v *Tab. 15*

Tab. 15 - Rozměry návrhů

Rozměry	Délka (mm)	Šířka (mm)	Vyžadovaná plocha (m ²)
Varianta č. 1	10500	4500	47,25
Varianta č. 2	9500	3900	37,05
Varianta č. 3	10400	5400	56,16

Takt montáže

Varianta číslo 2 a 3 navržené na způsobu montáže one piece flow mají oproti variantě číslo 1 vysoký takt montáže a to 15 a 18 sekund. Návrh varianty číslo 1 poskytuje montážní takt 60 sekund. Při výběru vhodné varianty je důležité vzít v úvahu, že vhodný taktový čas je odvozen od zákaznické poptávky a určuje, vhodná varianta taktu je tedy ta, která je schopna uspokojit poptávku zákazníka.

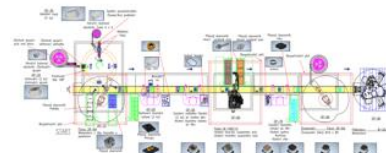
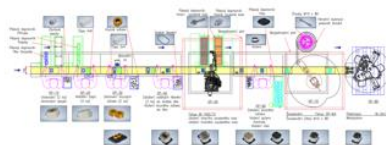
Tab. 16 - Takt montáže

	Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3
Počet operátorů	2	6	4
Počet robotů	1	3	4
Takt montáže [s]	60	15	18
Čas cyklu [s]	117	106	124

Stupeň robotizace

Stupeň robotizace jednotlivých návrhů variant lze rozdělit v rámci této práce na 3 kategorie a to nízká, střední a vysoká. Vyhodnocení je provedeno na základě dvou parametrů, a to poměr počtu robotů vůči počtu lidí v daném návrhu a poměr času, mezi robotem a pracovníkem, který je spotřebován na montáž zubového čerpadla viz Obr. č. 81.

Střední stupeň robotizace			Nízký stupeň robotizace			Vysoký stupeň robotizace		
Návrh varianty č. 1			Návrh varianty č. 2			Návrh varianty č. 3		
Operátor	Čas montáže[s]	Počet lidí/robotů	Operátor	Čas montáže[s]	Počet lidí/robotů	Operátor	Čas montáže[s]	Počet lidí/robotů
Robot	60	1	Robot	33	3	Robot	78	4
Člověk	70	2	Člověk	73	6	Člověk	46	4
Poměr R/Č	0,9	0,5	Poměr R/Č	0,5	0,5	Poměr R/Č	1,7	1



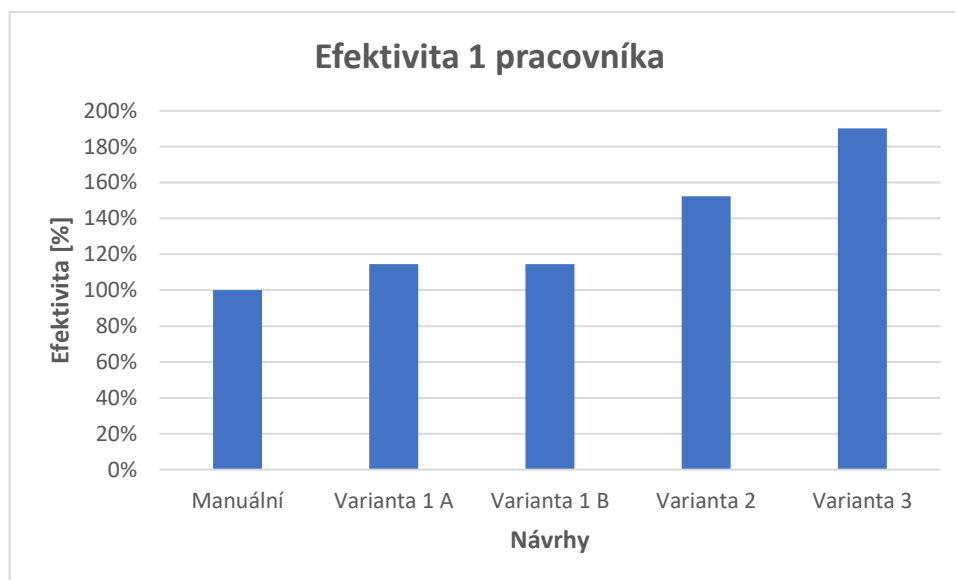
Obr. č. 81: Stupeň robotizace

Další možností, jak vyhodnotit stupeň robotizace v rámci této práce je dle počtu robotů v daném návrhu. Dle této možnosti vyhodnocení má návrh varianty č. 1 nejnižší stupeň robotizace, varianta č. 2 střední stupeň a varianta č. 3 vysoký stupeň.

Tab. 17 - Obsazení stanovišť a takt montáže

Varianta	Počet pracovníků	Takt	Ks/směna	1 pracovník	Efektivita
Manuální	1,15	120	220	191	100%
Varianta 1 A	2	60	438	219	114%
Varianta 1 B	2	60	438	219	114%
Varianta 2	6	15	1748	291	152%
Varianta 3	4	18	1456	364	190%

Porovnání efektivnosti na jednoho pracovníka jednotlivých variant s manuální montáží zubového čerpadla vyjadřuje graf na Obr. č. 82. Varianta č. 3 vychází se středním počtem pracovní síly a nejvyšším množstvím robotů a stupněm automatizace, jako nejefektivnější a to 90 %. Čistě manuální montáž se od varianty č. 1 v rámci efektivnosti rozlišuje o 14 %.



