

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

**OPTIMALIZACE MONTÁŽE
ČERPADEL**

2022

**LUKÁŠ
HOFRICHTER**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hofrichter** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **470020**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**
Studijní program: **Průmysl 4.0**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace montáže čerpadel

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of pump assembly

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše literatury
2. Analýza současného stavu montážního procesu
3. Návrhy optimalizace montáže
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

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

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Optimalizace montáže čerpadel vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení pana Ing. Tomáše Kellnera a s využitím uvedené literatury.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu Ing. Tomášovi Kellnerovi za odborné vedení, ochotu a rady, které mi pomohly tuto diplomovou práci zkompletovat. Mé poděkování patří též mé rodině za jejich podporu během psaní této práce i během celého studia.



Anotace: Cílem této diplomové práce je optimalizace montáže čerpadel pro modelovou firmu vyrábějící objemová zubová čerpadla. Na začátku práce se nachází seznámení s montáží, jejími druhy a druhy montážních linek. Dále jsou představeny způsoby optimalizace montáže, mezi které je zařazena optimalizace řízením výroby, ergonomií práce a robotizací. V práci jsou představeny tři varianty optimalizace pracoviště. Pro každou variantu byl určen takt linky a pořizovací cena navržené varianty. V poslední řadě je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, ve kterém je určena celková návratnost investice a posouzení z hlediska ergonomie, potenciálu optimalizace, zvýšení produktivity a přizpůsobitelnosti.

Klíčová slova: Návrh montážního pracoviště, tok jednoho kusu, optimalizace montáže

Abstract: The aim of this thesis is to optimize the pump assembly for a model company producing positive displacement gear pumps. At the beginning of the thesis there is an introduction to assembly, its types and types of assembly lines. Then, the methods of assembly optimization are presented, which include optimization by production control, work ergonomics and robotization. Three variants of workplace optimization are presented in the thesis. For each variant, the line stroke and the acquisition cost of the proposed variant have been determined. Finally, a technical-economic evaluation is performed in which the overall return on investment is determined and assessed in terms of ergonomics, optimization potential, productivity improvement and adaptability.

Keywords: Design of assembly workplace, one piece flow, optimization of assembly



Obsah

Úvod.....	1
1 Montáž.....	2
1.1 Definice základních pojmů	2
1.2 Dělení montáže	3
1.2.1 Dělení dle místa montáže	3
1.2.2 Dělení dle organizace práce.....	4
1.2.3 Dělení dle stupně mechanizace	7
1.2.4 Dělení dle vyměnitelnosti součástí.....	7
1.3 Montážní linky.....	9
1.3.1 Rozdělení montážních linek	9
1.3.2 Možnosti prostorového uspořádání montážních linek.....	10
1.4 Normování práce.....	11
1.4.1 Rozdělení pracovních norem	12
1.4.2 Dělení spotřeby času zaměstnance ve směně.....	13
1.4.3 Metody zjišťování skutečné spotřeby časů	14
1.4.4 Metody stanovení časových norem.....	15
2 Optimalizace montáže	17
2.1 Optimalizace řízení výroby	17
2.1.1 Metoda 5S.....	18
2.1.2 One piece flow	18
2.1.3 SMED.....	19
2.2 Ergonomie práce	20
2.2.1 Ergonomie pracovního místa.....	21



2.3	Robotizace	24
2.3.1	Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů	24
2.3.2	Základní druhy robotů s proměnlivým programem	25
2.3.3	Využití robotů	26
2.3.4	Bezpečnostní požadavky na robotizovaná pracoviště	28
3	Analýza současného stavu montáže	29
3.1	Předmět montáže	29
3.2	Stávající rozvržení pracovní linky a montážního postupu	32
4	Návrh optimalizace	38
4.1	První varianta optimalizace	38
4.1.1	Zhodnocení první varianty	43
4.2	Druhá varianta optimalizace	45
4.2.1	Zhodnocení druhé varianty	50
4.3	Třetí varianta optimalizace	52
4.3.1	Zhodnocení třetí varianty	70
4.4	Ekonomické zhodnocení	73
4.5	Technické zhodnocení	77
5	Závěr	79
	Reference	81

Úvod

Cílem této diplomové práce bude řešení optimalizace montážního pracoviště s využitím metod optimalizace. Optimalizace se zabývá zdokonalováním řešení vzhledem k nárokům, které proces musí splňovat. Mezi metody optimalizace se řadí optimalizace řízením výroby, optimalizace ergonomií práce a optimalizace robotizací. Vhodným využitím těchto metod může dojít ke snížení chybovosti, montážního času, a naopak ke zvýšení kvality produktu a spokojenosti pracovníka.

Na začátku se práce bude zabývat definováním základních pojmů montáže, které budou využity v rámci celé této diplomové práce. Dále dojde k rozdělení způsobů montáže včetně rozdělení montážních linek. Tato část hraje značnou roli při návrhu pracoviště vzhledem k montážnímu pásu. Do kapitoly montáže je zařazeno i normování práce, včetně dělení spotřeby času zaměstnance ve směně. Nejdůležitější část rešerše bude věnována optimalizaci montáže, ve které dojde k představení čtyř optimalizačních metod. V těchto metodách dojde například k představení metody toku jednoho kusu, popsání ergonomie pracovního místa a popsání nejpoužívanějších druhů robotů.

V další hlavní části dojde k představení montovaného předmětu modelové firmy. Optimalizace je prováděna na reálném příkladu. Bude vypracováno představení a následné zhodnocení stávajícího rozvržení pracovišť a montážního postupu. Budou popsány nedostatky v oblastech ergonomie a uspořádanosti pracovišť.

Dále budou navrženy tři varianty optimalizace. První varianta se bude zabývat optimalizací stávajících pracovišť. Ve druhé variantě bude montážní postup rozdělen mezi dva pracovníky. Do třetí varianty bude zakomponována metoda toku jednoho kusu, včetně robotizovaného pracoviště.

Ve třetí variantě bude zhotoven detailnější návrh skladové oblasti včetně určení časové náročnosti. Varianty budou posuzovány z hlediska návratnosti investice do dané varianty, dále i z hlediska ergonomie, potenciálu optimalizace, zvýšení produktivity a přizpůsobitelnosti.

1 Montáž

Hlavním úkolem této diplomové práce je optimalizace montáže pracovišť, tudíž je důležité si pojem montáž a její členění více přiblížit. Montáž jako takovou lze definovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů kteří se podílí na sestavování jednotlivých dílů v jeden výsledný celek (produkt).

Správně navrhnutým technologickým postupem montáže, způsobem montáže a organizací montáže, lze výrazně ovlivnit kvalitu výsledného produktu, nemluvě o efektivnosti výroby a bezpečí pracovníků. [1; 2]

1.1 Definice základních pojmů

Pro správné porozumění je zapotřebí si definovat terminologii objevující se v této kapitole a celé diplomové práci. Jedná se o pojmy:

Montážním proces = jedná se o poslední fázi výrobního procesu, ve kterém dochází ke spojování vyrobených či nakoupených součástí do celku.

Montážní operace = je jednotkou montážního procesu a jde o časově nepřetržitou část, která je uskutečněna při montáži jedním nebo více pracovníky pouze na jednom pracovišti bez přestavování pracoviště.

Montážní úsek = vyjadřuje část montážní operace, která byla provedena na jednom stroji a jedním nástrojem, při téměř identických technologických podmínkách.

Montážní úkon = jednoduchá a technologicky stejnorodá pracovní činnost sloužící k přípravě montáže např. upnutí do montážního přípravku, kterou není možné organizačně dělit.

Montážní pohyb = slouží k detailnějšímu popisu montážního procesu a je využívána jako nejmenší částí výrobního procesu kterou lze měřit. Mezi montážní pohyby můžeme například zařadit uchopení šroubováku, nebo otočení součásti.

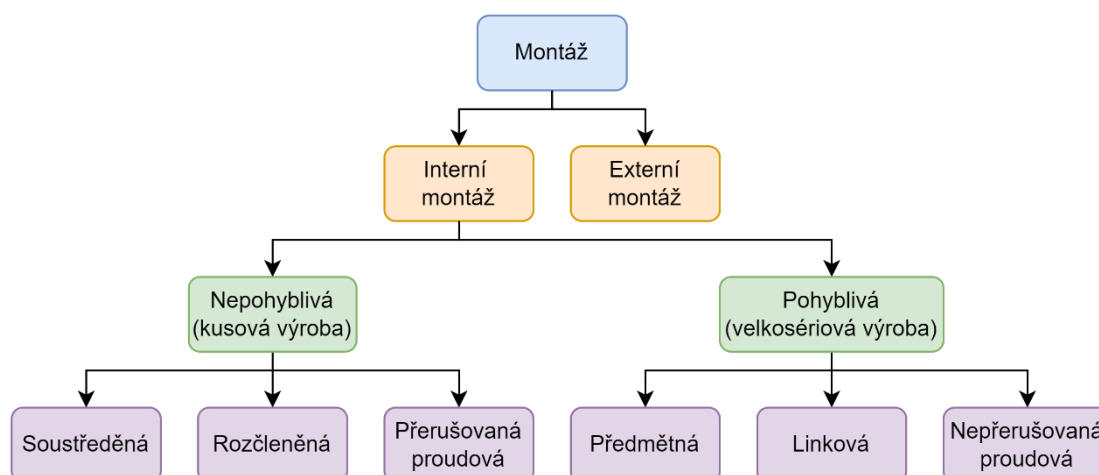
Technologický postup montáže = souhrn montážních operací za účelem spojení všech součástí do finálního celku.

Montážní schéma = znázorňuje posloupnost montáže součástí či podsestav do finálního celku. Dále slouží k vhodnému rozmístění součástí a určení pořadí v jakém montáž bude probíhat. [1; 2; 3]

1.2 Dělení montáže

Celkový přehled rozdělení montáže je znázorněn na Obr. 1. Argumenty rozdělení jsou následující:

- Stupeň mechanizace (ruční, mechanizované, automatizované)
- Organizace práce (Pohyblivá, nepohyblivá)
- Místo montáže (interní, externí)
- Vyměnitelnost součástí (Absolutní vyměnitelnost, částečná vyměnitelnost, výběrová, lícování, regulační) [1; 2]



Obr. 1: Dělení montáže [1]

1.2.1 Dělení dle místa montáže

Místo montáže výrobku závisí obzvlášť na pracnosti montáže, způsobu dodání a rozměru výrobku. Z těchto důvodů se místo montáže dělí na:

Interní montáž probíhající v místě výroby výrobku. U těchto výrobků platí, že je časově výhodnější provést celkovou kompletaci a kontrolu funkčnosti na totožném místě, kde i probíhala výroba. Po kontrole funkčnosti je výrobek exportován na prodejní místa nebo rovnou k zákazníkovi. Jedním z příkladů interní montáže je například automobil.

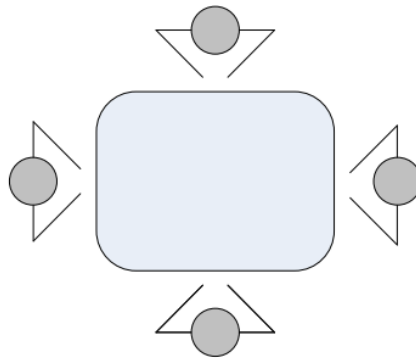
Externí montáž oproti interní montáži probíhá většinou mimo místo výroby výrobku. Výrobek může být v podniku složen do vícero podsestav, které budou vystaveny kontrole funkčnosti a dále exportovány na požadované místo sestavení. Jedním z příkladů může být například most. [1; 2; 3; 4]

1.2.2 Dělení dle organizace práce

Dle počtu pracovišť a směru toku součástí přes pracoviště lze montáž rozdělit na následující:

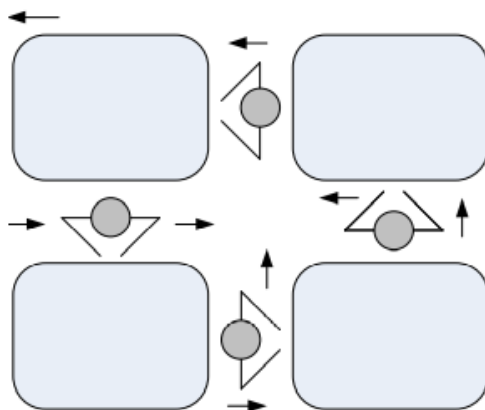
Nepohyblivá (stacionární) montáž je typem montáže, který je upřednostňován v kusové či malosériové výrobě obvykle nadrozměrných a těžkých strojů. Výhodou tohoto typu montáže je přizpůsobivost výrobě nového typu výrobku. Nepohyblivou montáž můžeme dále ještě rozdělit na:

- **Soustředěná montáž** je zobrazena na Obr. 2 a jak se lze přesvědčit, tak montáž probíhá na jednom vyhrazeném pracovišti skupinou pracovníků. Počet pracovníků je omezený rozměrem pracoviště. Pro soustředěnou montáž jsou využívány přibližné normy časů a vysoce kvalifikovaní pracovníci.



Obr. 2: Schéma rozčleněné montáže [1]

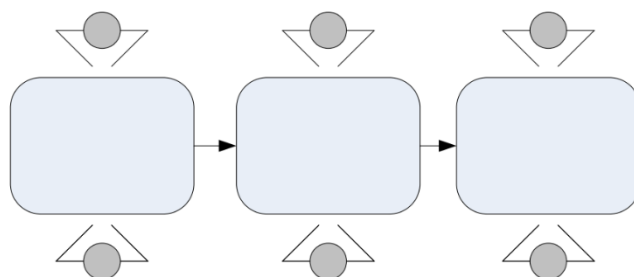
- **Rozčleněná montáž** je zobrazena na Obr. 3. Montáž výrobku je rozdělena do vícero pracovišť, kterým jsou postupně přiděleny montážní operace. Montáž na těchto stacionárních pracovištích probíhá simultánně dle montážního schématu. Rozčleněná montáž je využívána pro malosériovou výrobu.



Obr. 3: Schéma rozčleněné montáže [1]

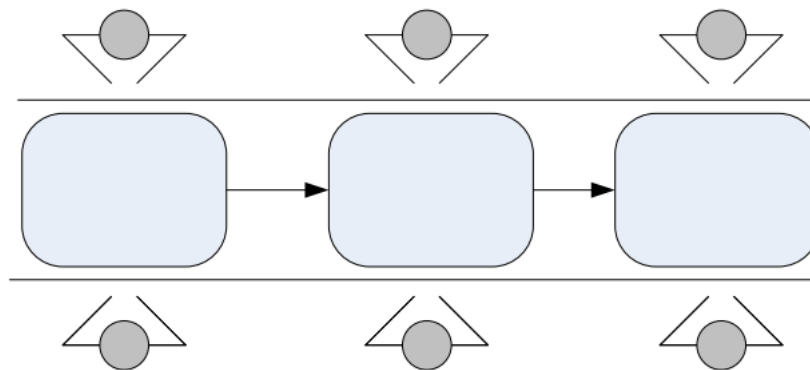
Pohyblivá (nestacionární) montáž je využívána v malosériové, velkosériové a hromadné výrobě. V případě pohyblivého předmětu je montovaná součást postupně posouvána montážní linkou přes jednotlivá pracoviště dle směru udávaným technologickým postupem montáže. V případě nepohyblivého předmětu je předmět umístěn na jednom místě a přemísťují se dělníci, kteří provádí opakovaně stejnou operaci. Montáž s pohyblivým předmětem lze dělit na:

- **Předmětná montáž** je zobrazena na Obr. 4 a posun předmětu montáže je plynulý a předmět je posouván volným taktem udávaným rychlostí jednotlivých pracovníků, kteří vykonávají stejnou neustále se opakující operaci. Jednotlivá pracoviště jsou vybavena pouze pro vykonání jedné určité operace.



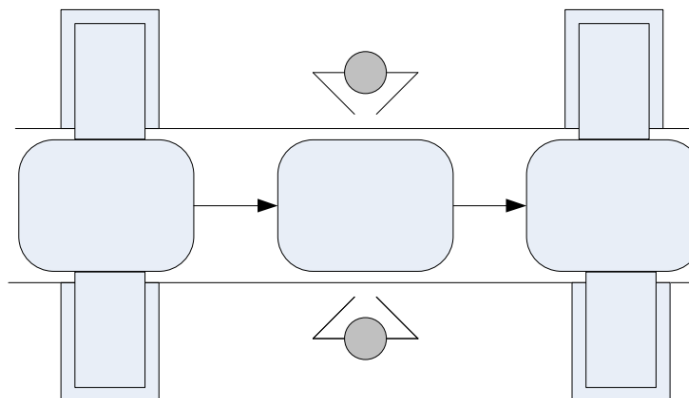
Obr. 4: Schéma předmětné montáže [1]

- **Linková montáž** udává plynulou rychlost linky i rychlost posunu montovaného předmětu. Počet operací na jednotlivé stacionární pracoviště je navržen tak, aby byl dodržen takt linky a nedocházelo k zástavě celé linie z důvodu čekání na dokončení práce na předchozím pracovišti. Z tohoto důvodu musí být obzvláště dodržen sled technologických operací. Schéma linkové montáže je zobrazeno v následujícím Obr. 5.



Obr. 5: Schéma linkové montáže [1]

- **Proudová montáž** je rozdělena na jednotlivé operace nebo úkony, které provádí specializované skupiny pracovníků. Důležitou roli v tomto typu montáže hraje synchronizace přechodů předmětu z jednoho pracoviště na pracoviště druhé. Z důvodu detailního členění montážních činností, je tento typ montáže vhodný k automatizaci. Schéma kombinace manuální a automatizované proudové montáže znázorňuje následující Obr. 6. [1; 2]



Obr. 6: Schéma proudové montáže [1]

1.2.3 Dělení dle stupně mechanizace

Z hlediska mechanizace a stupně zapojení člověka do procesu se montážní procesy rozdělují na:

Ruční montáž má na starost pracovník. Pracovník ovládá nástroj, řídí proces a průběžně kontroluje kvalitu. Z tohoto důvodu je za potřebí detailněji řešit ergonomická opatření. Avšak člověk je schopný využívat jednoduché univerzální nástroje a je velice přizpůsobivý novým změnám. Oproti poloautomatizované a automatizované montáži nejsou vyžadovány vysoké pořizovací náklady. Nevýhodou ruční montáže bývá nižší produktivita, kterou je možno zvýšit například jednoduchými upínacími konstrukcemi pro upnutí montovaného předmětu.

Poloautomatizována a automatizovaná montáž jsou typy montáže, které jsou využívány při větší sériovosti výroby z důvodu velkých pořizovacích nákladů a delší přípravy výroby. Na montážní stanoviště jsou aplikovány montážní účelové stroje nebo montážní roboti, kteří zvyšují produktivitu a není u nich potřeba řešit problematiku ergonomie. [1; 2]

1.2.4 Dělení dle vyměnitelnosti součástí

Pro dodržení předepsané přesnosti montážních celků, jsou využívány následující metody pro řešení rozměrových řetězců. Vhodná volba metody záleží na konstrukčních zvláštностech součásti a druhu výroby.

Metoda absolutní vyměnitelnosti součástí spočívá v umožnění náhodné volby součásti určené k montáži bez předchozích úprav či výběru součásti a zároveň dodržení požadované přesnosti montážního celku. Výhody této metody spočívají v jednoduchosti přípravy montáže, umožnění nízké kvalifikace pracovníků a snadnou automatizaci či mechanizaci. Mezi nevýhody patří delší výrobní časy součástí, které se pojí s vyššími náklady na přesnější výrobu.

Metoda částečné vyměnitelnosti součástí předpokládá, že každý člen rozměrového řetězce je vyroben s nahodilou odchylkou ale stále v rozsahu tolerančního pole. Výskyt extrémních odchylek v tolerančním poli je méně pravděpodobný a spíše se vyskytují

odchylky ve středu tolerančního pole. Čím vyšší je počet členů v rozměrovém řetězci, tím je možnost střetu extrémních odchylek nižší a je tedy možno toleranční pole rozšířit. Mezi výhody této metody patří nižší ekonomická náročnost na přesnější výrobu součástí, ale na druhou stranu stále existuje možnost výskytu extrémních odchylek, a tudíž potřeby dolícování.

Metoda výběrová je využívána v případě, je-li potřeba vytvořit u montovaných součástí malou vůli, nebo přesah. Výrobní náklady na vytvoření malé vůle a přesahu jsou vysoké, proto u této metody jsou vytvářeny součásti s většími tolerancemi. Pro dodržení přesnosti montážního celku je zapotřebí vhodně zvolit po předešlém měření takovou kombinaci součástí, která umožní dodržení přesnosti. Nevýhodou této metody je zdoluhavé měření a nevyužitelnost všech součástí. Za výhodu můžeme považovat menší náklady na výrobu součástí.

Lícovací metoda je využívána tehdy, jsou-li výrobní náklady při zadaných přesnostech ekonomicky těžce dosažitelné. Součásti se vyrobí s rozšířenými tolerancemi a přesnost montážního celku je upravena přilícováním jedné z předem vybraných součástí. Přilícování se provádí například broušením, smirkováním, pilováním, leštěním. Výhodou metody jsou nižší náklady na výrobu součástí i při dodržení původní požadované přesnosti. Mezi nevýhody se řadí další operace na přilícování a kvalifikovanější personál který přilícování provádí.

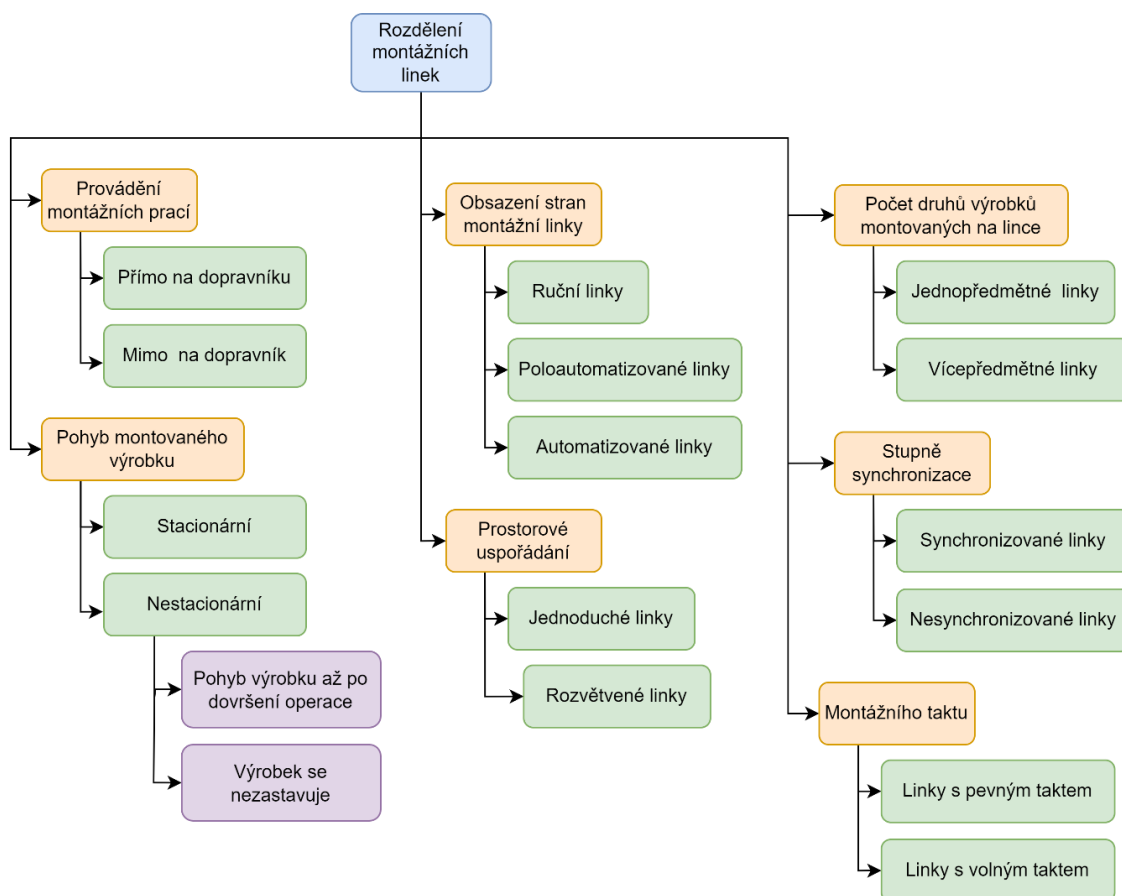
Kompenzační metoda je metoda, u které je výsledná přesnost montážního celku dosažena vložením jednoho a více kompenzačních prvků. Pod pojmem kompenzační prvek si můžeme například z řad pevných kompenzačních prvků představit vložku, distanční kroužek a podobné. Dále je možné využít i stavitelný kompenzační prvek. Výhody této metody jsou stejné jako u lícovací metody, ke kterým se ještě přidá nepotřebnost přilícování členů. Využití této metody bývá v kusové a malosériové výrobě. [1; 2]

1.3 Montážní linky

Montážní linka je vytvářena souborem jednotlivých pracovišť na základě předem vytvořeného technologického postupu. Pracoviště jsou propojena mezioperační dopravou (například dopravníkem). [5]

1.3.1 Rozdělení montážních linek

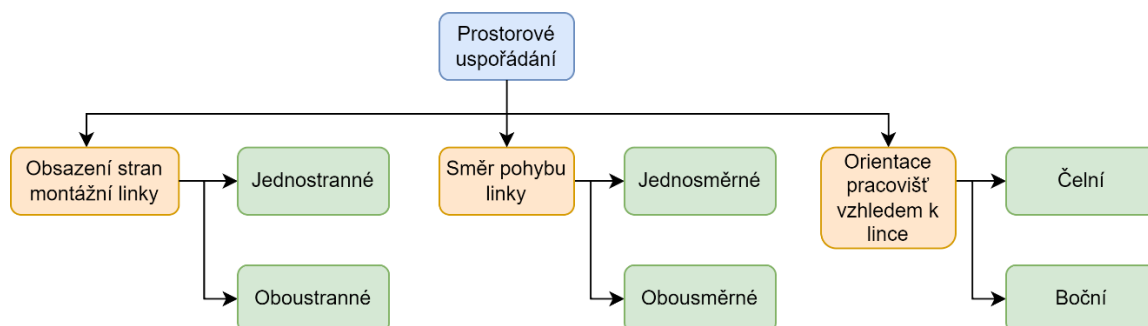
Montážní linky lze dělit dle charakteristických vlastností zobrazených v Obr. 7. [1; 2]



Obr. 7: Rozdělení montážních linek [1]

1.3.2 Možnosti prostorového uspořádání montážních linek

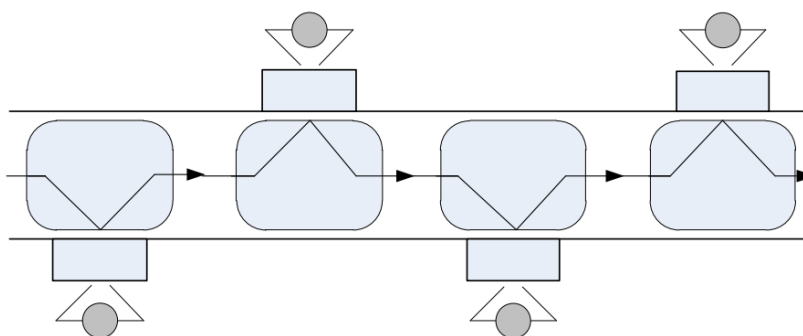
Jednoduché a rozvětvené linky lze ještě rozdělit z hlediska prostorového uspořádání, jak je zobrazeno na Obr. 8.



Obr. 8: Rozdělení prostorových uspořádání montážních linek [1]

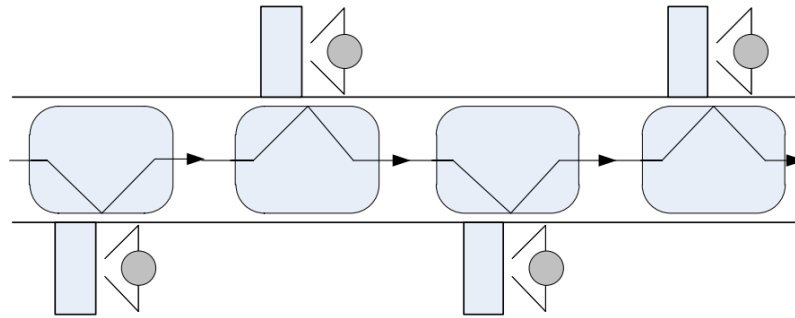
Nejdůležitější v této kapitole je rozdělení dle orientace pracoviště vzhledem k lince:

- **Čelní postavení** má omezené rozměry pracoviště, tudíž se na pracoviště vtěsnají montážní přípravky menších rozměrů a pouze manuálně ovládané pracovní prostředky. Montážní linka s čelní orientací pracovišť je zobrazena na Obr. 9.



Obr. 9: Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky s čelním pracovištěm [1]

- **Boční postavení** lépe umožňuje výskyt montážních strojů a montážních přípravků bez ztráty místa potřebného k montáži či manipulaci pracovníkem, jak se lze přesvědčit na Obr. 10. [1; 2; 5]



Obr. 10: Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky s bočním postavením pracovišť [1]

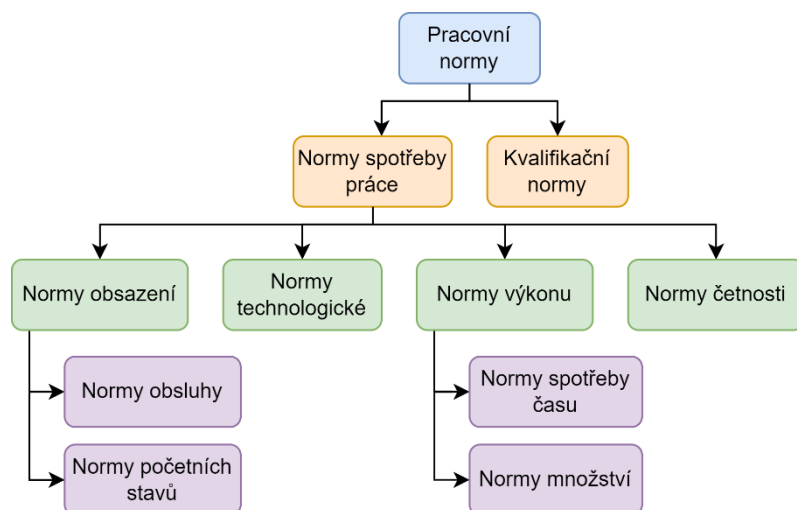
1.4 Normování práce

Pracovní normy obsahují veškeré předpisy sdělující, jakým způsobem a s jakou kvalifikací se má určitá práce hospodárně provádět. Dále je v normách uváděno i množství předepsaného pracovního času pro konkrétní podmínky za kterých je možné práci vykonat. Cílem normování práce bývá minimalizování nákladů, optimalizování využití výrobních prostředků a vytvoření mzdových nákladů dle odvedené práce.

Pro porozumění této kapitole, je zapotřebí definovat pojem Normativ času. Normativy času jsou hodnoty předpokládaného nutného času potřebného k vykonání určité složky (úkonu, pohybu, ...) normované práce. Při vykonávání složky normované práce platí určité technicko-organizační i ergonomické podmínky. Normativy času se stanovují dlouhodobým pozorováním a měřením s následujícími matematicko-statistickými výpočty. [6; 7]

1.4.1 Rozdělení pracovních norem

Pracovní normy se dělí zejména na normy spotřeby práce a kvalifikační normy. Toto a další podrobnější dělení jsou zobrazeny na Obr. 11.



Obr. 11: Rozdělení pracovních norem [7]

Normy kvalifikační stanovují potřebnou kvalifikaci pracovníka pro daný pracovní úkon.

Normy obsazení dělíme na normy obsluhy, které sdělují počet pracovníků pro obsluhu určitého zařízení. Dále normy obsazení dělíme na normy počátečních stavů, které udávají kolik pracovníků určitého povolání v daných podmínkách přísluší na pracovníky jiného povolání.

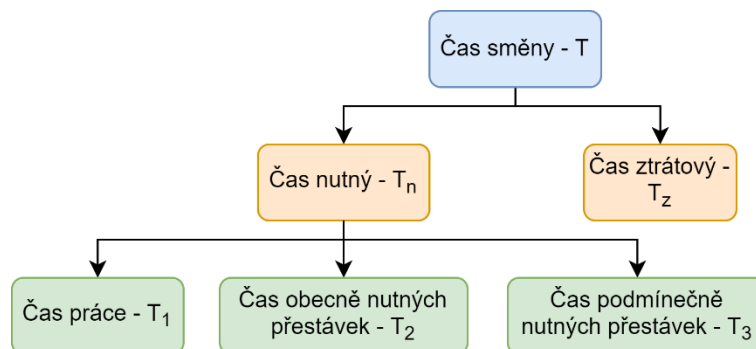
Normy technologické zobrazují nejvhodnější technologické, ekonomické vykonání konkrétní práce za určitých podmínek.

Normy výkonu se dělí na normy spotřeby času vyjadřující spotřebu času pro splnění určité činnosti v normominutách nebo normohodinách a na normy množství vyjadřující množství, které má být vyrobeno během dané činnosti z jednotku času.

Normy četnosti udávají poměr normativní hodnoty vycházejícího z hlediska operace zřídka se vyskytujícího pracovního úkonu na normě času dané operace. [7]

1.4.2 Dělení spotřeby času zaměstnance ve směně

Čas směny je veškerý čas zaměstnance, během kterého zaměstnanec provádí předepsanou práci, včetně přestávek, které vznikají z různých příčin. Dle dělení zobrazeného na Obr. 12 je čas směny rozdělen na čas nutný a čas ztrátový.



Obr. 12: Dělení času spotřebované ve směně [7]

Čas nutný T_n = je součtem všech časů, potřebných k vykonání potřebné práce při předepsané intenzitě a využití stroje. Tento čas obsahuje i všechny nutné přestávky.

Čas ztrátový T_z = jedná se o čas zahrnující nedostatky a neplánované odstávky z různých nepředpokládaných vlivů. Mezi časové ztráty se řadí i osobní ztráty a ztráty zapříčiněné vyšší mocí.

Čas práce T_1 = je to veškerý čas, během kterého pracovník prováděl účelnou práci.

Čas obecně nutných přestávek T_2 = zahrnuje časy přestávek které jsou předepsané předpisy a zákonnými normami.

Čas podmíněčně nutných přestávek T_3 = obsahuje veškeré časy přestávek vzniklých nečinností pracovníka z důvodu např. čekání na automatický cyklus, nebo čištění. Tato přestávka vyplývá z úrovně techniky a organizace práce. [7; 6]



1.4.3 Metody zjišťování skutečné spotřeby časů

Metody používané v praxi pro zjišťování skutečné spotřeby jsou následující:

- **Snímek pracovního dne** se považuje za univerzální metodu, jelikož se dá použít pro snímání jak dělníka, administrativního a řídicího pracovníka, ale také pro snímání strojního zařízení. Její princip spočívá v neustálém přímém snímání předmětu studie spotřeby času a zjištění spotřeb času, včetně jejich podílu v pracovní směně. Snímky pracovního dne rozdělujeme na:
 - Snímek jednotlivce = pozoruje se pouze jeden pracovník nebo zařízení.
 - Snímek čety = pozorování se provádí na skupině pracovníků nebo zařízení, kteří vykonávají společnou práci.
 - Hromadný snímek = zaznamenává se více pracovníků na více pracovištích
 - Vlastní snímek = je využíván pro zobrazení časových ztrát a snímání provádí sám pracovník.
- **Snímek operace** je využíván pro určení spotřeby času u pravidelně se opakujících operací či úkonech během krátkého časového intervalu probíhajících na pracovišti jednotlivce. Jsou využívány následující snímky operace:
 - Chronometrání:
 - Plynulá chronometráž = pozorování operace probíhá nepřetržitě.
 - Výběrová chronometráž = pozorují a zaznamenávají se pouze potřebné úkony od jejich začátku až po jejich konec.
 - Obkročná chronometráž = využívána v případě potřeby určení času u velmi krátkých částí operace
 - Snímek průběhu práce = je vhodný nejen k určení času operace ale i k detailnímu průzkumu záměru operace
- **Momentové pozorování** je založeno na zjišťování statického poměru operace či úkonu v celkovém čase směny bez využití přístrojů pro měření časů. Pozorované pracoviště a činnost je vybíraná náhodně. Po dostatečném počtu nahodilých měření různých činností dojde k procentuálnímu vyhodnocení poměru všech činností na daném pracovišti. [7; 8; 6]



1.4.4 Metody stanovení časových norem

Metody stanovení časových norem lze rozdělit na rozborové a sumární metody. Volba vhodné metody opět záleží na charakteru práce i výroby. Rovněž záleží i na přesnosti, kvalitě a finanční nákladnosti.

Rozborové metody stanovují normu času tím, že operaci rozloží na jednotlivé pracovní složky (úkony a pohyby) u kterých následně stanoví dobu trvání. Kromě určení normy času dochází prvně ke zhodnocení efektivity, ergonomie a finanční náročnosti. Po zhodnocení následují možné úpravy. Rozeznáváme tyto rozborové metody:

- **Rozborově chronometrážní** = časy jsou stanoveny normativy nebo chronometrží (snímkováním operace). Tato metoda umožňuje důkladnou analýzu měřené operace s možností přímého měření částí operace, pro které normy nejsou k dispozici. Rozborová chronometráž je využívána v hromadné a sériové výrobě.
- **Rozborově výpočtová** = stanovení času je provedeno z předem připravených normativů času. Mezi normativy patří systém MTM (Method Time Measurement), WF (Work Factor), MOST (Maynard Operation Sequence Technique) a REFA (Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung).
- **Rozborově porovnávací** = časy jednotlivých operací jsou použity z konstrukčně podobných a technologicky shodných výrobků, u kterých již dříve normy byly stanoveny. Časové normy u lehce odlišných (podobných) výrobků upravujeme dle poměru ploch, hmotnosti a rozměrů. Tato metoda je využívána v kusové a malosériové výrobě.

Sumární metody oproti rozborovým metodám stanovují čas normy přímo, bez rozkladu operace na menší části. Tudíž vznikají méně přesné hodnoty časů a není možné zhodnocení z technického a ekonomického hlediska. Tyto metody je tedy vhodné využít pro přechodnou, neustálenou výrobu nebo pro stanovení prozatímních norem.



- **Metoda sumárních empirických vzorců** využívá funkční závislost mezi jednotkovým časem operace a činitelem trvání. Vzorce závislostí mohou mít například podobu:

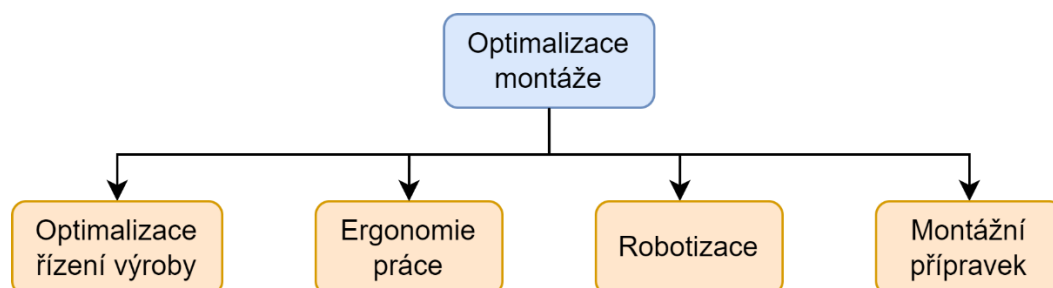
$$T = a \times X^n \quad (1)$$

kde T je norma jednotkového času, součinitel a značí složitost výrobku určitého tvaru, X je činitel trvání času (například hmotnost, plocha apod.) a mocnitel n bývá pro zjednodušení výpočtu zaokrouhlován.

- **Porovnávací metoda** pro určení normy času určité operace využívá srovnání s technologicky i konstrukčně podobnou operací, pro kterou už je norma času známá. Sumární porovnávací metoda je stejně jako rozborově porovnávací metoda používaná v kusové a malosériové výrobě, ale na rozdíl od metody rozborově porovnávací určuje normu času jako celek.
- **Statistická metoda** vyžaduje statistické záznamy technologicky podobných výkonů (norem spotřeb času) činností z minulosti.
- **Metoda sumárního odhadu** využívá pro určení časových norem pouze zkušenosti pracovníka. Tato metoda nesděluje, jakým způsobem by měřená operace měla být provozována, ale využívá pouze zkušenosti z dříve správně ale i nesprávně provedených měření. Nezkušenost pracovníka se projeví na značných chybách [7; 8]

2 Optimalizace montáže

Na začátku této kapitoly je vhodné si nejprve definovat pojem optimalizace. Optimalizace je proces neustálého zdokonalování řešení vzhledem k nárokům, které proces musí splňovat. Jedná se o co nejlepší a nejefektivnější využití situace nebo zdroje. Optimalizace montáže je nezbytnou součástí všech moderní výrobních podniků. Spadá pod obor zvaný průmyslové inženýrství. Ten se snaží o co nejlepší využití všech firemních zdrojů (finanční, lidské, znalostní, dovednostní atd.). Optimalizaci montáže lze provést optimalizací řízení výroby, optimalizací ergonomie práce nebo robotizací viz. Obr. 13.