Obr. č. 82: Efektivita 1 pracovníka

5.2. Ekonomické zhodnocení

V případě, že plánovaná investice je technicky uskutečnitelná, dalším krokem pro její implementaci posouzení její ekonomické efektivity a doby, za kterou se investice vrátí. Pro hodnocení ekonomické efektivity investic se běžně metoda doby návratnosti. Tyto metody

obvykle vyžadují podrobné účetní informace firmy, zejména údaje týkající se ziskovosti produktů a analýzy cash-flow. Jelikož tyto informace nejsou k dispozici, bude doba návratnosti investice vypočítána s hrubým odhadem.

Investiční náklady

Pořizovací ceny stěžejních komponent, jako jsou roboti, software, chapadla či vision systém, byly poptány u dodavatelů. Zařízení s menší hodnotou byly přibližně stanoveny pomocí podobných dílů dostupných na trhu. Ceny zakázkově vyráběných sestav byly hrubě odhadnuty. Výpis všech komponent a cen návrhů č. 1, 2 a 3 je uveden v Tab. 18, Tab. 19 a Tab. 20

Tab. 18 - Náklady návrhu varianty č. 1

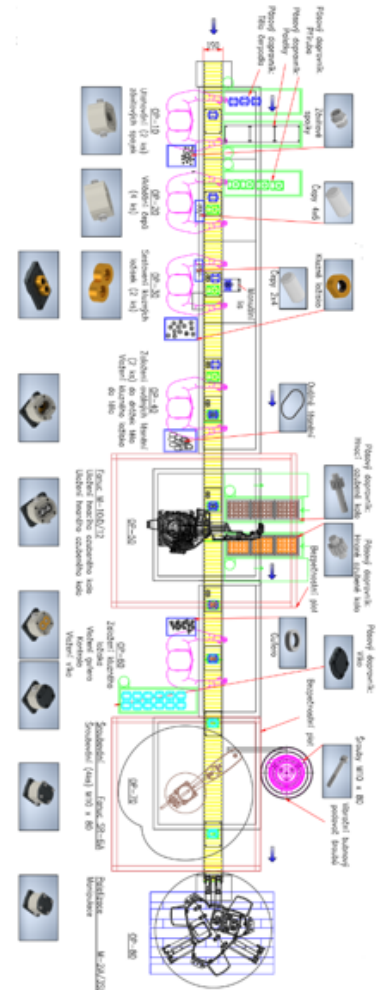
Návrh č. 1		
Položka	Ks	Kč bez DPH celkem
Přípravky	100	80 000
Speciální paletky	100	200 000
Hydraulický zvedák palet	3	159 000
Válečkový dopravník	1	640 000
Pásový dopravník	1	100 000
Stůl pro robota	1	100 000
Stoly	4	40 000
Šroubovací stanice	1	400 000
Příslušenství manuálních stanovišť	1	50 000
M-10iD/12 včetně řídicí skříně	1	825 000
Software	1	113 000
Doplnění 3D Vision včetně SW	1	650 000
Doplnění Force Sensor včetně SW	1	300 000
MTB SG-JGP-P 100-1	1	48 500
JGP-P 100-1	1	16 000
Kabely pro robota	1	30 000
Bezpečnostní prvky	1	350 000
Bezpečnostní oplocení	1	30 000
Podstavec pod robota	1	40 000
Nálady stavbu prac. a oživení V1A	1	2 000 000
Nálady stavbu prac. a oživení V1B	1	2 200 000
Příslušenství robotického stanoviště	1	60 000
Varianta s vision systém	Celkem	6 431 500
Varianta bez vision systém	Celkem	5 781 500



Varianta č. 1 je z pohledu investičních nákladů nejnižší. Doplnění 3D vision činní přibližně 11,2 % rozdíl v celkové částce. Hlavními předměty investice jsou angulární robot M-10iD/12, jeho doplňky a dopravníky.