Obr. 13: Dělení optimalizace montáže

Mezi další varianty optimalizace se řadí aplikace montážních přípravků, kteří usnadňují montáž komponent a kompletování složitých sestav. Přípravek lze využít k manipulaci ale i při kontrole rozměrů. Montážní přípravek musí být snadný pro obsluhu a měl by zkracovat výrobní čas. Dalším účelem je zvýšení bezpečnosti pevným, jednoznačným a rychlým upnutím. To má za příčinu snížení chybovosti, a tudíž i zvýšení kvality produktu. Největší využití přípravků nabývá v hromadné výrobě, ale je možné ho využívat i při kusové výrobě v nezbytných případech. [9; 10; 11; 12]

2.1 Optimalizace řízení výroby

V této části diplomové práce jsou popsány možné způsoby optimalizace řízení výroby. Optimalizace výroby se provádí především se záměrem minimalizace neefektivity výroby a navýšení kvality výrobků. Mezi nejskloňovanější způsoby optimalizace dnes patří JIT (Just In Time) a Lean production (štíhlá výroba). Nejčastěji skloňovaná metoda štíhlé výroby je metoda 5S, která je představena v kapitole 2.1.1. Dále byla představena

metoda toku jednoho kusu pocházející z výrobního systému firmy Toyota. Jako poslední byla popsána metoda SMED sloužící k redukci času přestavování výrobních linek a strojů.

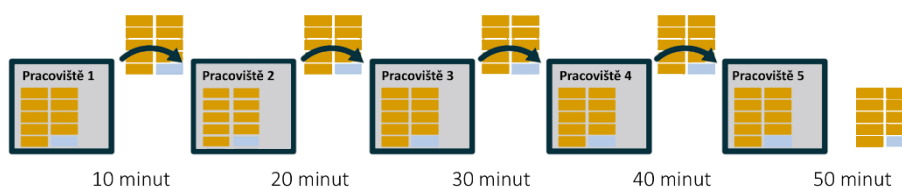
2.1.1 Metoda 5S

Metoda 5S se řadí mezi hlavní způsoby řízení štíhlé výroby (Lean production) a pěti kroky popisuje, jak optimalizovat a zlepšit výrobu. Výroba, ve které je metoda 5S aplikována je čistá, bezpečná, přehledná bez nepotřebných předmětů k výrobě a standardizovaná. Taková výroba má velmi sníženou zmetkovitost bez plýtvání, a tudíž i snížené náklady na výrobu. Mezi prvních 5S patří: separování (třízení), systematizace (uspořádání), stálá čistota, standardizace a sebedisciplína. K prvním původním 5S se dále přidává i bezpečnost a ekologie s ochranou životního prostředí. [13; 14; 15]

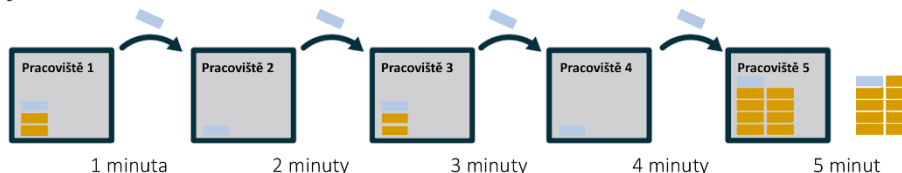
2.1.2 One piece flow

Neboli v překladu tok jednoho kusu, je hojně využívanou metodou pro dnešní moderní výrobní podniky, kteří usilují o JIT výrobu. U této metody, jak je zobrazeno na Obr. 14, se součásti pohybují jednotlivými operacemi krok za krokem bez vytváření meziskladů, jak tomu je u dávkové výroby. Jednotlivá pracoviště jsou uspořádána tak, aby výroba mohla probíhat nepřetržitě.

Dávková výroba



Tok jednoho kusu

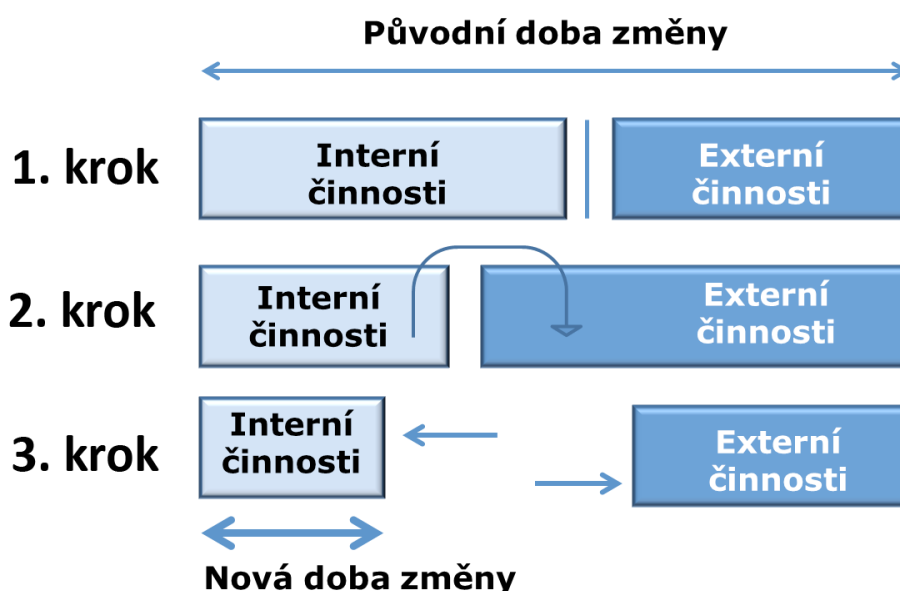


Obr. 14: Porovnání toku jednoho kusu a dávkové výroby [11]

Aplikováním One piece flow dochází ke snížení průběžné doby výroby a prostojů výroby. To má za následek snížení nákladů na výrobu. Zrušením meziskladů vzniká další prostor pro rozšíření výroby nebo taktu linky. Mezi další výhody této metody patří rychlost reakce na výrobní vady a požadavky či změny od zákazníka. Před zavedením One piece flow musí dojít ke zhodnocení procesu, aby negeneroval příliš vad a jeho časy byly opakovatelné a rovnoměrně rozložené mezi pracovišti. [16; 15; 17]

2.1.3 SMED

Dochází-li v podniku k častým redukcím výrobních dávek a přestavování zařízení, je vhodné využít systém SMED (Single Minute Exchange of Die). Tuto metodu lze také zařadit mezi možnosti optimalizace výroby. Spočívá v redukci času výměny a seřízení strojního zařízení či výrobní linky. Jako první ze dvou základních cílů se řadí získání kapacity stroje spotřebované během přestavování. Tento cíl má smysl pouze v případě, že je stroj úzkým místem neboli tzv. bottleneck. Druhým cílem je umožnit výrobu v malých dávkách, a to rychlou změnou výroby jednoho výrobku za druhý. To umožní pružnou výrobu a menší rozpracovanost.



Obr. 15: Postup při realizaci metody SMED [18]

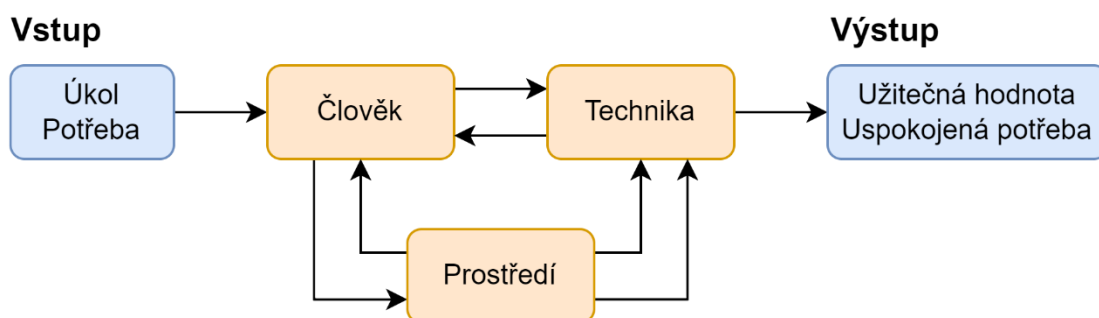
Časem seřizení se rozumí čas, který je využit od ukončení výroby posledního kusu přes nastavení nového nářadí až po výrobu prvního správně vyrobeného kusu. Princip redukce času je znázorněn na Obr. 15 a je následující:

1. **krok:** oddělení interních (práce vykonaná v době vypnutého zařízení) a externích (práce kterou lze vykonat v době vypnutého zařízení) činností při seřizení.
2. **krok:** snaha o přesun (redukci) co nejvíce interních činností na externí.
3. **krok:** zkrácení interních a externích činností. [15; 18]

2.2 Ergonomie práce

Ergonomie je jedním ze způsobů ochrany zdraví na pracovišti, kde jsou prováděny namáhavé a opakující se operace. Tím dochází k přetížení pracovníka, špatně odvedené práci, poškození zařízení či nemoci z povolání.

Ergonomie je vědní obor, který se zabývá aktivitami prováděnými pracovníkem včetně použité techniky a prostředí během těchto aktivit, se snahou o optimalizaci psychofyzické zátěže pracovníka a podpory rozvoje jeho osobnosti. Využívá systémový přístup problematiky pracovníka a předpokládá, že seskupením pracovníka, techniky a prostředí zobrazeného na Obr. 16 vznikají informační a energetické vazby. Tyto vazby jsou počátkem nového útvaru a kvality se specifickými vlastnostmi a hodnotami.



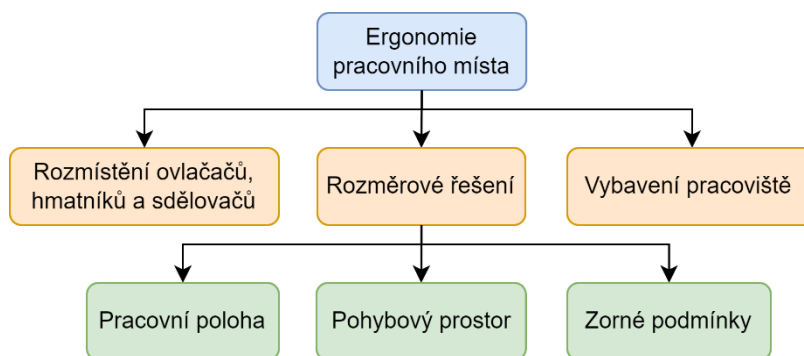
Obr. 16: Systém člověk – technika – prostředí [19]

Schéma na Obr. 16 je pouze obecným přehledem systému. Pro užití ve strojírenství a robotiky bude spíš využito systému člověk-nástroj nebo člověk-automat.

Mezi základní kritéria, dle kterých můžeme systém ergonomie hodnotit patří produktivita, spolehlivost, ekonomičnost, fyzická namáhavost, hygieničnost, nebezpečnost, estetičnost a ergonomičnost systému. [19; 20; 21]

2.2.1 Ergonomie pracovního místa

Ergonomie pracovního místa řeší potřeby pracovníka i pracovní prostředí ve kterém tento pracovník práci vykonává. Úkolem je správné vybavení pracoviště (stroje, nářadí, nábytek, osvětlení atd.) včetně jeho uspořádání, ale i úprava doby, po kterou je práce vykonávána a mnoho dalších proměnných které ovlivňují výkon a spokojenost pracovníka. Ergonomii pracovního místa lze rozdělit do následujících hlavních okruhů zobrazených na Obr. 18.



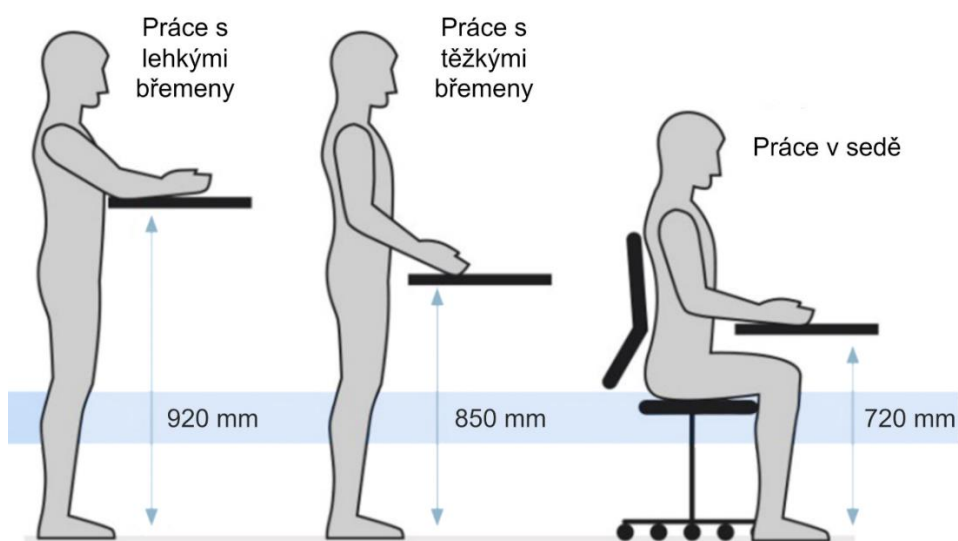
Obr. 17: Dělení ergonomie pracovního místa [19]

Pro potřeby této diplomové práce je potřeba rozepsat a vysvětlit pouze rozměrové řešení pracovního místa.

Pracovní poloha

Pracovní poloha udává ideální podmínky pro různé polohy těla, ve kterých je daná práce vykonávána. Mezi nejčastěji se vyskytující polohy řadíme sed a stoj, ale vyskytují se i polohy jako klek, předklon, dřep, leh a chůze. Ve všech těchto polohách je zapotřebí zajistit stabilitu celého těla a zabránit nadměrnému zatížení muskuloskeletálního systému.

Ze všech poloh je z fyziologického hlediska nejvýhodnější sed, jelikož je nejméně energeticky namáhavý a nohy jsou oproti stoji odlehčeny. Při sedu je tělo opřeno o židli což umožňuje dosáhnout jemnějších i přesnějších pohybů. Stoj poskytuje pracovníkovi větší sílu a dosah, avšak lidské nohy nejsou přizpůsobeny trvalému zatížení vahou lidského těla, a tudíž vznikají různé onemocnění dolních končetin. Vhodné výškové umístění stolu vzhledem k prováděné práci je znázorněno na Obr. 18.



Obr. 18: Vhodná výška stolu vzhledem k prováděné práci [22]

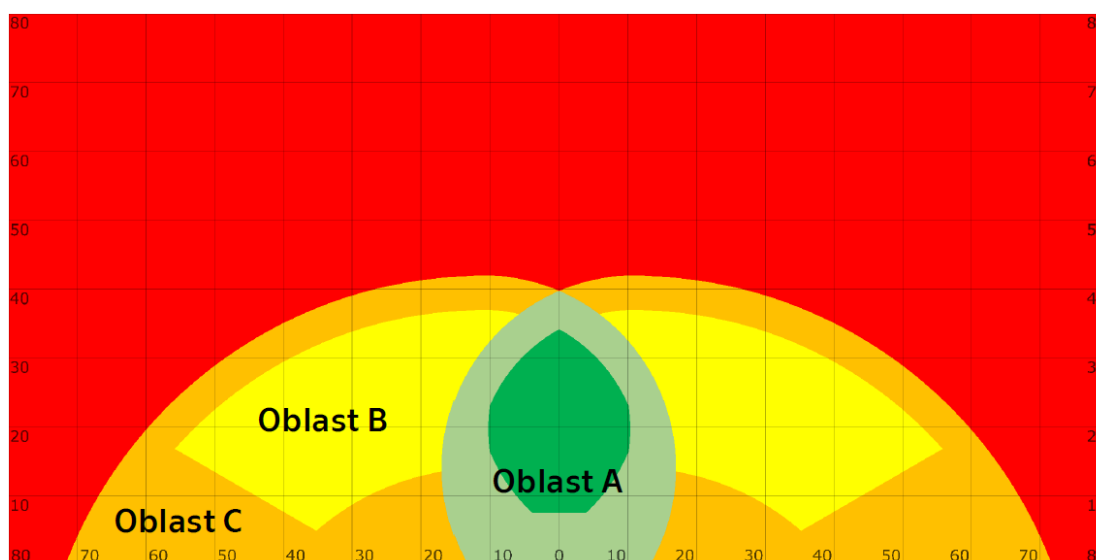
Je tedy snahou umožnit pracovníkům práci v sedě s možností změny polohy. Pokud na pracovišti není možné sedět je vhodné na ně umístit sedačky vyššího typu které umožní stoj s oporou a zajistit pracovníkovi častější přestávky nebo práci u kterých může pracovník změnit polohu.

Pohybový prostor

Pohybové prostory dělíme na manipulační ruční a pedipulační nožní. V těchto prostorech jsou prováděny pracovní pohyby pracovních činností. Pro aplikaci montáže je důležité se hlavně zaměřit na pracovní pohyby horních končetin.

Četnost a dosah pracovních pohybů je potřeba vykonávat v takové míře, aby nedocházelo k přetížení využívaných svalů. Dráhy pohybů by měli být přímé a přirozené se snahou vyhnout se obloukovým drahám. Předměty a pomůcky je potřeba umísťovat na pracovní ploše, tak aby byli v dosahu a bylo možno využívat rovnoměrně obě ruce.

Na Obr. 19 jsou znázorněny oblasti dosahu horních končetin pracovníka pracujícího ve stoje či vsedě.



Obr. 19: Dosah horních končetin pracovníka při práci vsedě i ve stoje [6]

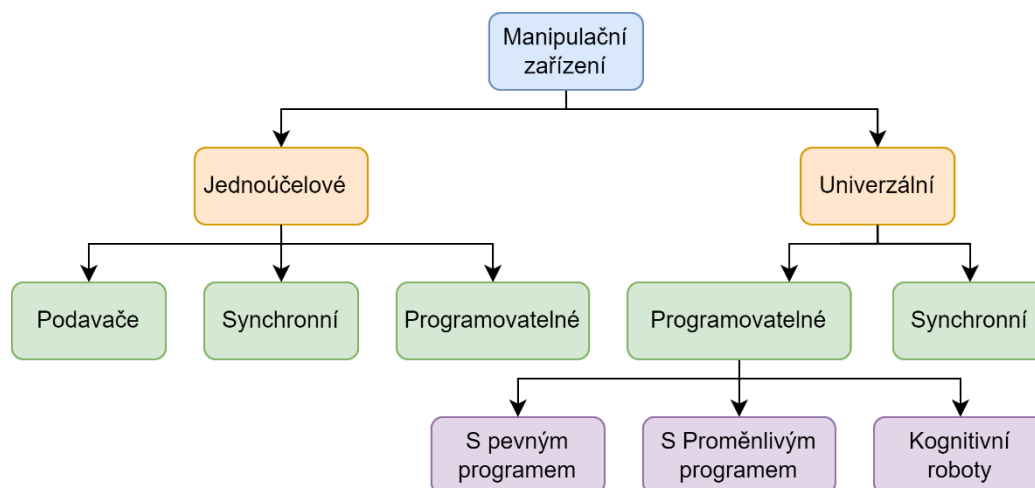
Do optimální oblasti A se umísťují předměty pro velmi časté, rychlé a přesné pohyby. Oblast B je určena pouze pohybem předloktí a konečků prstů. Pro dosažení této oblasti není ještě potřeba měnit polohu, ale může docházet k mírnému předklonu nebo pohybu do stran. Maximální dosah je udán oblastí C. Pro manipulaci předmětů v této oblasti je potřeba měnit polohu (natočit trup), tudíž je určena pouze pro méně časté, pomalé a fyzicky méně náročné pohyby. [17; 18; 19]

2.3 Robotizace

Jedním ze způsobů optimalizace montáže je i robotizace. Využití robotů či manipulátorů ve výrobním procesu lze vést ke zlepšení kvality výrobků, spolehlivosti výroby a zvýšení produktivity. Využitím manipulačního zařízení je dále možné ušetřit pracovníka monotónních a na přesnost náročných prací. Spolu s tím vším dochází zároveň ke snížení výrobních nákladů a nahrazení dnes obtížně sehnatelné pracovní síly. [23; 24; 25]

2.3.1 Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů

Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů dle provedení, stupně řízení a úrovně programování je zobrazeno na Obr. 20.