Tab. 19 - Náklady návrhu varianty č. 2

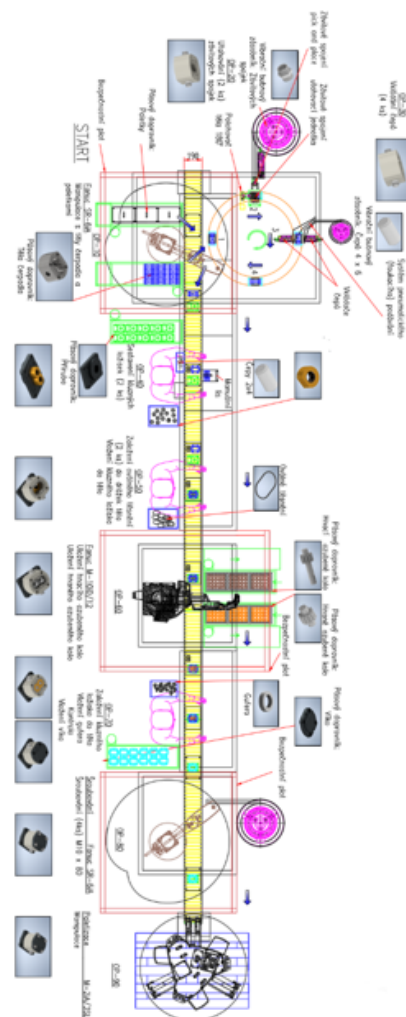
Návrh č. 2		
Položka	Ks	Kč bez DPH celkem
Přípravky	100	80 000
Speciální paletky	100	200 000
Válečkový dopravník	1	360 000
Pásový dopravník	4	320 000
Pásový dopravník typ 2	2	140 000
Příslušenství manuálních stanovišť	5	200 000
M-10iD/12 včetně řídicí skříně	1	825 000
Příslušenství robotického stanoviště	1	100 000
Software	1	113 000
Doplnění Force Sensor včetně SW	1	300 000
SR-6iA včetně řídicí skříně	1	520 000
Speciální šroubovací hlava	1	100 000
M-2iA/3SL včetně řídicí skříně	1	580 000
Software SCHUNK	1	103 000
PGL-plus-P 10	1	24 000
JGP-P 50-1	1	12 000
Kabely pro roboty	2	60 000
Podstavec pod robota	2	80 000
Bezpečnostní prvky	2	700 000
Bezpečnostní oplocení	2	60 000
Stůl pro robota	2	150 000
Stoly	4	120 000
Nálady stavbu prac. a jeho oživení	1	3 000 000
Bubnový vibrační zásobník	1	250 000
Celkem		8 397 000



Varianta č. 2 je střední možnost mezi variantou č. 1 a 3 s celkovou finanční investicí 8 397 000 Kč. Varianta obsahuje angulární robot M-10iD/12, jeho doplňky, SCARA robot SR-6iA, delta robot M-2iA/3SL, dopravníky apod.

Tab. 20 - Náklady návrhu varianty č. 3

Návrh č. 3		
Položka	Ks	Kč bez DPH celkem
Přípravky	100	80 000
Speciální paletky	100	200 000
SR-6iA včetně řídicí skříně	2	1 040 000
Software FANUC	1	113 000
JGP-P 50-1	1	12 000
JGP-P 100-1	1	16 000
Bezpečnostní prvky	3	900 000
Bezpečnostní oplocení	3	90 000
Pásový dopravník typ 2	2	140 000
Pásový dopravník	4	320 000
Válečkový dopravník	1	360 000
Stůl s rotačním dopravníkem	1	300 000
Vybavení stanoviště č. 2	1	600 000
Vybavení stanoviště č. 3	1	500 000
Příslušenství manuálních stanovišť	3	120 000
Stůl pro robota	3	225 000
M-10iD/12 včetně řídicí skříně	1	825 000
Doplnění Force Sensor včetně SW	1	300 000
Podstavec pod robota	3	120 000
Kabely pro roboty	4	120 000
M-2iA/3SL včetně řídicí skříně	1	580 000
PGL-plus-P 10	1	24 000
Software SCHUNK	1	103 000
Bubnový vibrační zásobník	1	250 000
Stoly	3	90 000
Příslušenství robotického stanoviště	1	60 000
Nálady stavbu prac. a jeho oživení	1	3 500 000
Bubnový vibrační zásobník	1	250 000
Celkem		11 238 000



Poslední varianta se od varianty č. 2 liší hlavně zakázkově vyráběnou sestavou skládající se z bubnových vibračních zásobníků, manipulátorů apod.

Úspory montážních pracovišť

Dále jsou stanoveny parametry, pro porovnání navržených variant s čistě manuální variantou montáže. V případě montáže zubového čerpadla jedním pracovníkem, by montáž jednoho čerpadla trvala přibližně 120 sekund. Stanoviště by dále potřebovalo zásobování dílů, o které by se staral další pracovník, který by byl pouze částečně vytížený. Dále je tedy počítáno s parametry manuální montáže jednoho zubového čerpadla, ke které je potřeba 120 sekund



a 1,15 pracovníků. Pro účely této práce jsou stanoveny předpokládané roční náklady na montážního pracovníka na 691 200 Kč.

Při výpočtu čistého času práce byl z 8 hod. směny odečten čas na přestávky 30 minut a čas ztrátový 10 minut. Čistý čas práce za 8 hod. směnu je tedy 440 minut.

Úspora za pracovníky

Díky robotizaci montážního pracoviště získáme vyšší efektivitu pracovníků. V porovnání s manuální montáží jsou pracovníci varianty č. 1 o 14 % efektivnější, varianty č. 2 o 52 % efektivnější a třetí varianta o 90 %. Tato zvýšená efektivita, od které je odečtena spotřeba energií, je vyčíslena jako roční úspora viz *Tab. 21*. Odhad spotřeby energií při ceně 4,3 Kč za kWh je zobrazen v *Tab. 22*.

Tab. 21 - Efektivita pracovníků a úspory

Varianta	Počet pracovníků	Takt	Ks/směna	1 pracovník	Effektivita	Roční náklady na energii (Kč)	Roční úspora (Kč)
Manuální	1,15	120	220	191	100%	-	-
Varianta 1 A	2	60	438	219	114%	57 214	39 554
Varianta 1 B	2	60	438	219	114%	57 214	39 554
Varianta 2	6	15	1748	291	152%	171 642	187 782
Varianta 3	4	18	1456	364	190%	228 856	393 224

Roční úspora na mzdách činní pro variantu č. 1 A a B přibližně 39 554 Kč, pro variantu č. 2 přibližně 187 782 Kč a varianta č. 3 poskytuje roční úsporu přibližně 393 224 Kč.

Tab. 22 - Spotřeba elektrické energie

Energie			
Návrhy	Varianta č. 1 A a B	Varianta č. 2	Varianta č. 3
Počet robotů	1 robot	3 roboty	4 roboty
kWh	2,2	6,6	8,8
kWh za rok	13305,6	39916,8	53222,4
Energie/rok (Kč)	57 214,1	171 642,2	228 856,3

Doba návratnosti

Doba návratnosti investice je důležitým ukazatelem v ekonomické analýze, který vyjadřuje, jak dlouho trvá, než investované prostředky vydělají zpět jejich původní hodnotu. Tento ukazatel je zvláště důležitý pro hodnocení rizika a likvidity investice. Doba návratnosti je tedy v tomto případě vypočtena jako podíl investičních nákladů a čistého zisku. Potřebné údaje pro výpočet jsou vypsány



Cena zubových čerpadel se běžně pohybuje okolo 3 000 Kč, proto je dále tato částka považována za referenční, ve které je již zahrnuta marže 5 %, jakožto vysokosériový produkt. Výpočet předpokládá ideální situaci, ve které se všechny zubová prodají. Doba návratnosti je vypočtena dle následující rovnice:

$$DN = \frac{\text{Investiční náklady}}{\text{roční čistý příjem}} \quad (1)$$

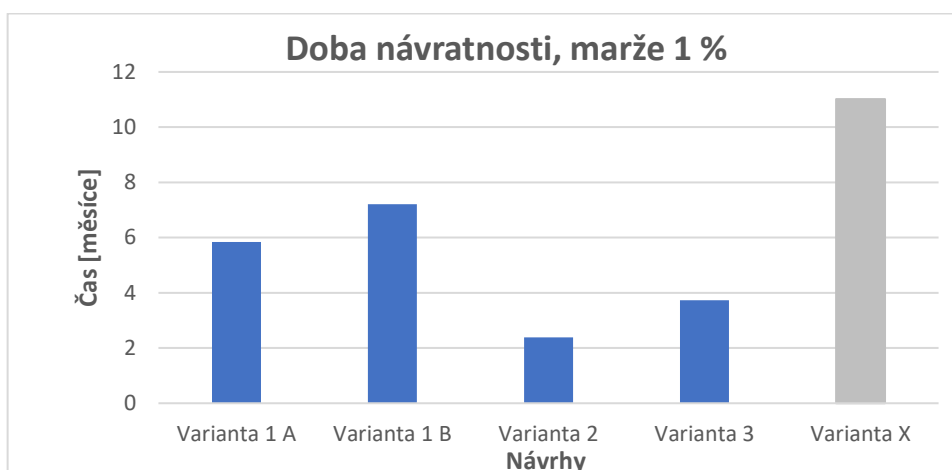
Tab. 23 - Doba návratnosti, marže 1 %

	Kusů/den	Zisk/den (Kč)	Energie/den (Kč)	Návratnost (dny)
Varianta 1 A	1314	39 420	157,0	178,4
Varianta 1 B	1314	39 420	157,0	219,8
Varianta 2	5244	157 320	745,2	72,8
Varianta 3	4368	131 040	1 560,4	113,8
Varianta X	700	21 000	157,0	336,0

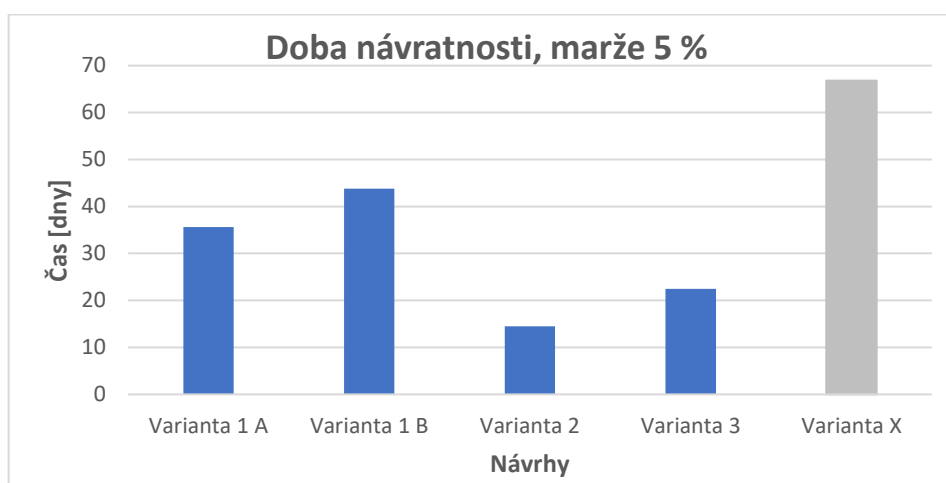
Je zřejmé, že kapacita nabídky takto vysokého množství kusů zubových čerpadel pravděpodobně nebude vyčerpána. Doba návratnosti této montované součásti je v ideálním případě. Doba návratnosti s marží 1 % je zobrazena graficky na Obr. č. 83. Pro reálnější dobu návratnosti byla přidána varianta X, která počítá s investičními náklady 90 % varianty č. 1, varianta X má dobu návratnosti přibližně 11 měsíců. Varianta s marží 5 % je zobrazena v Tab. 24 a graficky na Obr. č. 84.