Obr. 20: Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů [24]

Jednoúčelové manipulátory jsou součástí obsluhovaného stroje a využívají jeho pohony. Mají omezené manipulační možnosti, proto jsou využívány pouze jako podavače.

Univerzální manipulátory narozdíl od jednoúčelových manipulátorů vynikají rozsahem manipulovatelnosti a přizpůsobitelností. Jsou využity jak na výrobu, montáž tak i manipulační operace. Univerzální manipulátory dále dělíme na:

- **Synchronní manipulátory** zesilují pohybové a silové veličiny vyvolané řídicím pracovníkem. Manipulátory tohoto typu jsou využity například ve vojenském a lékařském odvětví, kde jsou řízeny vzdáleně.



- **Programovatelné manipulátory** řídí programové ustředí. Konstrukce, pohon a funkce nezávisí na obsluhovaném stroji a manipulované součásti. Programované manipulátory lze rozdělit na:
 - **Manipulátory s pevným programem** řadíme mezi roboty 1. generace. Obsahují jednoduchou zpětnou vazbu, podle které přepínají mezi několika člověkem připravenými podprogramy. Změna programu bývá zdlouhavá a problematická.
 - **Manipulátory s proměnlivým programem** spadají pod 2. generaci průmyslových robotů. Tyto roboti jsou díky pokročilé zpětné vazbě schopni optimalizace výběru vhodného programu a reagovat na výrobní změny
 - **Kognitivní roboty** zařazujeme do 3. generace průmyslových robotů. Řídicí systém obsahuje umělou inteligenci, která na základě dat zadaných pracovníkem tvoří a průběžně upravuje program. [23; 24; 25; 26]

2.3.2 Základní druhy robotů s proměnlivým programem

Mezi nejpoužívanější roboty pro montáž se řadí roboti zobrazení v Tab. 1. Hlavní rozdíly jsou v maximální nosnosti, rychlosti a přesnosti opakování. S maximální nosností také přibývají rozměry robota.

Tab. 1: Specifikace nejpoužívanějších robotů [27; 28; 29; 30; 31]

Druh robota	Maximální nosnost [Kg]	Přesnost opakování [mm]	Maximální rychlost	Počet os
Kartézský	1 500	±0,1 až 0,3	1000 až 4000 mm/s	3
Konvenční kloubový	2 300	±0,01 až 0,18	14 až 1 500 °/s	6
Kolaborativní kloubový	35	±0,01 až 0,04	180 °/s 1 000 mm/s	6
SCARA	20	±0,004 až 0,01	2 500 až 3 000 °/s	4
Delta	8	±0,02 až 0,1	1 440 až 3 000 °/s	3 až 6

Kartézský robot, nebo také někdy nazývaný portálový robot provádí pohyby pouze ve 3 osách a to X, Y a Z. Pracovní prostor je omezen na rozměry a orientaci rámu, která může být například horizontální a vertikální.

Konvenční kloubový robot obsahuje pouze rotační kinematické dvojce. Má čtyři až deset rotačních os, ale nejčastěji se objevuje s šesti osy. Konvenční kloubový robot je v praxi nepoužívanější druhem robota, a to z důvodu dobrých dynamických vlastností.

Kolaborativní kloubový robot neboli zkráceně kobot vychází z podoby konvenčního kloubového robota, ale díky využití mnoha senzorů snímající odpor ramena a další je umožněno rychlé uvedení do provozu bez potřeby dodržení striktních bezpečnostních opatření, jak tomu bývá u konvenčních kloubových robotů. Množstvím senzorů je umožněno jednoduché spolupráci člověka s robotem. Úspora na bezpečnostních opatřeních dále i snižuje celkovou pořizovací cenu pracoviště s kobotem.

SCARA robot vyniká svojí rychlostí, silou, přesností a efektivitou. Tento robot je vhodný jak pro montáž, tak i manipulaci drobných dílů. První dvě osy slouží k pohybu v osách X a Y, zbylé dvě osy k pohybu v ose Z.

Delta robot je umístěný nad produktem. Motory jsou přidělaný k jeho základně a níže spojeny spolu rameny. Delta robot umožňuje vysoké zrychlení, přesnost a rozsah pohybu, které bývá hlavně využito v potravinářském, farmaceutickém a elektronickém průmyslu. [23; 24; 25]

2.3.3 Využití robotů

Roboty lze v současné době využít v téměř každém odvětví, a to od potravinářství až po zdravotnictví. Pracovník bývá nahrazen na pracovištích, kde se provádí neustále se opakující operace, které bývají zdrojem chronických úrazů, pokud nejsou řádně ergonomicky řešeny. Mezi tyto operace můžeme zařadit broušení, svařování a úklid v nemocnicích. Jak se lze přesvědčit v Tab. 2, tak pracovník však bude vždy vynikat v měkkých dovednostech a nestruktalizovaných úkolech v závislosti na rychle se měnících potřebách výrobního procesu.

Tab. 2: Porovnání pracovníka a robota [24]

	Faktor pracovníka	Faktor robota
Pracovní parametry	Nestabilní, pomalý, únava	Stabilní, rychlý
Přizpůsobení novému úkolu	Rychlé	Zdlouhavé
Flexibilita, pracovní prostor	Velká flexibilita i pracovní prostor	Nižší flexibilita, omezený pracovní prostor
Chybovost	Vysoká	Nízká
Náhrada a oprava	Může být nahrazen	Vyžaduje opravy
Cena práce	Vysoká	Nízká
Pořizovací cena pracoviště	Nízká	Vysoká

Mezi nejčastější aplikace robotů patří:

- **Montáž** může aplikací robota dosáhnout výrazně vyššího taktu a konzistentních výsledků. Efektory mohou být speciálně přizpůsobené dané montážní operaci tak, aby vyhovovaly požadavkům.
- **Přesná montáž** je potřeba je-li předepsáno přesné uložení součásti. Je potřeba docílit shodu mezi dosaženými polohami pro stejnou zadanou polohu. Tento typ montáže je využíván především v automobilovém a leteckém průmyslu. Vyšší přesnost robota je možné docílit doplněním měřících zařízení. [32]
- **Obsluha stroje** patří mezi další aplikace robotů. Robot může například obsluhovat CNC stroj a zaručit konstantní dávkování výrobků včetně přesnosti. Tím vším zvyšuje produktivitu a snižuje zmetkovitost.
- **Kontrola kvality** povrchu, rozměru a tvaru, je díky robotu rychlejší a efektivnější. Na robotické rameno je usazena kamerová technika a pohybem robota kolem produktu je umožněno objektivní vyhodnocení.

- **Sběr a umístování** je využito například u balení produktu, které je velice rychlé, a tudíž i obtížné pro pracovníky udržet tempo. Robot je schopen předmět uchopit, změnit orientaci a přemístit na jiné místo, bez potřeby přestávek. Vše probíhá za vysoké rychlosti se snížením četnosti chyb bez snižující se efektivity a zranění pracovníků.
- **Technologické operace** jako je například svařování, řezání a lepení je nutné provádět se speciálním efektozem. Robot může těmto operacím zajistit vysokou přesnost a opakovatelnost pohybů [23; 24; 25]

2.3.4 Bezpečnostní požadavky na robotizovaná pracoviště

Robot a jeho ovládané nástroje mohou dosáhnout velkých rychlostí a vážně ublížit na zdraví pracovníkům, nebo poškodit okolní zařízení. Pro zachování bezpečnosti byli určeny bezpečnostní normy. Normy typu A popisují požadavky na konstrukci a obecné požadavky na strojní zařízení. Normy typu B se zabývají bezpečnostními aspekty a bezpečnostními prvky. Jako poslední máme normy typu C popisující bezpečnostní požadavky na stroj či skupinu strojů. [33; 34; 35]

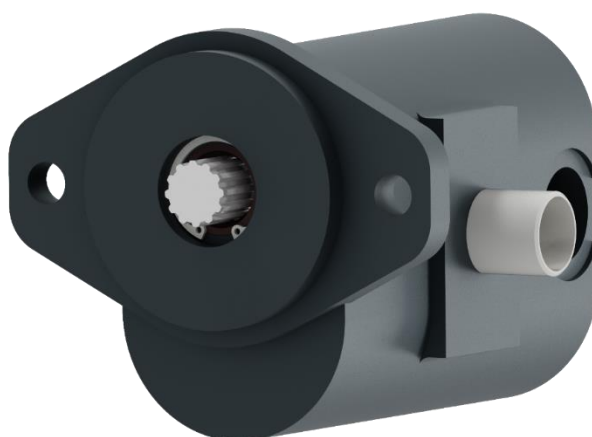
3 Analýza současného stavu montáže

Praktická část této diplomové práce spočívá v optimalizaci montáže na reálném předmětu v modelové firmě. Cílem optimalizace je zdokonalování řešení vzhledem k nárokům, které proces musí splňovat. V tomto případě bude zapotřebí optimalizovat zejména uspořádanost pracovišť, ergonomii práce a čas montáže.

Nejprve dojde k představení předmětu montáže. Následně bude zpracována současná varianta uspořádání pracovišť, včetně využívaného postupu montáže čerpadla. Dojde ke zhodnocení problémů, které bude potřeba v dalších variantách napravit. Montážní postup a jednotlivé časy operací/úkonů jsou určeny snímkem pracovního dne. Určené časy operací jsou oproti realitě zkráceny za účelem nevynášení dat z firmy/výroby.

3.1 Předmět montáže

Předmětem montáže navrhované montážní linky je zubové čerpadlo znázorněné na Obr. 21. Jedná se o čerpadlo s velkým objemem. Konstrukce čerpadla (příruba, těleso, mezitěleso a víko) je pro náročný provoz vyrobena z litiny, tudíž může být čerpadlo využito v mobilní hydraulice v oblasti zemědělských, těžkých stavebních a silničních strojů a v současných hydraulických systémech manipulační techniky.




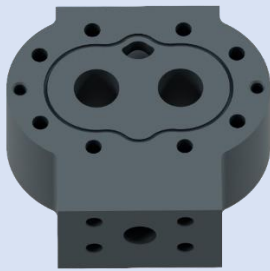

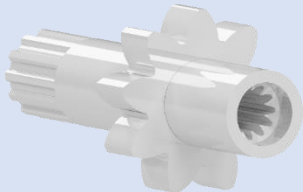
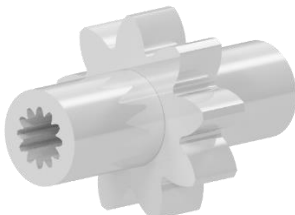
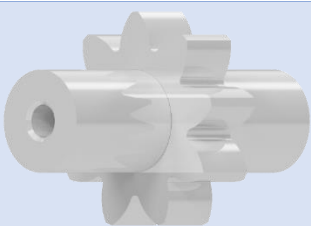
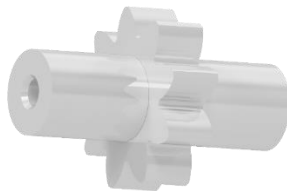
Obr. 21: Čerpadlo

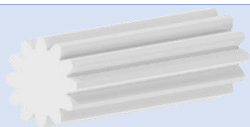
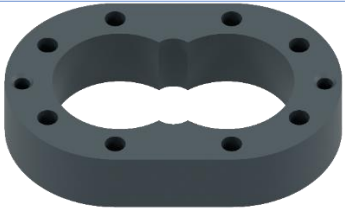
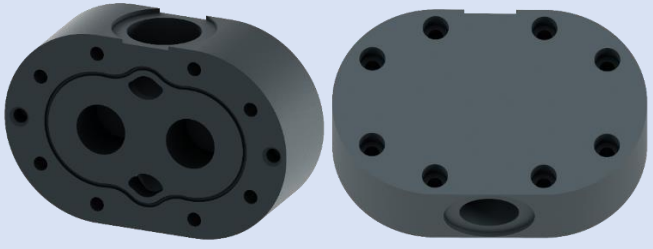

Výčet všech dílů použitých ke složení jednoho čerpadla je zobrazen v následující Tab. 3.

Tab. 3: Přehled jednotlivých dílů

Název dílu	Počet kusů	Náhled
Gufero	1	
Pojistný kroužek	1	
Těsnící kroužek	4	
Příruba	1	
Středící kolíky	8	
Přítlačná deska	4	
Těsnění pro přítlačnou desku	4	

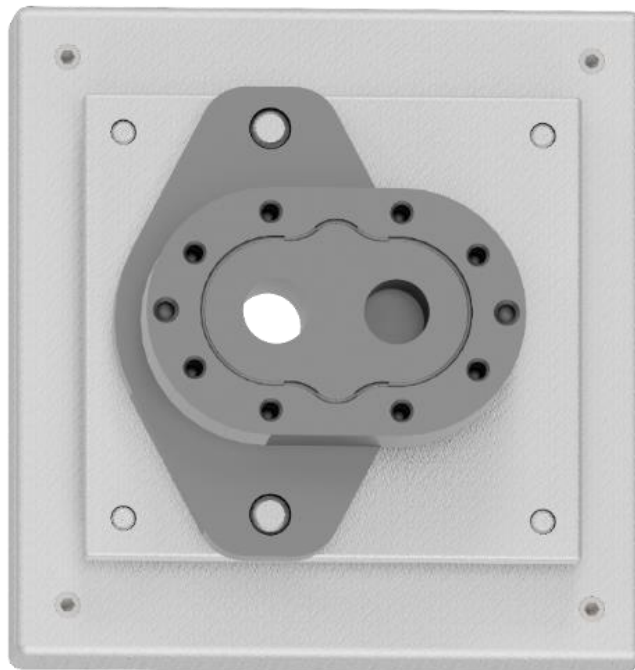


Příložka	4	
Mezitěleso	1	
Nátrubek	1	
Hnací kolo 1	1	
Hnací kolo 2	1	
Hnané kolo 1	1	
Hnané kolo 2	1	

Spojka	1	
Těleso	2	
Víko	1	
Šroub	8	

3.2 Stávající rozvržení pracovní linky a montážního postupu

Montážní postup a jednotlivé časy operací/úkonů byli určeny snímkem pracovního dne. Stávající výroba čerpadla je dávková a postup montáže čerpadla je následující. První fází montáže je příprava všech komponent k montáži. Dochází k nalisování gufera ručním lisem na přírubu a zajištění gufera pojistným kroužkem. Následně je příruba očištěna stlačeným vzduchem a do drážky je vloženo těsnění. Posledním krokem přípravy příruby je naklepnutí středících kolíků. Následně dojde k připravení přitlačných desek, a to osazením přitlačných desek těsněním a příložkou. Dalšími kroky přípravy je lisování nátrubků ručním lisem na mezitělesa a vložení spojek do hnacích kol. Takto si pracovník připraví komponenty na zkompletování 25 kusů čerpadel.



Obr. 22: Přípravek k montáži čerpadla

Druhou fází montáže je samotná montáž. Na montážní přípravek zobrazený na Obr. 22 je nasazena už připravená příruba. Zbýlý montážní postup včetně již popsané části je zobrazen v Tab. 4. V této tabulce jsou uvedeny i časy jednotlivých operací a úkonů, ze kterých byl spočítán celkový čas montáže na jednotlivých pracovištích.

Čas pro doplnění zásob na pracovišti byl vyčíslen na 50 minut a probíhá pokaždé po zhotovení 25 kusů čerpadel, což činí při rozpočítání na jeden kus 2 minuty. Pro určení taktu montáže bylo zapotřebí sečíst všechny časy prováděných operací a připočíst k nim také čas pro doplnění zásob rozpočítaný na jeden kus čerpadla. Takt montáže tedy pro původní variantu montáže činí 10,3 minuty.



Tab. 4: Montážní postup při stávajícím rozvržení

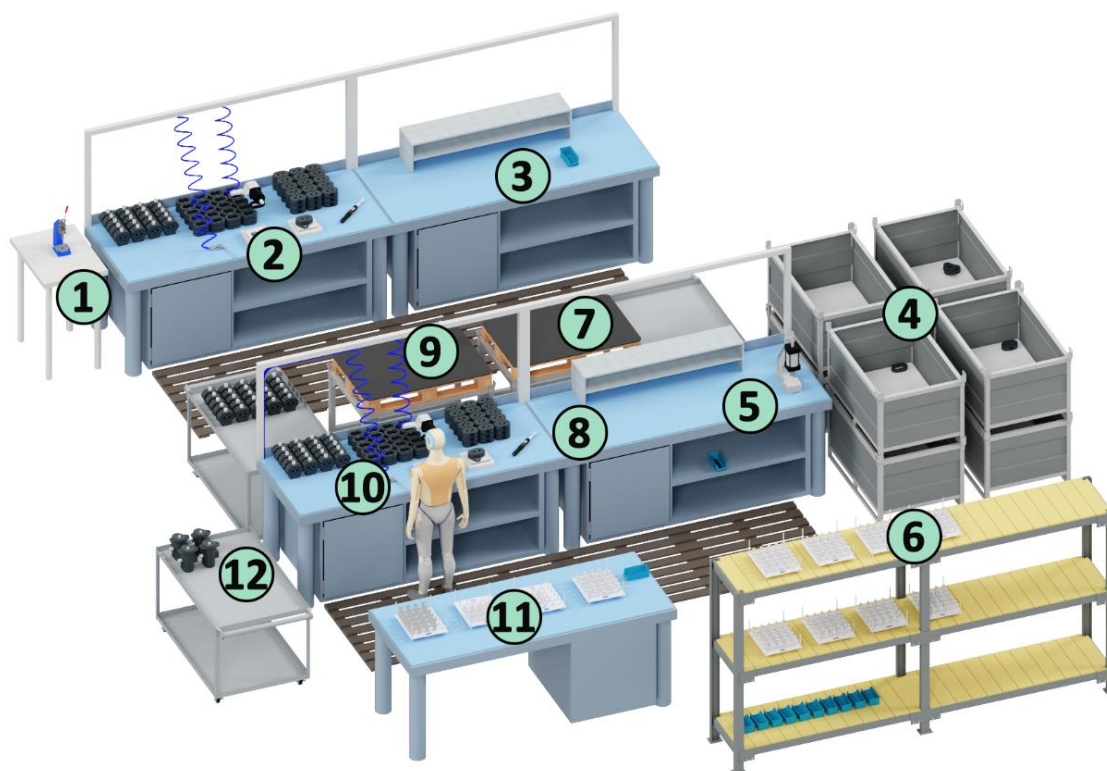
Číslo operace/ úkonu	Popis činnosti	Časy operací/ úkonů [s]	Pracoviště	Celkový čas na pracoviště [s]
1	Nalisování gufera do příruby	18	1	32
2	Vložení pojistného kroužku	14		
3	Očištění příruby	6	2 nebo 10	23
4	Osazení příruby těsnícím kroužkem	11		
5	Osazení příruby 2 středícími kolíky	6		
6	Aplikace vazelíny na těsnění pro přítlačné desky	3	3	107
7	Osazení 4 přítlačných desek těsněním	52		
8	Osazení 4 přítlačných desek příložkou	52		
9	Do mezitělesa nalisoat nátrubek	25		
10	Kontrola průměru hnacího kola	6	11	30
11	Kontrola průměru hnaného kola	6		
12	Kontrola průměru hnaného kola	6		
13	Kontrola průměru hnacího kola	6		
14	Nasazení spojky do hnacího kola	6		
15	Vizuální kontrola víka	9	2 nebo 10	274
16	Očištění víka	6		
17	Osazení víka těsnícím kroužkem	11		
18	Uložení příruby do montážního přípravku	4		
19	Usazení přítlačné desky na přírubu	6		
20	Vložení hnacího kola	11		



21	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	10		
22	Vizuální kontrola tělesa	6		
23	Nasazení tělesa na přírubu	4		
24	Mazaní rotačních součástí	8		
25	Usazení přítlačné desky na kola	6		
26	Osazení tělesa 2 středíci kolíky	6		
27	Vizuální kontrola mezitělesa	5		
28	Očištění mezitělesa z jedné strany	8		
29	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	11		
30	Nasazení mezitělesa na těleso	8		
31	Očištění mezitělesa z druhé strany	8		
32	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	11		
33	Osazení mezitělesa 2 středíci kolíky	6		
34	Usazení přítlačné desky na mezitěleso	6		
35	Vložení hnacího kola na přítlačnou desku	10		
36	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	10		
37	Vizuální kontrola tělesa	5		
38	Nasazení tělesa na mezitěleso	6		
39	Osazení mezitělesa 2 středíci kolíky	6		
40	Mazaní rotačních součástí	8		
41	Usazení přítlačné desky na kola	6		
42	Nasazení víka na těleso	4		
43	Vložení do čerpadla 8 šroubů	15		

44	Utáhnutí šroubů rázovým utahovákem	28		
45	Dotažení šroubů momentovým klíčem	26		
46	Doplnění skladových prvků	120	-	120
Celkem				10,3 minuty

Na obrázku Obr. 23 je zobrazeno aktuální rozvržení pracovišť využívaných pro montáž čerpadla. Na obrázku je značeno odkládací místo (12) pro hotová čerpadla a skladovací místo (4) a (6), kde jsou skladovány veškeré potřebné komponenty pro montáž. Hlavním bottleneckem (úzkým místem) montáže je přecházení mezi jednotlivými pracovišti, tedy jejich uspořádanost. Navíc si pracovník volí sám, mezi pracovišti (2) a (10) na kterém chce zrovna pracovat. Tomu odpovídá i využití pracovišť (7) a (11). To způsobuje neustálé hledání nástrojů mezi pracovišti, doplňování si připravených částí a zmatenost pracovníka.



Obr. 23: Aktuální rozvržení pracovišť a úložných ploch



Velkou část času montáže pracovník spotřebuje pohybem mezi pracovišti (1), (3), (5) a (10) nebo (2). Při těchto cestách nemá pracovník možnost díly naložit na vozík a vhodnou (krátkou) cestou si je dovést k hlavnímu pracovišti (2) či (10). Dalším hlavním problémem tohoto uspořádání je ergonomie práce. Vkládání kol vyžaduje otočení se od pracoviště (10) k pracovišti (11), uchopení kol a vložení na přítlačnou desku na pracovišti (10). Tento pohyb je vykonán téměř 80x za směnu.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2.1, tak nohy nejsou uzpůsobeny trvalému zatížení váhy lidským tělem, a tudíž za velkou nevýhodu je považována absence židle, ale také i možnost nastavení vhodné výšky stolu pro daného pracovníka. Skutečnost, že pracovník je nucen dodržovat stále stejnou pracovní polohu ve stoje bez možnosti sedu, či změny výšky stolu přivozuje neustále se zvyšující prostoje mezi jednotlivými smontovanými produkty.

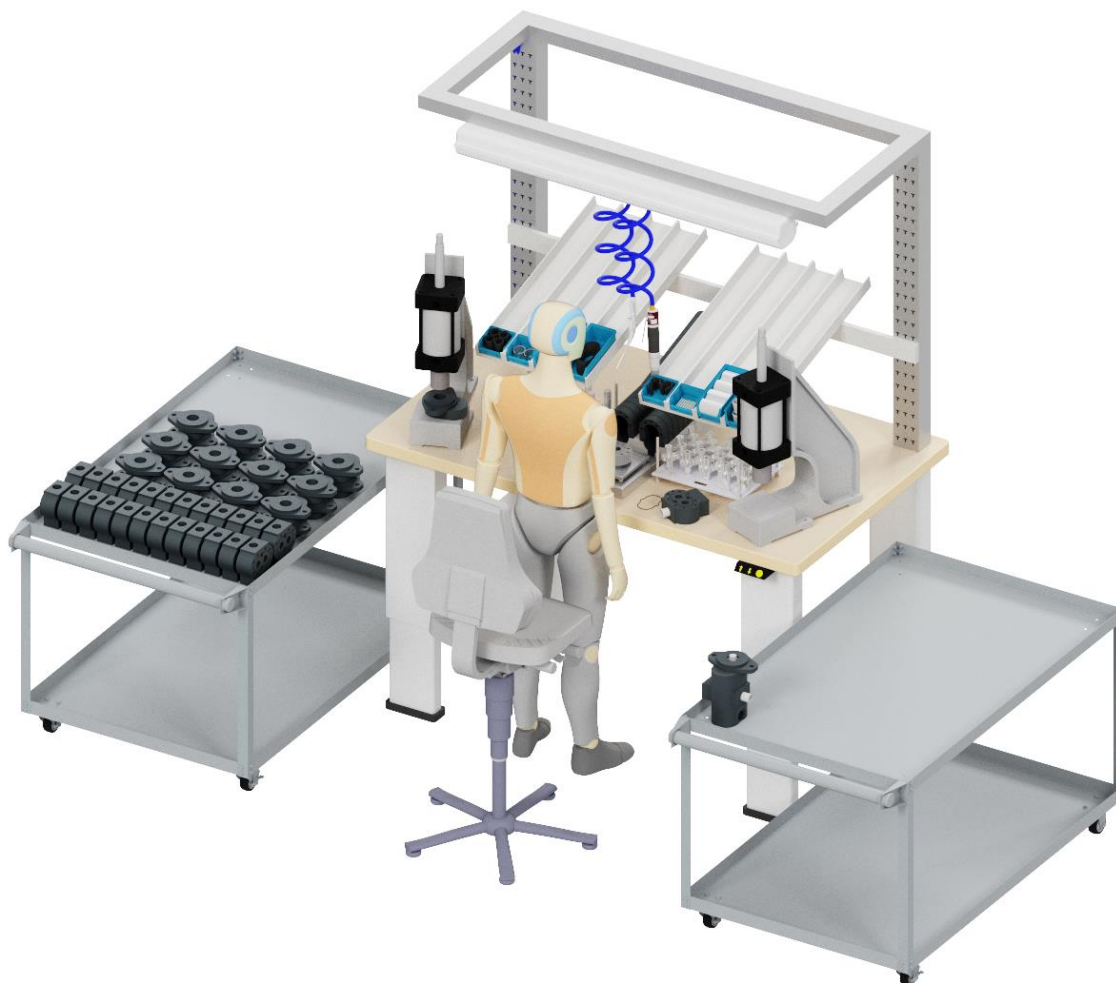
Jako další problém, je neustále se měnící pozice umístění vozíků, jelikož není jejich trvalá pozice předepsána. Tento problém způsobuje přehmaty pracovníka pro jiný díl a ztráty času v organizaci pracoviště. Zároveň jsou vozíky velmi vzdálené od pracovišť (2) a (10).

4 Návrh optimalizace

Budou navrženy tři varianty optimalizace, u kterých dojde k nápravě zjištěných nedostatků stávající varianty. Varianty se budou lišit počtem pracovníků/pracovišť, úrovní automatizace a také potřebou využití pracovníka ve skladu. Tyto varianty budou vymodelovány v programu Autodesk Inventor. Dále bude u všech variant určen takt montáže. Porovnání variant bude popsáno v ekonomickém a technickém zhodnocení.

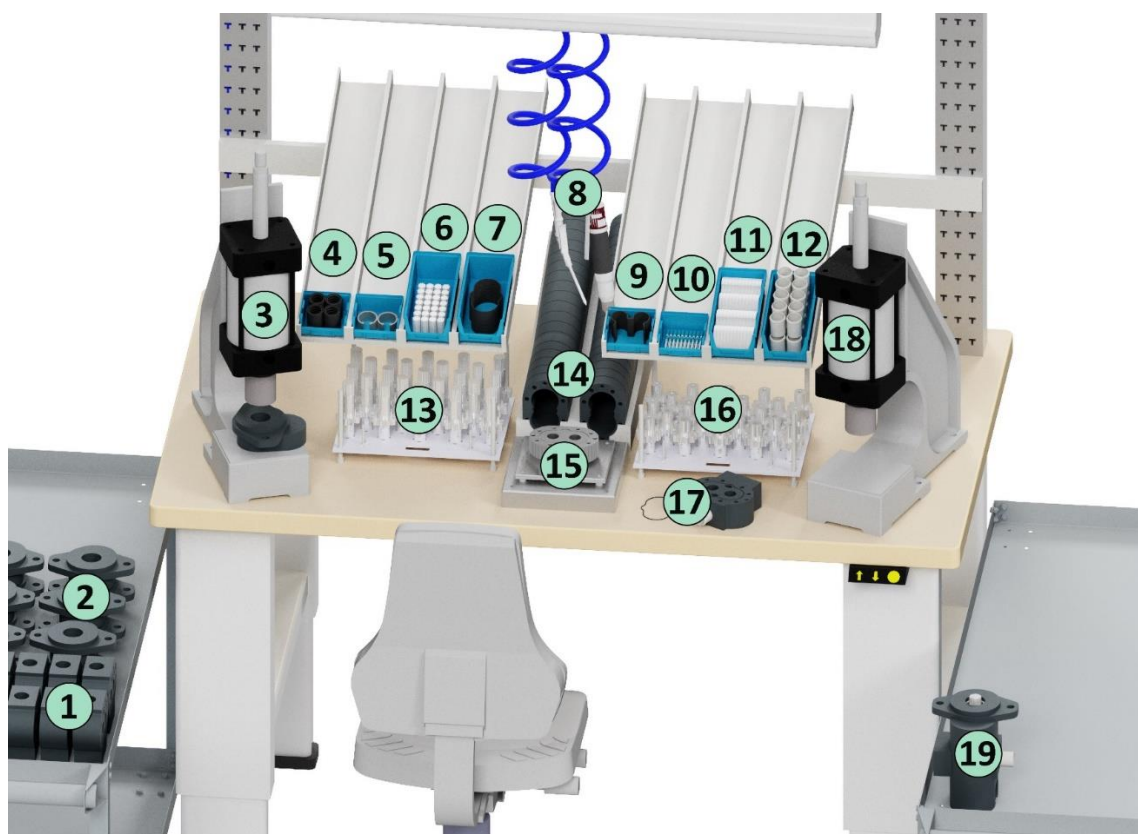
4.1 První varianta optimalizace

V této kapitole proběhla optimalizace stávajících pracovišť zejména z hlediska ergonomie, bez využití manipulátorů. Při navrhování toho pracoviště byla snaha o výrobu 25 kusů v jedné dávce, aby byla četnost doplňování spádových drah a odvoz vozíků co nejmenší. Dle minimální velikosti dávky, byla určena kapacita a proporce všech skladových prvků (spádové dráhy, krabičky, přípravky na kola a vozíky). Vizualizace této varianty je zobrazena na následujícím Obr. 24.



Obr. 24: Optimalizované původní pracoviště

Pracoviště bylo navrženo tak, aby si mohl pracovník upravit výšku stolu, židle a intenzitu osvětlení dle svých potřeb pro co nejvhodnější polohu. Na Obr. 25 jsou očíslovány jednotlivé skladové prvky, využívané pracovní náčiní a plochy sloužící k montáži. Pracoviště je stále koncipováno pro práci ve stoje, a to zejména z důvodu hmotnosti součástí (1), (2) a smontovaného čerpadla (19).



Obr. 25: Rozvržení optimalizovaného původního pracoviště

Pracoviště bylo vybaveno spádovými drahami, na kterých jsou umístěny krabičky s dostačující kapacitou na celou směnu, včetně rezerv. Spádové dráhy zaručují plynulý přísun komponent, stále stejné neměnné umístění krabiček ve vhodné vzdálenosti. Pořadí krabiček bylo určeno dle četnosti využití jednotlivých dílů. Pracovník je nucen dvakrát za směnu doplnit a odvést vozíky se součástmi (1), (2) a (19). Též musí doplnit skladové přípravy na kola (13) a (16), které jsou také navrženy s kapacitou 25 kusů.

Jedna ze změn v montážním postupu uvedeném v Tab. 4 je následující. Díly nejsou připravovány dávkově, tedy pracovník vykonává úkon vkládání těsnění a příložky z krabičky (9) do přítlačné desky z krabičky (11) čtyřikrát za jednu montáž čerpadla. Další změnou je využití kalibrovatelného šroubováku (8) s nastavitelným momentem pro správné utažení bez potřeby využití momentového klíče.

Dále kontrola kol bude probíhat po výrobě. Toto rozhodnutí ulehčí logistiku a zkrátí čas v případě špatně vyrobených kol. Bude dále aplikováno i na zbylé varianty optimalizace.

Celý montážní postup první varianty optimalizace montáže čerpadel je zobrazen v Tab. 5, ve které jsou zároveň zobrazeny časy operací. Po sečtení časů operací lze dojít k celkovému času montáže jednoho čerpadla, který je 363 vteřin. Po přiřčení dvou minut k celkovému času montáže jako tomu bylo u původní varianty vznikne takt montáže. Takt montáže první varianty je roven 8,3 minuty.

Tab. 5: Montážní postup první varianty

Číslo operace/ úkonu	Popis činnosti	Časy operací/ úkonů [s]
1	Očištění příruby	6
2	Nalisování gufera do příruby	14
3	Vložení pojistného kroužku	11
4	Uložení příruby do montážního přípravku	2
5	Osazení příruby těsnícím kroužkem	9
6	Osazení přítlačné desky těsněním	11
7	Osazení přítlačné desky příložkou	11
8	Usazení přítlačné desky na přírubu	6
9	Osazení příruby 2 středícími kolíky	6
10	Vložení hnacího kola na přítlačnou desku	11
11	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	8
12	Nasazení spojky do hnacího kola	6
13	Vizuální kontrola tělesa	5
14	Nasazení tělesa na přírubu	4
15	Mazání rotačních součástí	6
16	Osazení přítlačné desky těsněním	11
17	Osazení přítlačné desky příložkou	11



18	Usazení přítlačné desky na kola	6
19	Osazení tělesa 2 středícími kolíky	6
20	Vizuální kontrola mezitělesa	5
21	Do mezitělesa nalisovat nátrubek	17
22	Očištění mezitělesa z jedné strany	6
23	Očištění mezitělesa z druhé strany	6
24	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	8
25	Nasazení mezitělesa na těleso	4
26	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	10
27	Osazení mezitělesa 2 středícími kolíky	6
28	Osazení přítlačné desky těsněním	11
29	Osazení přítlačné desky příložkou	11
30	Usazení přítlačné desky na mezitěleso	6
31	Vložení hnacího kola na přítlačnou desku	8
32	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	8
33	Vizuální kontrola tělesa	5
34	Nasazení tělesa na mezitěleso	4
35	Mazaní rotačních součástí	6
36	Osazení přítlačné desky těsněním	11
37	Osazení přítlačné desky příložkou	11
38	Usazení přítlačné desky na kola	6
39	Vizuální kontrola víka	5
40	Očištění víka	9
41	Osazení víka těsnícím kroužkem	10
42	Nasazení víka na těleso	4
43	Vložení do čerpadla 8 šroubů	10
44	Utáhnutí šroubů rázovým utahovákem	20
45	Doplnění skladových prvků	120
Celkem		8,3 minuty

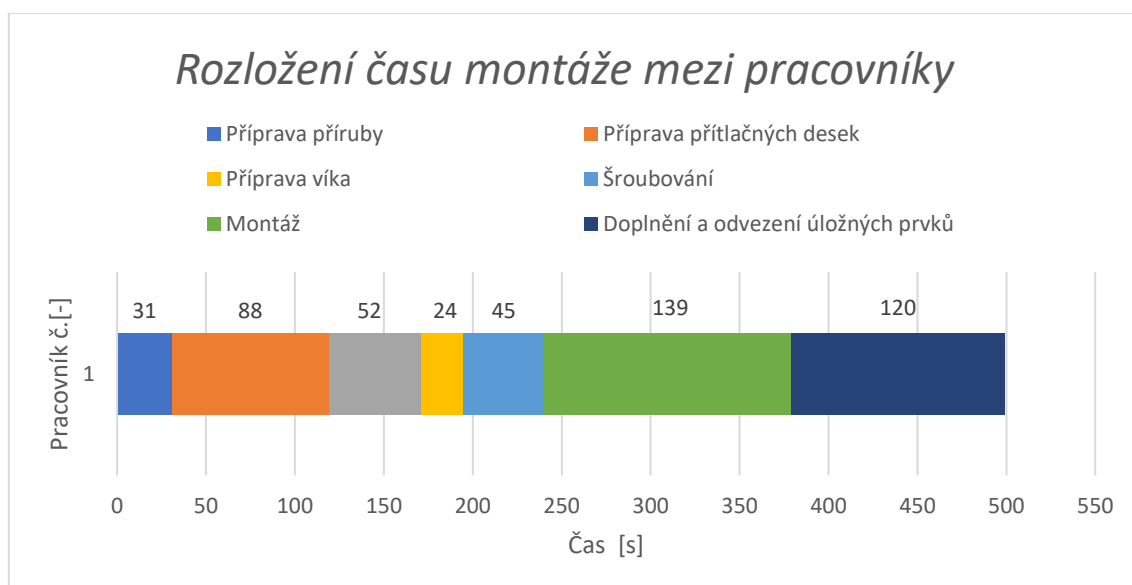
4.1.1 Zhodnocení první varianty

Jednou z nevýhod je vzdálená pozice skladového přípravku pro kola (13 a 16) a nutnost jeho doplňování. Stejný problém způsobuje i vzdálená pozice vozíků s díly (1,2 a 19). Tyto problémy způsobují prostoje při montáži.

Naopak velkou výhodou je využití spádových drah, které výrazným kladným způsobem ovlivňují ergonomii práce.

Velkým rozdílem oproti původní variantě je počet kusů vyrobených za směnu. Budeme-li počítat, že z 8 hodinové směny je odečtená půl hodinová pauza na přestávky a ztrátový čas o velikosti 40 minut, tak pracovníkovi zbývá 410 minut čistého času montáže pro práci. Pracovník je schopný každých 8,3 minuty zhotovit jedno čerpadlo. Do tohoto taktu montáže je rozpočítán i čas pro doplnění a odvezení úložných prvků, který si provádí pracovník sám a probíhá každých 25 kusů. Problém nastává při montáži prvního kusu, u kterého je čas montáže téměř dvojnásobný. Tudíž zbývající čas montáže je po odečtení této dvojnásobné hodnoty roven 393,4 minuty. Vydělením této hodnoty taktem montáže vzniká celkový počet zhotovených kusů za směnu, který je roven $47 \text{ ks} + 1$ zhotovený kus.

Rozložení času pracovníka je znázorněn v Obr. 26.



Obr. 26: Diagram rozložení času montáže pracovníka dle operací pro první variantu

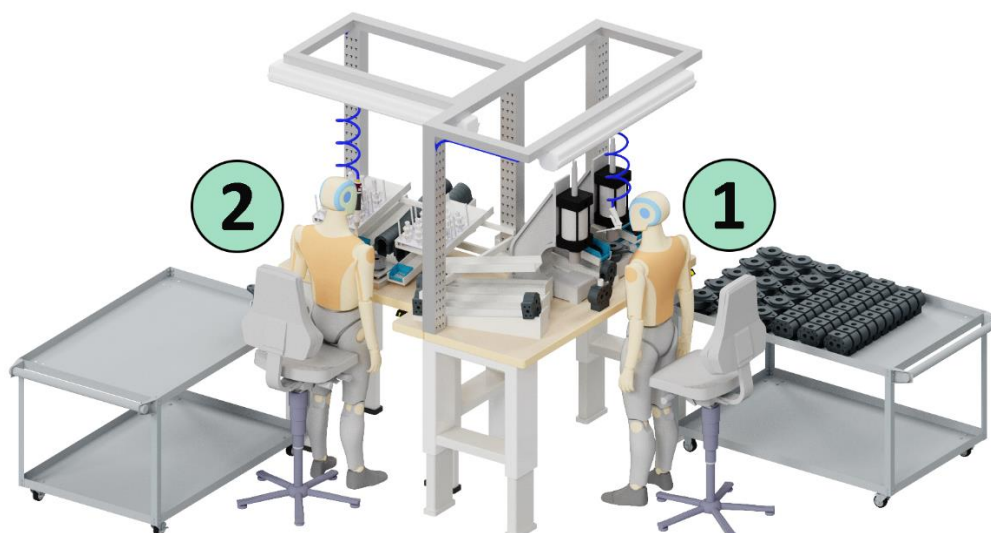
Důležité kritérium pro zhodnocení je také pořizovací cena pracoviště, která je zobrazena v Tab. 6. Výškově nastavitelný bytelný stůl, který je schopen unést dva poloautomatické lis se pohybuje v rozmezí od 75 000 Kč až po 150 000 Kč. Výškově nastavitelná židle vhodná pro práci ve stoje se pohybuje v rozmezí od 10 000 Kč do 20 000 Kč. Pneumatický lis se pohybuje od 70 000 Kč až do 140 000 Kč. Pneumatický šroubovák s velkou životností, možností nastavení momentu a kalibrací má cenu od 40 000 Kč až do 60 000 Kč. Výroba spádových drah pro díly (4-12) a (14) se bude pohybovat okolo 30 000 Kč. Pro přívoz a odvoz dílů (1), (2) a (19) je využito dvou policových vozíků. Jeden policový vozík stojí od 8 000 Kč do 11 000 Kč. Malé plastové krabičky lze pořídit za 120 Kč a velké plastové krabičky za 180 Kč. Ofukovací pistole má cenu okolo 200 Kč. Dále je zapotřebí připočíst položku ostatní ve které je zahrnuta kabeláž pro pracoviště, vedení stlačeného vzduchu atd.