Tab. 24 - Doba návratnosti, marže 5 %

	Kusů/den	Zisk/den (Kč)	Energie/den (Kč)	Návratnost (dny)
Varianta 1 A	1314	39 420	157,0	35,6
Varianta 1 B	1314	39 420	157,0	43,8
Varianta 2	5244	157 320	745,2	14,5
Varianta 3	4368	131 040	1 560,4	22,5
Varianta X	700	21 000	157,0	66,8



Obr. č. 83: Graf doby návratnosti, marže 1 %



Obr. č. 84: Doba návratnosti, marže 5 %

Zhodnocení

Z pohledu ušetření financí za lidskou pracovní sílu je varianta číslo 3 nejlepší, má schopnost ročně ušetřit 393 224 Kč, zároveň je to ale varianta s nejvyšší počáteční investicí. Varianta č. 2 má přibližně poloviční úspory a to 187 782 Kč, v rámci počáteční investice je to přibližně střed mezi variantou č. 1 a 3. Varianta č. 1 má nejnižší úspory a to 39 554 Kč, zároveň je to ale varianta s nejnižší počáteční investicí nejnižším počtem robotů a pracovníků. V ideálním případě, kdy je zajištěn 100% odbyt čerpadel s takto vysokými takty montáže je doba návratnosti v rámci měsíců. Varianta číslo 2 má nejkratší dobu návratnosti s marží 1 % a to 2,4 měsíce, varianta č. 3 má dobu návratnosti přibližně 3,8 měsíce. Varianta č. 1 A a č. 1 B mají nejdelší dobu návratnosti a to 5,9 a 7,2 měsíců. Hypotetická varianta X s montáží 700 zubových čerpadel za den a marží 1 % má dobu návratnosti přibližně 11 měsíců a s marží 5 %, 2,2 měsíce.



6. Závěr

Diplomová práce měla za cíl navrhnout varianty robotizace montážních pracovišť. Každá z navržených variant měla poskytnout rozdílný pohled na robotizaci v podobě různých stupňů robotizace a montážních taktů.

Úvodní část práce se věnuje rešerši robotické montáže, zde jsou popsány základy strojní a ruční montáže a výroby včetně činností a technicko-organizačních hledisek pracovišť. Následuje podrobný popis a rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů. Druhá rešeršní část se věnuje popisu způsobů přesné robotické montáže, pomocí snímačů síly, strojového vidění a chapadel.

Praktická část se zabývá stanovením parametrů a popisem předmětu montáže, kterým je zubové čerpadlo. Stanovuje optimální místa pro úchop chapadlem a pracovní prostor. S ohledem na přesnost, dosah a zatížení porovnává různé druhy a varianty robotů od společnosti Fanuc. Dále jsou pak rozebírána chapadla od společnosti Schunk, dle jejich zdvihu na čelist, zavírací síle a zatížení.

Následně byly navrženy tři varianty pracovišť, které se od sebe liší především mírou automatizace, montážním taktem a počtem montážních pracovníků. Návrh první varianty se soustředí na nízký počet pracovníků a robotů, který vede k v rámci práce k nižšímu taktu montáže. Poskytuje však nízkou počáteční investici a vysokou flexibilitu montáže. Druhý návrh se zakládá na principu one piece flow a generuje vysoký takt montáže. Tento takt je docílen velkým množstvím robotů a pracovní síly. Návrh varianty číslo 3 se odráží od varianty číslo 2 a řeší problém velkého množství pracovníků automatizováním manuálních stanovišť.

V závěru práce bylo zpracováno ekonomické zhodnocení variant spolu s výpočtem doby návratnosti a srovnání návrhu robotických pracovišť vůči manuální montáži, ze kterého vychází vyhodnocení úspor robotických pracovišť. Varianty č. 2 a 3 byly navrženy s cílem maximalizovat zvýšení produktivity, bez ohledu na fakt, zda by bylo možné prodat dané množství, jedná se o návrhy velkosériové montáže. Varianta číslo 3 vychází jako nejúspornější, varianta číslo 2 má nejvyšší obrát a varianta číslo 1 poskytuje nejvyšší flexibilitu a nejnižší počet pracovníků. Návrhy variant robotizovaných montážních pracovišť splňují cíle vytýčené v úvodu mé práce a slouží jako koncepční návrhy pro realizaci robotické montáže vysokoobrátkových výrobků.



Seznam použité literatury

- [1] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-010-1302-2
- [2] HUMÁR, Anton. Sylaby předmětu *Technologie montáže* [online]. VUTFSI v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění, 2005 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnMontaze.pdf> [3] DUŠÁK, K. *Technologie montáže. Základy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-906-6.
- [4] JUROVÁ, M. *Výrobní procesy řízené logistikou*. 1. vyd. Praha: Albatros Media 2013, ISBN 978-80-265-0059-9
- [5] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [7] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace (roboty a manipulátory)*. Online. 1. Brno: VUT, 2003. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf. [cit. 2023-11-07].
- [8] BELOHOUBEK, Pavel a KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty IV. - Projektování výrobních systémů s PRAM*. 1. vyd. Brno: VUT, 1993. 88 s. ISBN 80-214-0532-5.
- [9] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0526-0.
- [11] OPLATEK, František. *Automatizace a automatizační technika*. 1. Praha: Computer Press, 2000. Všechny cesty k informacím. ISBN 80-722-6249-1.
- [12] FAIRCHILD, Mark. *Types of Industrial Robots and Their Different Uses*. In: Howtorobot [online]. howtorobot, 2021 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z: <https://www.howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>
- [13] HOUŠA, Jaromír. *Stavba výrobních strojů II*. 1. Praha: ČVUT, 1990.



[14] Li, Mingxuan & Li, Tiemin & Jiang, Yao. (2023). *Marker Displacement Method Used in Vision-Based Tactile Sensors—From 2D to 3D: A Review*. 10.36227/techrxiv.22122596.

Dostupné z

https://www.researchgate.net/publication/368777409_Marker_Displacement_Method_Used_in_Vision-Based_Tactile_Sensors-From_2D_to_3D_A_Review

[15] BERNIER, Catherine. *Delta Robots: The Key to Increasing Manufacturing Speed*. In: Howtorobot [online]. howtorobot, 2021 [cit. 2023-11-07]. Dostupné z:

<https://www.howtorobot.com/expert-insight/delta-robots>

[16] VAUGHN, Richard. *The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots*.

Online. 2013. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21831692/the-difference-between-cartesian-sixaxis-and-scara-robots>. [cit.

2023-11-07].

[17] NEMEJC, Jirí. *Prumyslové roboty a robotizace strojírenské výroby*. 3. vyd. Plzeň: ZCU, 1999. 96 s. ISBN 80-7082-578-2.

[18] SKARUPA, Jirí. *Roboty a manipulátory I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 2002. 139 s. ISBN 80-248-044-6.

[19] *Snímače síly Force Sensor*. Online. 2023. Dostupné z:

<https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/vid%C4%9Bn%C3%AD/force-sensor>. [cit. 2023-11-07].

[20] *Spolehlivá zpětná vazba z přední linie*. Online. Mmspektrum. 2016, roč. 2016, č. 3,

article 160369, s. 1. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/strojove-videni-i-principy-a-charakteristiky-2008_01_36550_5518/. [cit. 2023-11-07].

[21] *3D vision sensor*. Online. 2023. Dostupné z:

<https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/flyer/mfl-03304-3d-vision/3d-vision-sensor-flyer-en.pdf?la=en>. [cit. 2023-11-07].

[22] *Marker Displacement Method Used in Vision-Based Tactile Sensors—From 2D to 3D*.

Online. Researchgate. Roč. 2019, č. 17, s. 8. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/publication/368777409_Marker_Displacement_Method_Used_in_Vision-Based_Tactile_Sensors-From_2D_to_3D_A_Review. [cit. 2023-11-07].



- [23] *Bin picking*. Online. 2023. Dostupné z: <https://eola.cz/cs/roboticke-videni/bin-picking>. [cit. 2023-11-07].
- [24] *Schunk, Uchopovací systémy*. Online. 2023. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/c/PUB_8293. [cit. 2023-11-07].
- [25] Štěpán Berka; *Elektrotechnická schémata a zapojení 2*; BEN – technická literatura, Praha 2010, ISBN 978-80-7300-254-1, str. 229 (Stupně ochrany krytí + nejvíce používané IP kódy)
- [26] KOLÍBAL, Zdenek. *Průmyslové roboty II. - Konstrukce výstupních hlavic a periférií*. 1. vyd. Brno: VUT, 1993. 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [27] *Průmyslové roboty FANUC* [online]. 2023 [cit. 2023-11-09]. Roboty manipulátory. Dostupné z <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>
- [28] *Directindustry* [online]. 2023 [cit. 2023-11-09]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/sepro-robotique/product-12781-1017071.html>
- [29] *Výběr kamerového systému / kamerového senzoru*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/vision/application-selecting/>. [cit. 2023-11-07].
- [30] *SCARA Robot*. Online. In: Fanuc. 2023. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/rs/en/robots/robot-filter-page/scara-series/selection-support>. [cit. 2023-11-07].
- [31] *MOTOMAN ROBOTICS AB*. Online. 1999. Dostupné z: <https://downloads.intelitek.com/Manuals/Robotics/Discontinued%20Machines/100355-a%20MotomanSV3X-mrs52050.pdf>. [cit. 2023-11-07].
- [32] *Delta robot*. Online. In: Dailyautomation. 2023. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/delta-roboty>. [cit. 2023-11-07].
- [33] *Adhezivní chapadla*. Online. In: Schunk. 2023. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/adhezivni-chapadla/adheso/c/PGR_5510. [cit. 2023-11-07].
- [34] *Kartézský pracovní prostor*. Online. In: Youtube. 2021. Dostupné z: https://youtu.be/_canCYWZPsc?si=jsV-PieKbQY8wQA_. Kanál uživatele Lesics [cit. 2023-11-07].