Tab. 6: Náklady na pořízení první varianty

Položka	Cena [Kč]
Výškově nastavitelný stůl	120 000
2x Poloautomatický lis	160 000
Výškově nastavitelná židle	15 000
Pneumatický šroubovák	50 000
Spádové dráhy	30 000
2x Policový vozík	20 000
4x Malá krabička	480
4x Velká krabička	720
Ofukovací pistole	200
Ostatní	7 000
Cena celkem	403 400

4.2 Druhá varianta optimalizace

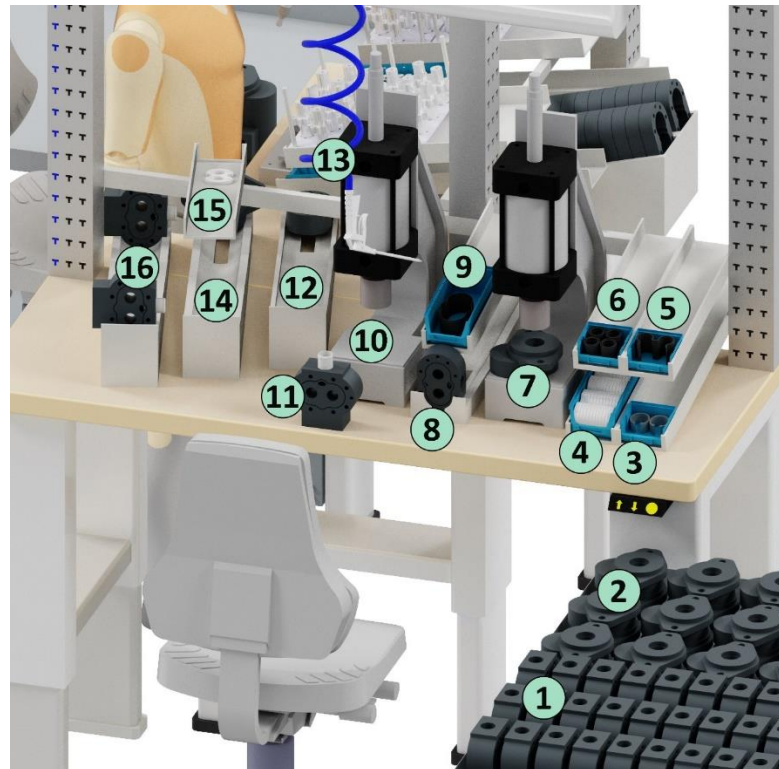
Druhou variantou optimalizace montáže bylo využití dvou pracovníků na dvě pracoviště. Tato varianta byla znázorněna na Obr. 27. Operace byly rozděleny na dvě pracoviště. Pracovník na prvním pracovišti díly pouze připravuje. Pracovník na druhém pracovišti čerpadlo kompletuje a stará se o doplňování spádových drah a odvoz a přívaz vozíků. Časy montáže a přípravy byly rozděleny mezi pracovníky rovnoměrně, tak aby pracovník z pracoviště dva zvládal doplňovat i kompletovat čerpadla. Obě pracoviště jsou umístěna na výškově nastavitelném stole se spádovými drahami, které jsou předsunuty co nejdříve k pracovníkům.



Obr. 27: Druhá varianta optimalizace montáže s využitím dvou pracovníků

Montážní postup pro pracovníka je zobrazen i s časy montáže v Tab. 7 a je následující. K popisu montážního postupu na pracovišti prvním byl využit Obr. 28, ve kterém je znázorněno číslování skladových prvků, využívaného pracovního náčiní a ploch sloužících k montáži. Budeme-li brát v potaz, že pracovníci již přijdou na směnu a budou mít od minulé směny již doplněné spádové dráhy a vozíky, tak pracovník začne s očištěním příruby (2) z obou stran, aplikováním gufera (6), pojistným kroužkem (3) a těsněním (9) na přírubu. Takto připravenou přírubu vloží do spádové dráhy (14). Následuje vsazení těsnění a příločky (5) do přítlačné desky (4) a její vložení do spádové dráhy (15). Operace s přítlačnou deskou je takto opakována čtyřikrát. Dalším krokem je nalisování nátrubku

(4) na mezitěleso (1), jeho očištění stlačeným vzduchem pistolí (13) a aplikování těsnění (9). Též je poté takto hotové mezitěleso vloženo do spádové dráhy (16). Posledním přípravným krokem je očištění víka (8) stlačeným vzduchem (13), aplikování těsnění (9) a vložení do spádové dráhy (12).



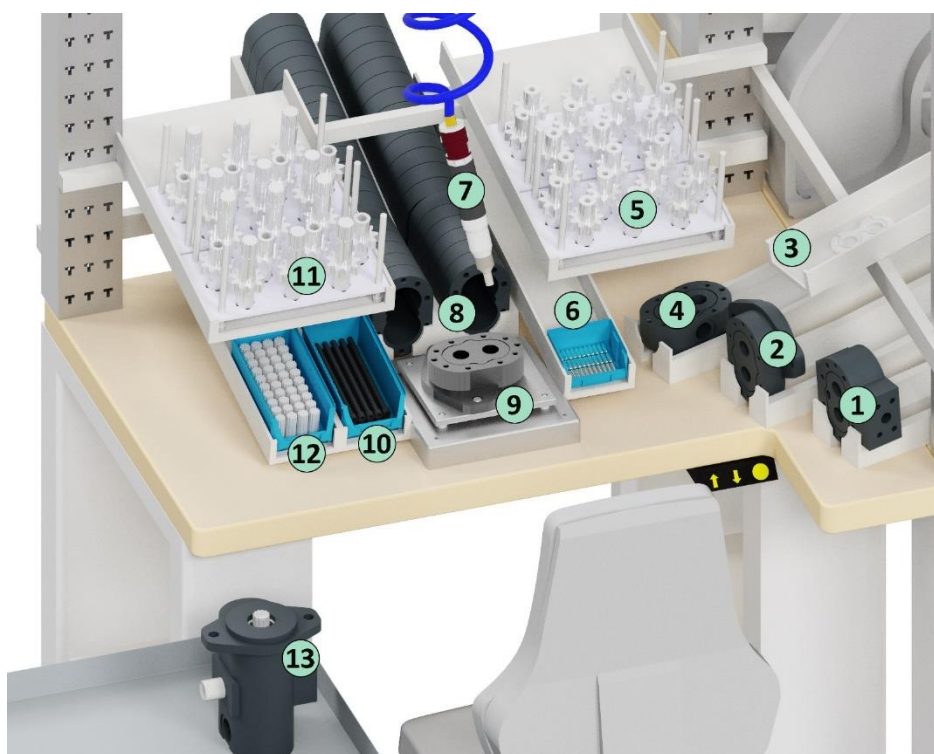
Obr. 28: První pracoviště druhé varianty optimalizace montáže

Stejně jako tomu bylo u varianty první, tak bylo snahou o výrobu alespoň 25 ks v jedné dávce. Tudiž kroky montážní postup prvního pracoviště je opakovány 25x dle velikosti předepsané jednou výrobní dávkou. Dávka odpovídá maximální kapacitě vozíků.

Tab. 7: Montážní postup prvního pracoviště druhé varianty

Číslo operace/ úkonu	Popis činnosti	Časy operací/ úkonů [s]
1	Očištění příruby	8
2	Nalisování gufera do příruby	14
3	Vložení pojistného kroužku	11
4	Osazení příruby těsnícím kroužkem	10
5	Osazení 4 přítlačných desek příložkou	43
6	Osazení 4 přítlačných desek příložkou	43
7	Vizuální kontrola mezitělesa	5
8	Do mezitělesa nalisovat nátrubek	18
9	Očištění mezitělesa z jedné strany	7
10	Očištění mezitělesa z druhé strany	7
11	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	9
12	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	11
13	Vizuální kontrola víka	6
14	Očištění víka	10
15	Osazení víka těsnícím kroužkem	13
Celkem		3,58 minuty

Detailní náhled druhého pracoviště je zobrazen na Obr. 29. Montážní postup druhého pracoviště je zobrazen i s časy montáže v Tab. 8. a montáž probíhá následovně.



Obr. 29: Druhé pracoviště druhé varianty optimalizace montáže

Prvky (1,2,3,4) v podavačích jsou již osazeny potřebnými komponenty a očištěny. Tyto úkony provedl pracovník na prvním pracovišti. Z podavače (2) si pracovník vezme přírubu a umístí jí do montážního přípravku (9). Na přírubu v montážním přípravku je následně nasazena přítlačná deska (3) a jsou umístěny dva středící kolíky (6). Z přípravků pro skladování kol je odebráno jedno hnací kolo (11) a opatrně vloženo na přítlačnou desku. Stejným způsobem je provedeno i vložení hnaného kola (5). Při vkládání tělesa (8) na přírubu probíhá zároveň vizuální kontrola. Jeho polohu zaručí středící kolíky. Dále jsou kola namazána olejem. V dalším kroku je usazena přítlačná deska (3) na kola. Do hnacího kola se vloží spojka (12), poté následuje osazení tělesa dvěma středícími kolíky (6) a nasazení mezitělesa (1) na těleso.

Tab. 8: Montážní postup druhého pracoviště druhé varianty

Číslo operace/ úkonu	Popis činnosti	Časy operací/ úkonů [s]
1	Uložení příruby do montážního přípravku	4
2	Usazení přitlačné desky na přírubu	6
3	Osazení příruby 2 středícími kolíky	6
4	Vložení hnacího kola na přitlačnou desku	9
5	Vložení hnaného kola na přitlačnou desku	6
6	Nasazení spojky do hnacího kola	6
7	Vizuální kontrola tělesa	5
8	Nasazení tělesa na přírubu	4
9	Mazání rotačních součástí	6
10	Usazení přitlačné desky na kola	6
11	Osazení tělesa 2 středícími kolíky	6
12	Nasazení mezitělesa na těleso	6
13	Osazení mezitělesa 2 středícími kolíky	6
14	Usazení přitlačné desky na mezitěleso	4
15	Vložení hnacího kola na přitlačnou desku	6
16	Vložení hnaného kola na přitlačnou desku	6
17	Vizuální kontrola tělesa	5
18	Nasazení tělesa na mezitěleso	4
19	Mazání rotačních součástí	6
20	Usazení přitlačné desky na kola	4
21	Nasazení víka na těleso	6
22	Vložení do čerpadla 8 šroubů	20
23	Utáhnutí šroubů rázovým utahovákem	25
Celkem		2,7 minuty

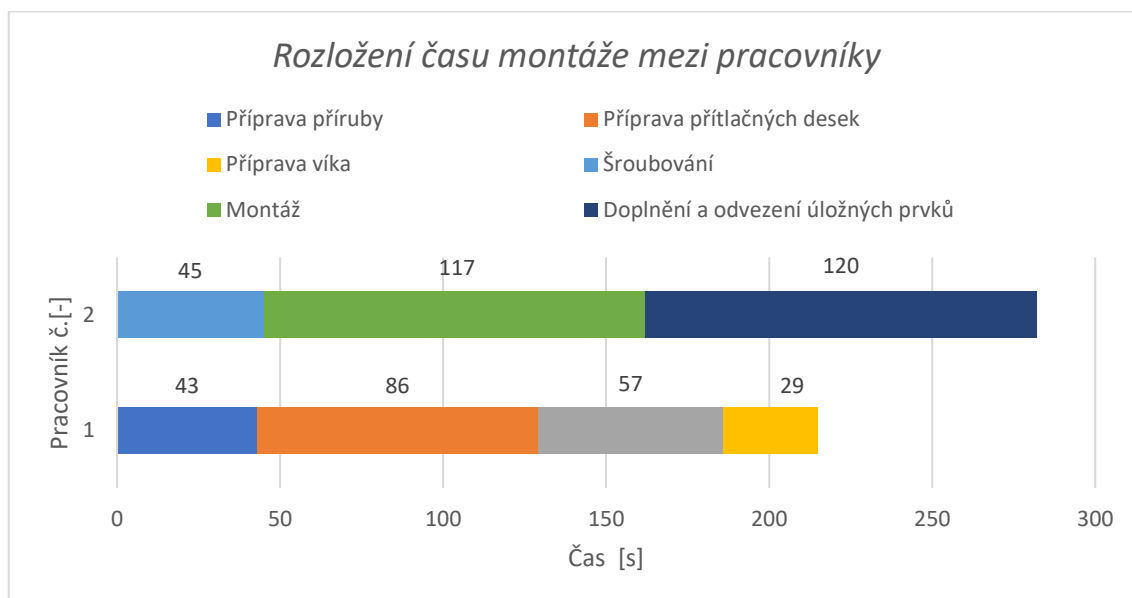
Dále se budou opakovat úkony s osazením mezitělesa středícími kolíky, přitlačnou deskou a vložení hnaného a hnacího kola z přípravku (5). Na mezitěleso je následně vloženo těleso, které je opět vizuálně zkontrolováno a opět osazeno středícími kolíky. Po tomto úkonu je na kola vložena přitlačná deska. Předposledním krokem je uzavření

čerpadla víkem (4). Do děr ve víku se vloží osm šroubů (10) a utáhnou se pneumatickým šroubovákem (7). Takto hotové čerpadlo se vloží na vozík (13). Následně má pracovník vyhrazený čas na doplnění spádových drah a vozíků pro pracoviště první i druhé.

4.2.1 Zhodnocení druhé varianty

V druhé variantě došlo hlavně k rozdělení práce mezi dva pracovníky, což mělo za příčinu rapidní zkrácení taktu montáže jednoho čerpadla. Zároveň došlo k redukcí předmětů na pracovní desce pracoviště, což umožnilo přiblížit spádové dráhy blíže k pracovníkovi. Veškeré spádové dráhy až na dráhu (8) na druhém pracovišti jsou dimenzovány pro uskladnění dílů pro 50 čerpadel. Pro plynulost montáže, je zapotřebí každých 25 zhotovených čerpadel odvést a přivést díly (1), (2) a (8) pro první pracoviště a díly (5), (8) a (11) pro pracoviště druhé. Doplnění zbylých dílů probíhá pouze jednou za směnu.

Pro kalkulaci počtu vyrobených kusů za směnu, se vycházelo tak jako ve zhodnocení první varianty, že směna má 8 hodin a po odečtení 30 minutové přestávky a 40 minut ztrátového času zbývá 390 minut čistého času pro práci. Rozdělení práce na kompletaci jednoho čerpadla proběhlo rovnoměrným způsobem, jak je i zobrazeno na Obr. 30.



Obr. 30: Diagram rozložení času montáže mezi pracovníky dle operací pro druhou variantu

Takt druhé varianty byl určen jako nejdelší čas práce na jednom čerpadle jedním pracovníkem, který vykonával pracovník druhý. Tento čas byl 282 vteřin. Při odečtení dvojnásobné hodnoty z čistého času práce zbývá 400,6 minuty. Z toho plyne, že za směnu je smontováno celkem 86 čerpadel.

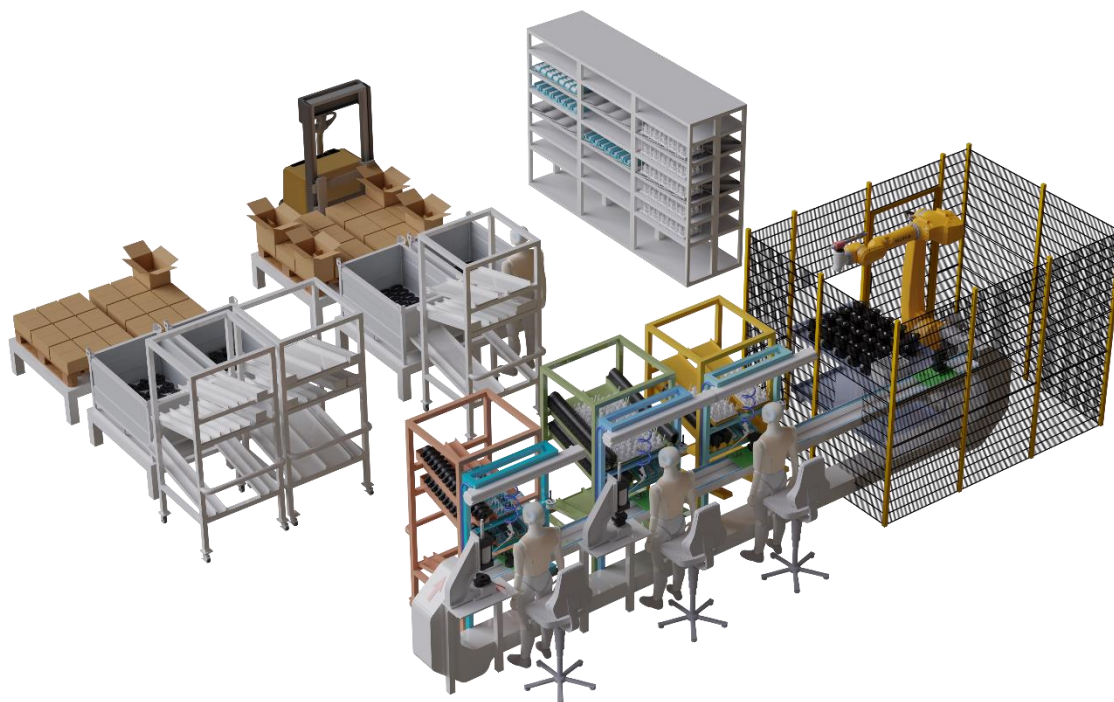
V cenovém zhodnocení v Tab. 9 je oproti první variantě stůl výrazně dražší, a to je způsobeno zejména tím, že je tvořen do tvaru L. Židle je započítána 2x a položka ostatní byla i počtem pracovišť též zdvojnásobena. Zhodnocení se liší i počtem spádových drah.

Tab. 9: Náklady na pořízení druhé varianty

Položka	Cena [Kč]
Výškově nastavitelný stůl	250 000
2x Poloautomatický lis	160 000
2x Výškově nastavitelná židle	30 000
Pneumatický šroubovák	50 000
16x Spádové dráhy	45 000
2x Policový vozík	20 000
4x Malá krabička	480
4x Velká krabička	720
Ofukovací pistole	200
Ostatní	15 000
Cena celkem	571 400

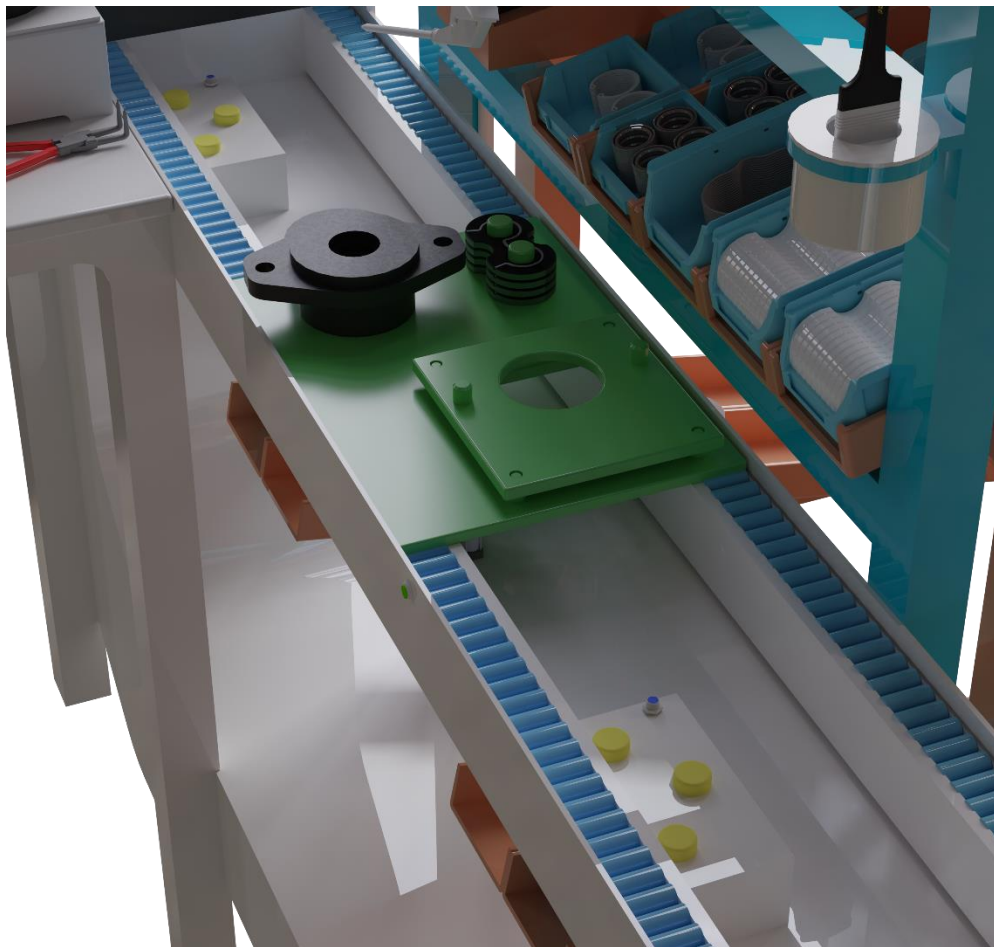
4.3 Třetí varianta optimalizace

Třetí varianta optimalizace je zobrazena na Obr. 31 a využívá metodu One piece flow. Byla navržena pohyblivá linková nestacionární montáž, ve které jsou pracoviště propojeny nepohyblivým pásem, po kterém jezdí skid. Skid je zobrazen na Obr. 32.



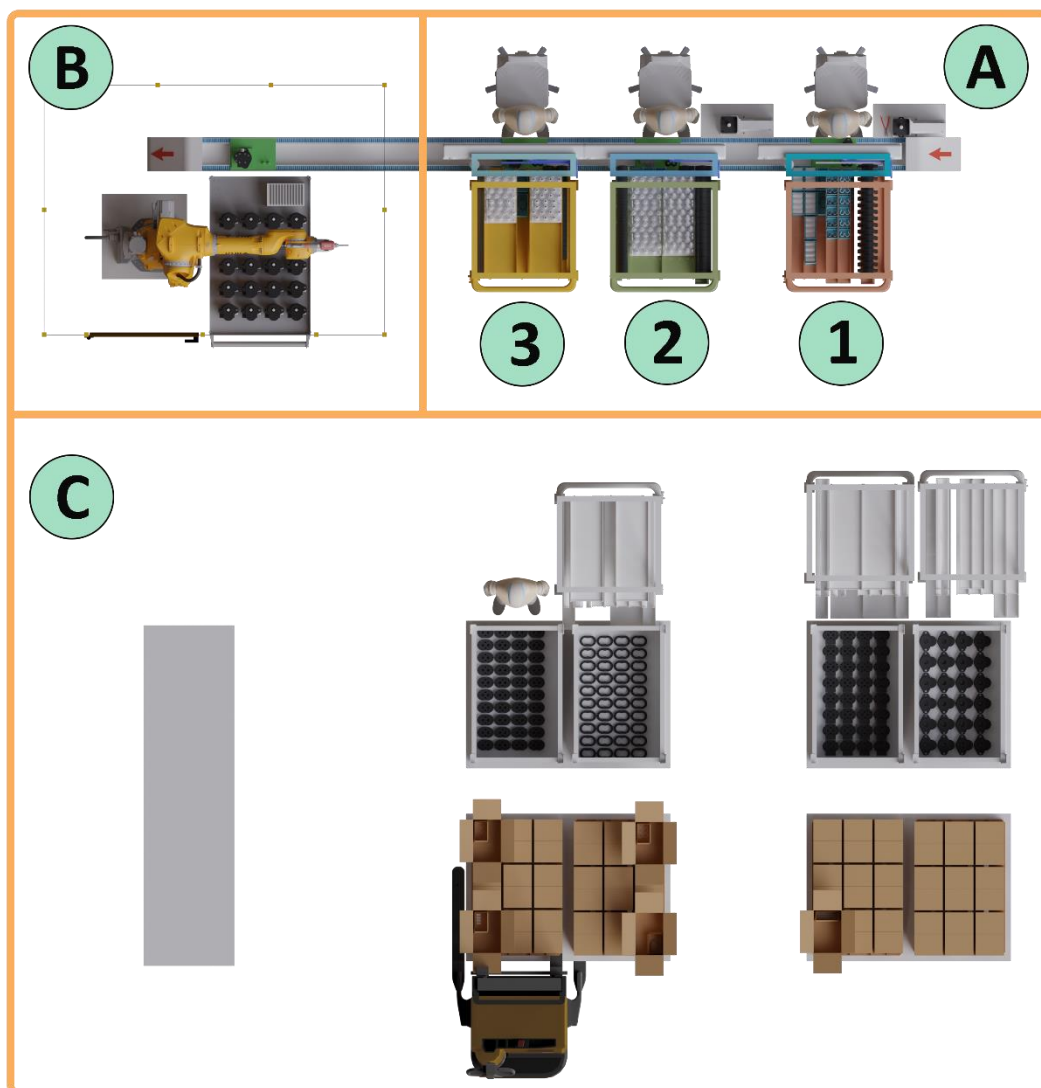
Obr. 31: Třetí varianta optimalizace montáže s využitím metody OPF

Pracoviště jsou orientována čelem k pásu, což výrazně snižuje pracovní plochu, ale na druhou stranu pracovník nevykonává otáčivé pohyby. Pracovní plocha je součástí skidu, což umožňuje bližší postavení ke spádovým drahám, a tudíž i ke krabičkám s komponenty. Pracovní poloha, ve které je montáž vykonávána je stoj. Z tohoto důvodu bylo pracoviště tak jako v ostatních variantách vybaveno výškově nastavitelnou židlí, aby bylo umožněno opoře těla. Pro řešení variantou OPF bylo zapotřebí provést i reorganizaci skladových prostor z důvodu správného dimenzování pojízdných vozíků se spádovými drahami zaručující nepřerušovaný přísun komponentů k montáži.



Obr. 32: Detail skidu na rolnách

Tuto variantu lze rozdělit do pomyslných 3 částí zobrazených na Obr. 33 a to skladovou oblast (C), oblast ruční montáže (A) a oblast automatizované montáže (B).



Obr. 33: Rozdělení oblastí a pracovišť třetí varianty

Oblast A ruční montáže obsahuje tři montážní pracoviště a každé pracoviště je přiřazeno jednomu pracovníkovi. U jednotlivých pracovišť došlo i k úpravě montážního postupu. Na nepohyblivém pásu je mezi pracovišti za pomoci rolen posouván skid obsahující montážní přípravek, na kterém jsou následně prováděny další montážní operace. Při dojetí na pracoviště dojde k zajištění pozice pomocí pístu. Následné uvolnění skidu je prováděno stisknutím zeleného tlačítka na páse. Každé pracoviště má za pevným rámem pojízdný regál, který se skládá ze spádových drah. Na spádové dráhy jsou následně ukládány skladníkem komponenty nebo krabičky s komponenty. Při spotřebování dílů ze

spádových drah je pracovník skladu upozorněn a dojde k vyměnění celého pojízdného regálu za plný.

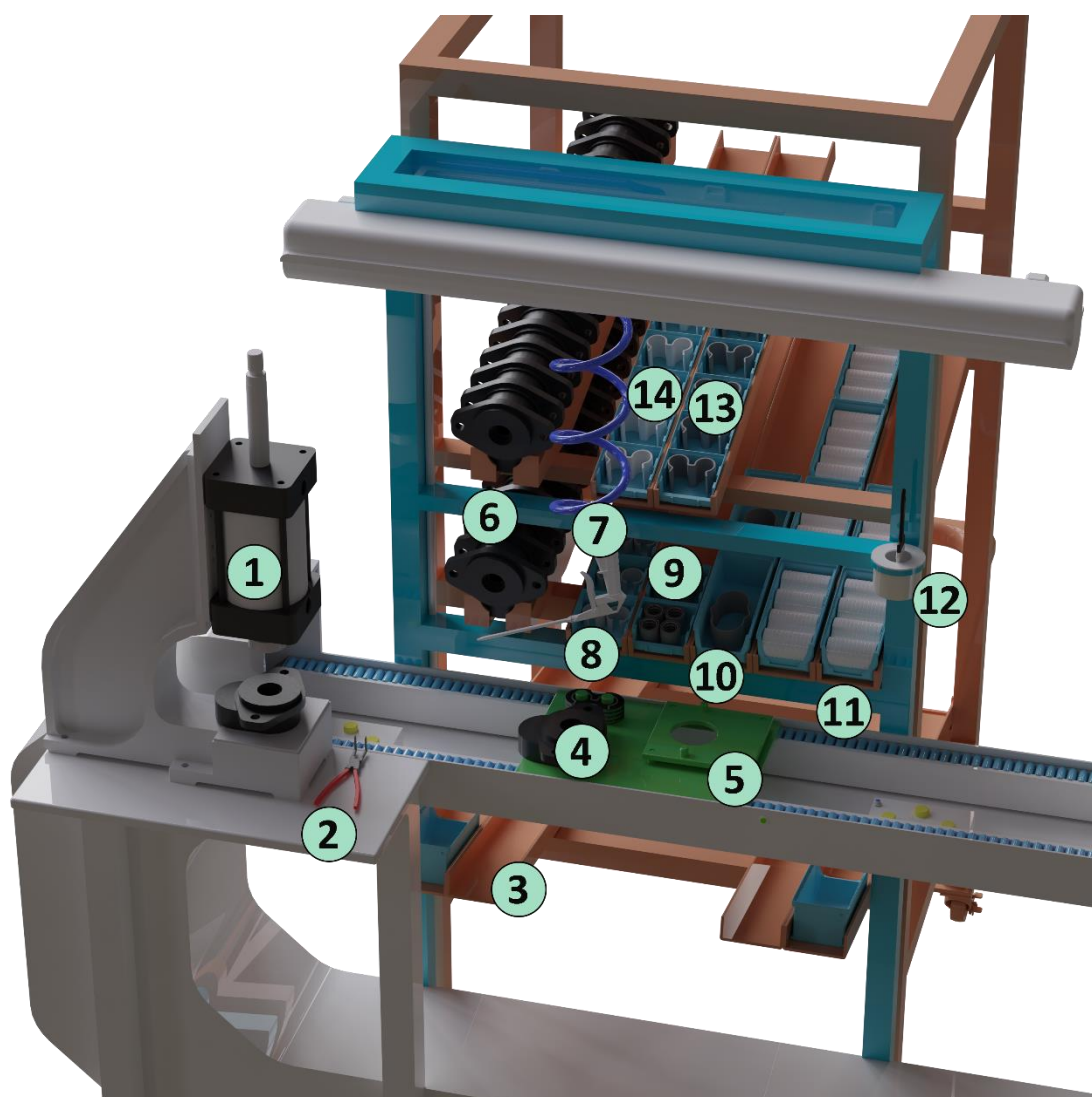
Pracoviště první je zobrazeno na Obr. 34. Z levé strany přijede po rolnách prázdný skid obsahující pouze montážní přípravek pro uložení příruby. Pracovník uchopí přírubu (6), očistí jí pomocí pistole se stlačeným vzduchem (7) a vloží do lisu (1). Na trn lisu se následně nasadí gufero (9) a lis spustí. Po zalisování gufera dojde k jeho zajištění pojistným kroužkem (8) za pomoci kleští Seger (2). Po té přírubu vloží na montážní přípravek na skidu a osadí ji těsnícím kroužkem (10).

Následně vyjme z krabičky přítlačnou desku (11), kterou osadí těsněním (13) a příložkou (14). Takto osadí čtyři přítlačné desky, které postupně vkládá na trny (4) na montážním přípravku pro pozdější použití a posouvá skid na další pracoviště. Prázdné krabičky jsou vkládány na spádový dopravník (3).

Montážní postup včetně časů jednotlivých operací je vypsán v následující Tab. 10.

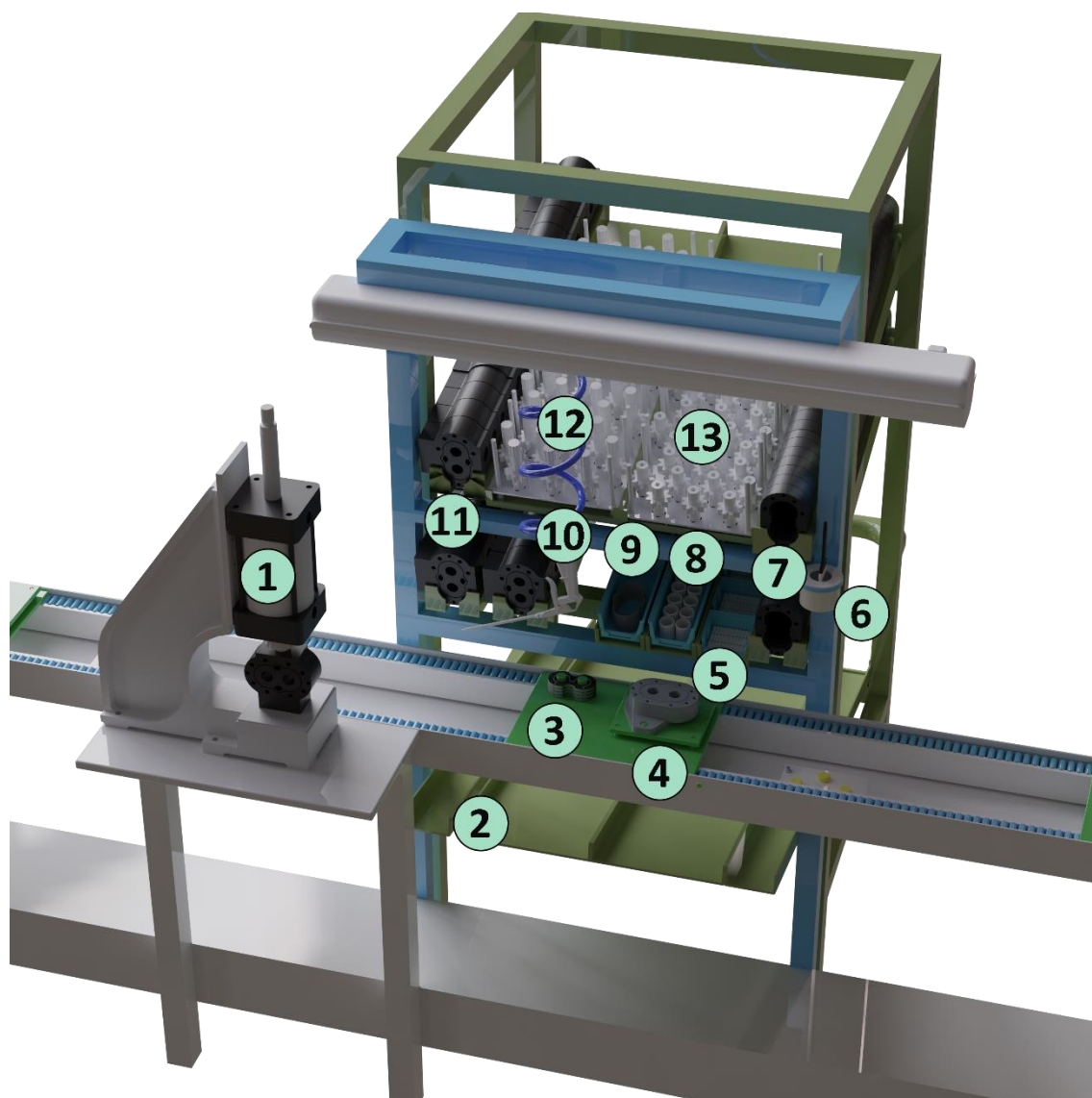
Tab. 10: Časy operací prvního pracoviště třetí varianty optimalizace

Číslo operace	Popis činnosti	Časy operací [s]
1	Očištění příruby	5
2	Nalisování gufera do příruby	14
3	Vložení pojistného kroužku	10
4	Uložení příruby do montážního přípravku	2
5	Osazení příruby těsnícím kroužkem	8
6	Osazení 4 přítlačných desek těsněním	40
7	Osazení 4 přítlačných desek těsněním	40
Celkem		1,98 minuty



Obr. 34: První pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace

Pracoviště druhé je zobrazeno na Obr. 35. Do pracoviště vstupuje skid z levé strany a zastaví se uprostřed pracoviště. Pracovník uchopí jednu z přitlačných desek (3) umístěných na skidu a usadí ji na přírubu v montážním přípravku (4). Poté osadí přírubu dvěma středícími kolíky (5). Z přípravků pro skladování kol je odebráno jedno hnací kolo (12) a následně opatrně vloženo na přitlačnou desku v montážním přípravku. Stejným způsobem je provedeno i vložení hnaného kola (13).



Obr. 35: Druhé pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace

Na kolíky v přírubě se vloží těleso (7). Při vkládání tělesa probíhá zároveň i jeho vizuální kontrola. V dalším kroku dojde k namazání vložených kol štětcem (6) a usazení přítlačné desky (3) na tyto kola. Následuje osazení tělesa dvěma středícími kolíky.

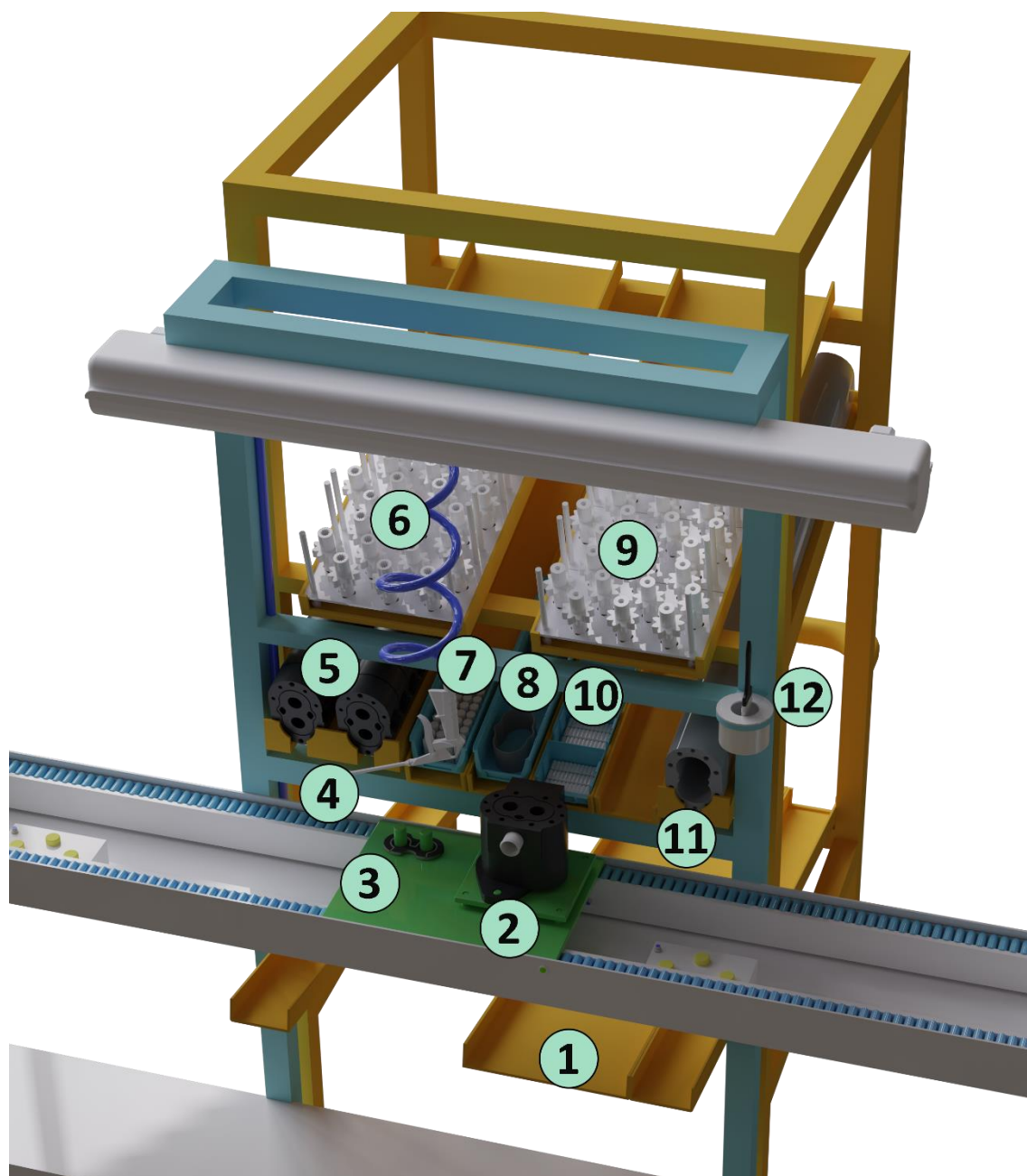
V dalším kroku je nátrubek (8) nalisován do mezitělesa (11), které je načež očištěno pistolí se stlačeným vzduchem (10) z obou stran. Po očištění je do drážek mezitělesa aplikováno též z obou stran těsnění (9). Nakonec dojde k vložení mezitělesa na těleso a takto je posouván skid na další třetí pracoviště. Prázdné krabičky jsou vkládány na spádový dopravník (2). Montážní postup včetně časů jednotlivých operací je vypsán v následující Tab. 11.