[35] Murphy, Robin & Nomura, Tatsuya & Billard, Aude & Burke, Jenny. (2010). *Human–Robot Interaction*. Robotics & Automation Magazine, IEEE. 17. 85 - 89.

10.1109/MRA.2010.936953.

[36] HAVLE, Otto. *Strojové vidění I: Principy a charakteristiky*. Online. Automa. 2008, roč. 2008, č. 1, s. 1. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/strojove-videni-i-principy-a-charakteristiky-2008_01_36550_5518/. [cit. 2023-11-28].

[37] LAMB, Frank. *Co je to strojové vidění a jak může pomoci*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/automatizace/kontrola-procesu/co-je-to-strojove-videni-a-jak-muze-pomoci.html>. [cit. 2023-11-28].



Obrázky

<i>Obr. č. 1: Příklad předmětové montážní techniky [3]</i>	10
<i>Obr. č. 2: Technologická montážní technika [3]</i>	10
<i>Obr. č. 3: Druhy montáže z hlediska stupně mechanizace [5]</i>	11
<i>Obr. č. 4: Výhody a nevýhody ruční montáže [5]</i>	12
<i>Obr. č. 5: Výhody a nevýhody mechanizované montáže [5]</i>	12
<i>Obr. č. 6: Výhody a nevýhody automatizované montáže [5]</i>	12
<i>Obr. č. 7: Montážní činnosti [2]</i>	14
<i>Obr. č. 8: Technicko – organizační formy montáže [1]</i>	15
<i>Obr. č. 9: Schéma soustředěné montáže [5]</i>	17
<i>Obr. č. 10: Schéma rozčleněné montáže [26]</i>	18
<i>Obr. č. 11: Schéma předmětné (řadové) montáže [5]</i>	19
<i>Obr. č. 12: Schéma proudové (synchronní) montáže [5]</i>	20
<i>Obr. č. 13: Schéma linkové montáže [5]</i>	21
<i>Obr. č. 14: Dělení průmyslových robotů a manipulátorů [7]</i>	23
<i>Obr. č. 15: Generace robotů a manipulátorů [7]</i>	24
<i>Obr. č. 16: Rozdělení podle geometrie pracovního prostoru [10]</i>	25
<i>Obr. č. 17: Rozdělení dle kinematické struktury [10]</i>	26
<i>Obr. č. 18: Průmyslový robot se sériovou kinematickou strukturou M-900iB/280 [27]</i>	27
<i>Obr. č. 19: Delta robot s paralelní kinematickou strukturou DR-3iB/8L [27]</i>	28
<i>Obr. č. 20: Rozdělení dle počtu stupňů volnosti [9]</i>	29
<i>Obr. č. 21: Angulární robot Fanuc M-800iA/60 [27]</i>	30
<i>Obr. č. 22: SCARA Robot Fanuc SR-3iA [27]</i>	31
<i>Obr. č. 23: Delta robot Fanuc M-3iA/6A [27]</i>	33
<i>Obr. č. 24: Kartézský robot 5X LINE: [28]</i>	34
<i>Obr. č. 25: Fanuc, lehký kolaborativní robot CRX-5iA [27]</i>	36
<i>Obr. č. 26: Klecová varianta [35]</i>	38
<i>Obr. č. 27: Koexistenční varianta [35]</i>	39
<i>Obr. č. 28: Synchronizovaná varianta [35]</i>	39
<i>Obr. č. 29: Součinná varianta [35]</i>	40
<i>Obr. č. 30: Kolaborativní varianta [35]</i>	40



<i>Obr. č. 31: Příklad funkce Fanuc force sensor [19]</i>	43
<i>Obr. č. 32: Snímek pořízen CCD snímačem [37]</i>	45
<i>Obr. č. 33: Bin picking [23]</i>	46
<i>Obr. č. 34: Bin Picking s Photoneo Phoxi 3D skenerem [23]</i>	46
<i>Obr. č. 35: Robot provádějící činnost pick and place [23]</i>	47
<i>Obr. č. 36: Měření výšky lepidla v drážce 3D skenerem [23]</i>	48
<i>Obr. č. 37: Vizualizace měření OK a NOK [23]</i>	48
<i>Obr. č. 38: Vyrovnání pro montáž modulu kamery [29]</i>	49
<i>Obr. č. 39: Rozdělení chapadel dle technologie úchopu [24]</i>	50
<i>Obr. č. 40: Adhezivní chapadla Schunk [33]</i>	51
<i>Obr. č. 41: Rozdělení mechanických chapadel [24]</i>	52
<i>Obr. č. 42: Rozložená sestava zubového čerpadla</i>	54
<i>Obr. č. 43: Zubové čerpadlo</i>	56
<i>Obr. č. 44: Závitová spojka</i>	56
<i>Obr. č. 45: Kluzná ložiska</i>	57
<i>Obr. č. 46: Oválné těsnění a gufero</i>	57
<i>Obr. č. 47: Víko, tělo, příruba a přípravek</i>	57
<i>Obr. č. 48: Hnaná a hnací hřídel s ozubením</i>	58
<i>Obr. č. 49: Čep</i>	58
<i>Obr. č. 50: Příklad pracovního prostoru SCARA robota SR-3iA [30]</i>	59
<i>Obr. č. 51: Pracovní prostor angulárního robota Yaskawa Motoman SV3X [31]</i>	59
<i>Obr. č. 52: Pracovní prostor tříosého delta robota společnosti ABB [32]</i>	60
<i>Obr. č. 53: Pracovní prostor kartézského robota [34]</i>	60
<i>Obr. č. 54: SCARA robot s vyznačenými osami J1, J2, J3 a J4 [30]</i>	64
<i>Obr. č. 55: Porovnání síly úchopu a zdvihu čelisti chapadel [24]</i>	67
<i>Obr. č. 56: Montážní pracoviště varianta č. 1</i>	69
<i>Obr. č. 57: Varianta č. 1: Rozložení stanovišť</i>	70
<i>Obr. č. 58: Rozdělení pracovišť varianty č. 1, stanoviště č. 1</i>	71
<i>Obr. č. 59: Rozdělení pracovišť varianty č. 1, stanoviště č. 2</i>	71
<i>Obr. č. 60: Paletka s výplní</i>	72
<i>Obr. č. 61: Přípravek</i>	72
<i>Obr. č. 62: 3D tištěná sestava zubového čerpadla</i>	73



<i>Obr. č. 63: Varianta č. 1, stanoviště č. 2 a 4</i>	74
<i>Obr. č. 64: Varianta č. 1, stanoviště 3, vision systém</i>	75
<i>Obr. č. 65: Varianta č. 1, stanoviště 3, paletky</i>	76
<i>Obr. č. 66: Varianta č. 1, stanoviště č. 4, pohled shora</i>	77
<i>Obr. č. 67: Varianta č. 1, stanoviště č. 4</i>	78
<i>Obr. č. 68: Paletka s dírou</i>	81
<i>Obr. č. 69: Varianta č. 2</i>	82
<i>Obr. č. 70: Varianta č. 2: Stanoviště č 1, 2 a 3</i>	83
<i>Obr. č. 71: Varianta č. 2: Stanoviště č 4 a 5</i>	84
<i>Obr. č. 72: Varianta č. 2: Stanoviště č 6, 7 a 8</i>	85
<i>Obr. č. 73: Detail na změnu stanovišť OP – 10 až OP – 40</i>	87
<i>Obr. č. 74: Varianta č. 3</i>	88
<i>Obr. č. 75: Varianta č. 3, stanoviště č. 1</i>	89
<i>Obr. č. 76: Varianta č. 3, stanoviště č. 2</i>	89
<i>Obr. č. 77: Varianta č. 3, stanoviště č. 3</i>	90
<i>Obr. č. 78: Varianta č. 3, stanoviště č. 4</i>	90
<i>Obr. č. 79: Montážní takt</i>	93
<i>Obr. č. 80: Počet smontovaných čerpadel za 8 hod. směnu</i>	93
<i>Obr. č. 81: Stupeň robotizace</i>	94
<i>Obr. č. 82: Efektivita 1 pracovníka</i>	95
<i>Obr. č. 83: Graf doby návratnosti, marže 1 %</i>	101
<i>Obr. č. 84: Doba návratnosti, marže 5 %</i>	101



Seznam tabulek

<i>Tab. 1 - Výpis dílů zubového čerpadla</i>	55
<i>Tab. 2 - Porovnání kolaborativních robotů FANUC, řady CR a CRX [27]</i>	61
<i>Tab. 3 - Porovnání angulárních robotů FANUC, řady LR Mate [27]</i>	62
<i>Tab. 4 - Porovnání angulárních robotů FANUC, řady M 10 [27].....</i>	63
<i>Tab. 5 - Stupně krytí před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů [25]</i>	65
<i>Tab. 6 - Stupně krytí před vniknutím vody [25].....</i>	66
<i>Tab. 7 - Varianta 1, stanoviště 2, činnosti</i>	73
<i>Tab. 8 - Varianta 1, stanoviště 4, činnosti.....</i>	74
<i>Tab. 9 - Varianta 1, stanoviště 3, operace.....</i>	76
<i>Tab. 10 - Manipulace s díly</i>	77
<i>Tab. 11 - Výpis činností a jejich časová náročnost návrhu varianty č. 1</i>	79
<i>Tab. 12 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 1</i>	80
<i>Tab. 13 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 2</i>	86
<i>Tab. 14 - Ganttův diagram návrhu varianty č. 3</i>	91
<i>Tab. 15 - Rozměry návrhů</i>	94
<i>Tab. 16 - Takt montáže</i>	94
<i>Tab. 17 - Obsazení stanovišť a takt montáže</i>	95
<i>Tab. 18 - Náklady návrhu varianty č. 1</i>	96
<i>Tab. 19 - Náklady návrhu varianty č. 2</i>	97
<i>Tab. 20 - Náklady návrhu varianty č. 3</i>	98
<i>Tab. 21 - Efektivita pracovníků a úspory</i>	99
<i>Tab. 22 - Spotřeba elektrické energie.....</i>	99
<i>Tab. 23 - Doba návratnosti, marže 1 %</i>	100
<i>Tab. 24 - Doba návratnosti, marže 5 %</i>	100

Použitý software

Autodesk Inventor Professional 2024, AutoCAD 2024, MS Excel, MS Word, Draw.io