Tab. 11: Časy operací druhého pracoviště třetí varianty optimalizace

Číslo operace	Popis činnosti	Časy operací [s]
1	Usazení přítlačné desky na přírubu	6
2	Osazení příruby 2 středícími kolíky	6
4	Vložení hnacího kola na přítlačnou desku	9
6	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	7
7	Vizuální kontrola tělesa	5
8	Nasazení tělesa na přírubu	4
9	Mazání rotačních součástí	6
10	Usazení přítlačné desky na kola	6
11	Osazení tělesa 2 středícími kolíky	6
12	Vizuální kontrola mezitělesa	5
13	Do mezitělesa nalisovat nátrubek	16
14	Očištění mezitělesa z jedné strany	6
15	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	8
16	Očištění mezitělesa z druhé strany	6
17	Osazení mezitělesa těsnícím kroužkem	8
18	Nasazení mezitělesa na těleso	4
Celkem		1,8 minuty

Pracoviště třetí je zobrazeno na Obr. 36. Do pracoviště vstupuje skid z levé strany a zastaví se uprostřed pracoviště stejně jako tomu je u předchozích pracovišť. Do mezitělesa uloženého na montážním přípravku (2) na skidu se vloží dva středící kolíky (10) a na mezitěleso přítlačná deska (3). Na desku se vloží hnací kolo (6) osazené spojkou (7) a hnané kolo (9). Na mezitěleso je následně vloženo těleso (11), které je prvně vizuálně zkontrolováno a opět osazeno dvěma středícími kolíky (11). Po této operaci jsou kola namazána štětcem (12) a zajištěna přítlačnou deskou (3). Předposledním krokem je očištění víka (5) pistolí se stlačeným vzduchem (7) a aplikování těsnění (8). Takto

připraveným víkem je čerpadlo uzavřeno na posunuto na poslední montážní operace na robotickém pracovišti. Prázdné krabičky pracovník umísťuje do spádových drah (1).



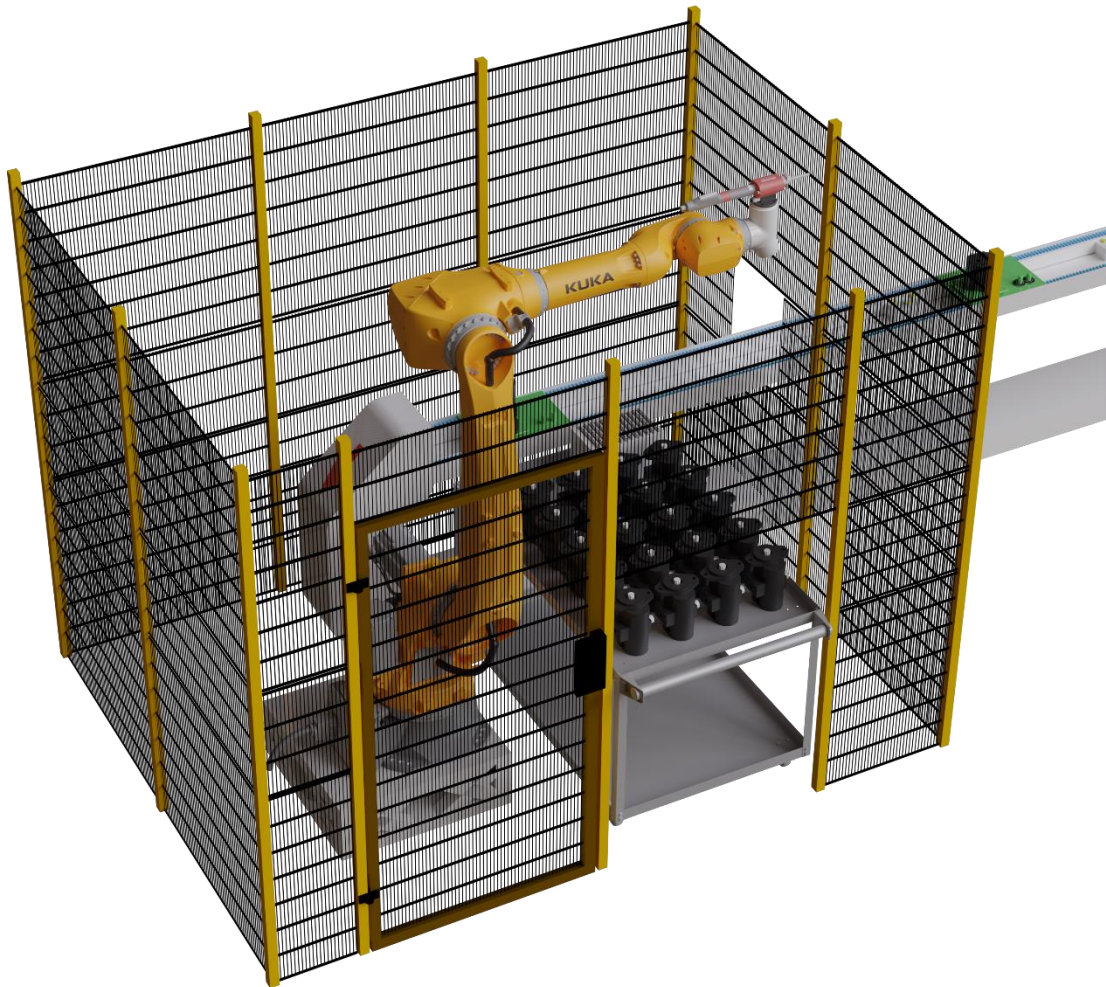
Obr. 36: Třetí pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace

Montážní postup včetně časů jednotlivých operací je vypsán v následující Tab. 12.

Tab. 12: Časy operací třetího pracoviště třetí varianty optimalizace

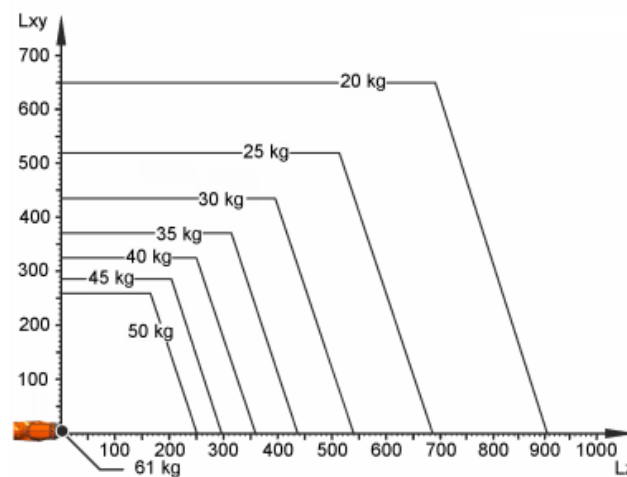
Číslo operace	Popis činnosti	Časy operací [s]
3	Nasazení spojky do hnacího kola	6
4	Osazení mezitělesa 2 středícími kolíky	6
5	Usazení přítlačné desky na mezitěleso	6
6	Vložení hnacího kola na přítlačnou desku	9
7	Vložení hnaného kola na přítlačnou desku	7
8	Vizuální kontrola tělesa	5
9	Nasazení tělesa na mezitěleso	4
10	Osazení tělesa 2 středícími kolíky	6
11	Mazání rotačních součástí	6
12	Usazení přítlačné desky na kola	6
13	Vizuální kontrola víka	5
14	Očištění víka	8
15	Osazení víka těsnícím kroužkem	10
16	Nasazení víka na těleso	4
Celkem		1,47 minuty

Oblast B je vyhrazena pro robotické pracoviště, které je zobrazeno na Obr. 37. Pracoviště je umístěno na konci dopravníku a je ohraničeno z bezpečnostních důvodů klecí. Skrz klec je po dopravníku na skidu dopravováno čerpadlo až k robotu. Pevná poloha skidu je opět zajištěna zespodu pístem. Robot bude vykonávat dvě operace, a to montáž a přesun již hotového čerpadla ze skidu na vozík. Na vozíku jsou umístěny šrouby, které robot využívá pro montáž čerpadla a zároveň také vozík slouží jako úložný prostor pro hotová čerpadla. Vozík je při naplnění čerpadly vyměněn za druhý prázdný vozík s doplněným zásobníkem šroubů bez potřeby vstoupit do prostoru robota. O tuto výměnu se stará pracovník skladové oblasti C.



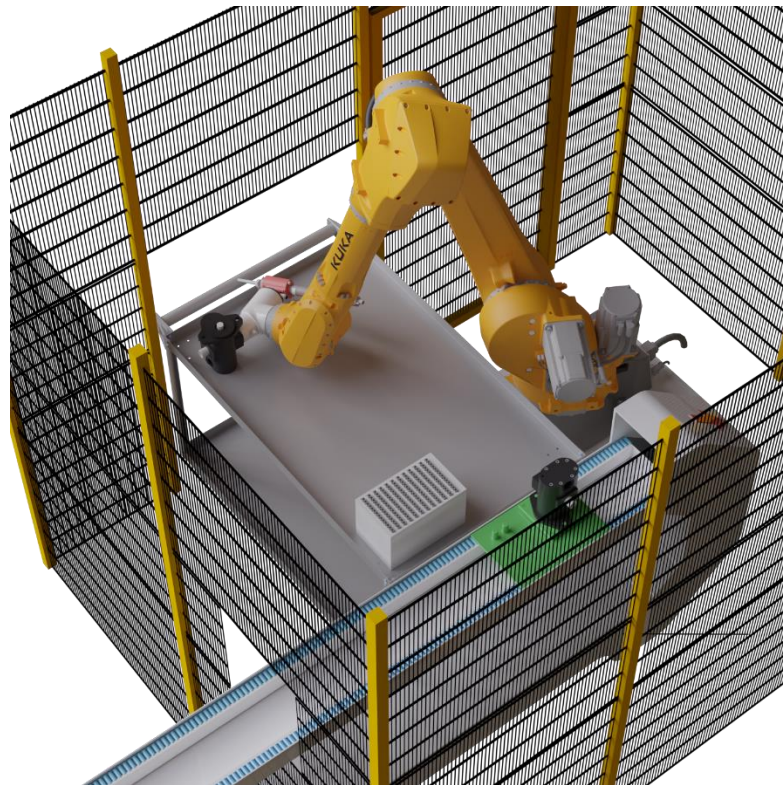
Obr. 37: Oblast automatizované montáže třetí varianty optimalizace

Pro výše zmíněné operace byl dle kapitoly 2.3 vybrán průmyslový kloubový robot s 6-ti osy. Pro správnou volbu výrobce a jeho následného produktu bylo zapotřebí vzít v potaz dosah robota a také jeho maximální nosnost, jelikož čerpadlo váží kolem 20 kg a je umísťováno občas na vzdálené pozice na pojízdném vozíku. K hmotnosti čerpadla je nutné započítat i hmotnost efektoru, která je do 10 kg. Z tohoto důvodu byl pouze pro účely této práce vybrán robot KR 70 R2100 od firmy KUKA. Robot je dimenzován na zatížení 70 Kg a dosah 2 100 mm. Na Obr. 38 je zobrazeno snížení maximálního zatížení při natažení robota od jeho neutrální podoby která je znázorněna na Obr. 37.



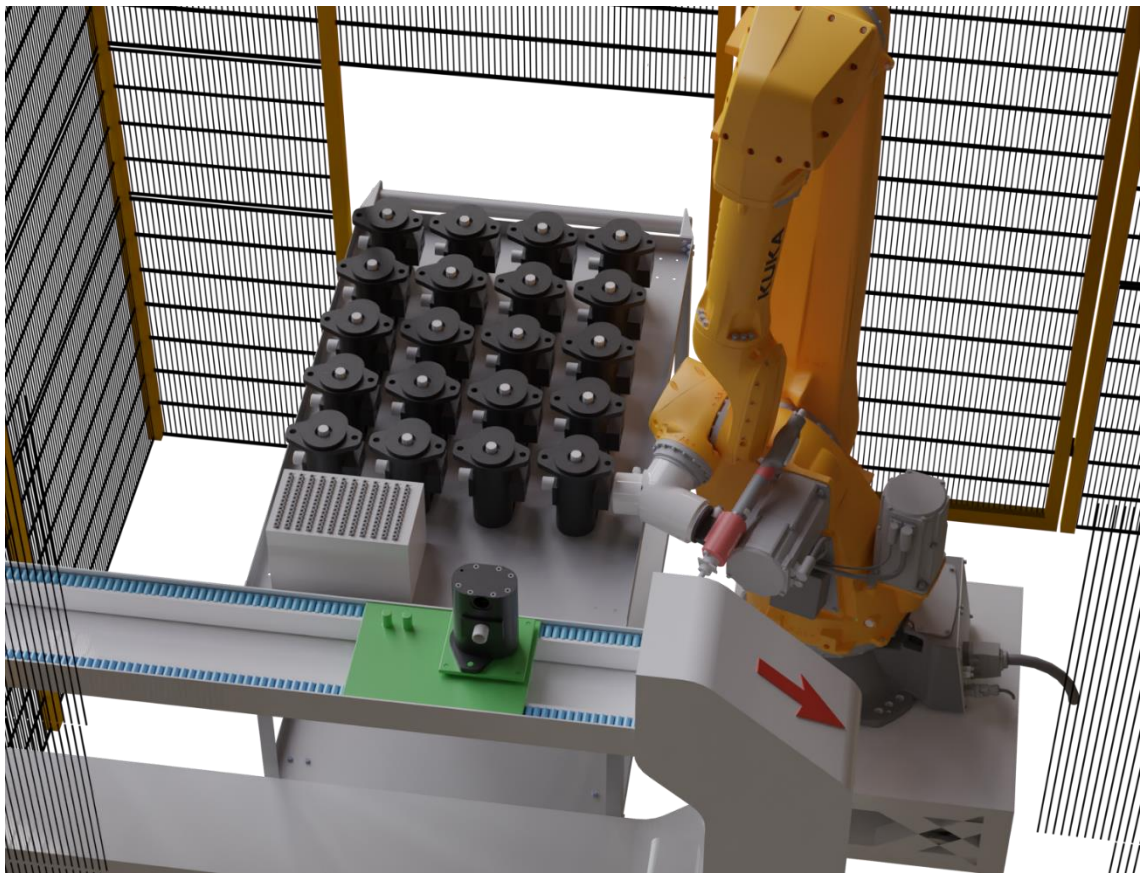
Obr. 38: Maximální zatížení vzhledem k natažení ruky robota. Jednotky na osách jsou v mm [36]

Z důvodu ověření dosahu, nosnosti a dostatečného manipulačního prostoru, je nutné ověřit všechny možné kritické pozice. První kritická pozice, která by mohla nastat je zobrazena na Obr. 39 a je využita pro umístění hotového čerpadla v nejvzdálenějším pravém (směrem od robota) rohu vozíku. Vzdálenost, kterou musí efektor robota navíc urazit je rovna 10 mm.



Obr. 39: První kritická pozice robotizovaného pracoviště

Druhá kritická pozice by mohla nastat při vkládání čerpadla na nejbližší levý (směrem od robota) roh vozíku. Tato pozice je zobrazena na Obr. 40. Vzdálenost, kterou musí efektor robota navíc urazit je rovna -755 mm. Tato záporná hodnota vyjadřuje, že se ruka robota od neutrální polohy naopak přibližuje k základně robota a maximální nosnost definitivně nebude překročena.



Obr. 40: Druhá kritická pozice robotizovaného pracoviště

Třetí a poslední možná kritická pozice je zobrazena na Obr. 41 a mohla by nastat při vkládání šroubu do čerpadla a následném šroubování. Vzdálenost, kterou musí efektor robota navíc urazit od neutrální polohy je rovna -200 mm. Všechny tyto tři varianty, jak bylo možné se přesvědčit kritické nejsou a dosah i nosnost robota je dostačující.



Obr. 41: Třetí kritická pozice robotizovaného pracoviště

Pro operaci montáže byl na efektor umístěn pneumatický šroubovák. Robot nasadí šroubovák na šroub umístěný v přípravku. Šroub je magnetem ve šroubováku fixován. Takto upevněný šroub je vložen do čerpadla na skidu a utáhnut na definovaný moment. Tuto akci robot opakuje osmkrát. Hotové čerpadlo je přenášeno pomocí magnetického uchopovadla umístěného na druhé straně efektoru. Čerpadlo je uchyceno za svislou stranu, otočeno o 180° a umístěno víkem na vozík. Montážní postup včetně časů jednotlivých operací je vypsán v následující Tab. 11.

Tab. 13: Časy operací robotizovaného pracoviště třetí varianty optimalizace

Číslo operace	Popis činnosti	Časy operací [s]
1	Montáž 8 šroubů	8x 12
2	Přesunutí čerpadla na vozík	17
Celkem		1,88 minuty

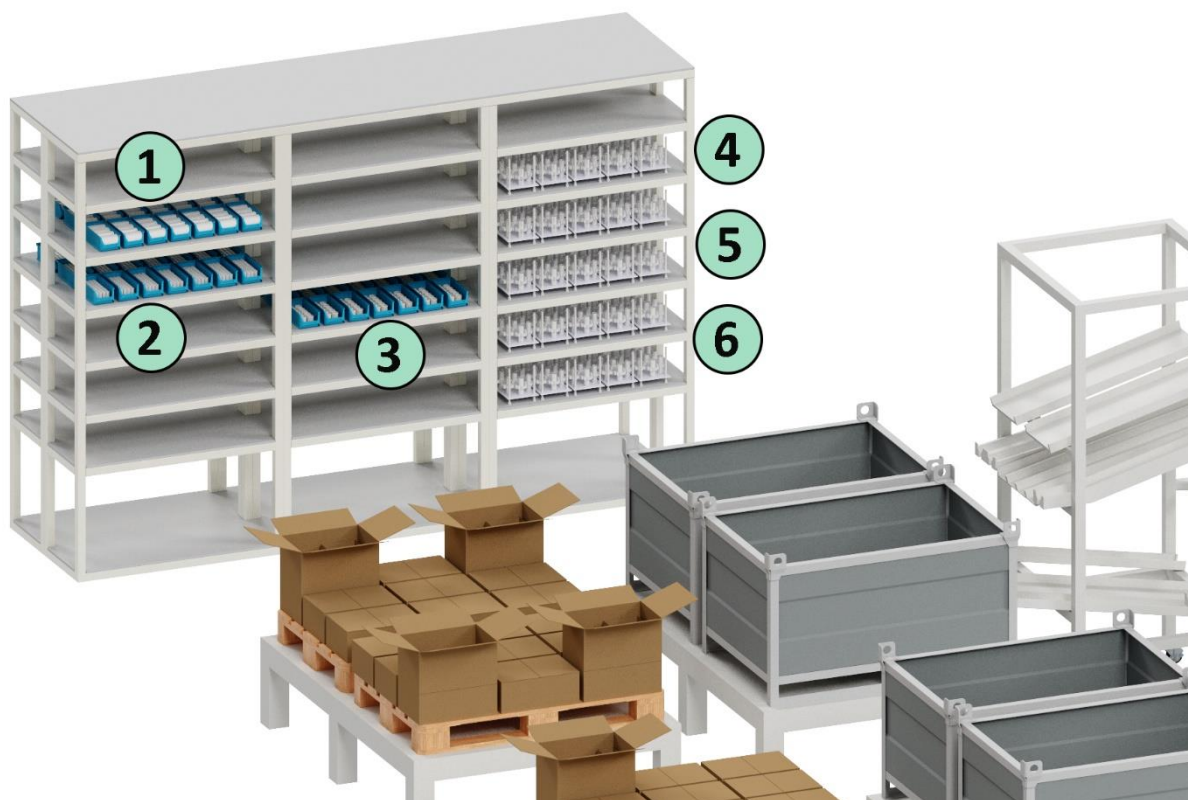
Oblast C je zobrazena na Obr. 42 a je vyhrazena pro skladový prostor. Tento prostor využívá jeden pracovník k naplnění krabiček a následně pojízdného regálu. Velké díly jsou skládány rovnou do pojízdného regálu.



Obr. 42: Skladová oblast třetí varianty optimalizace

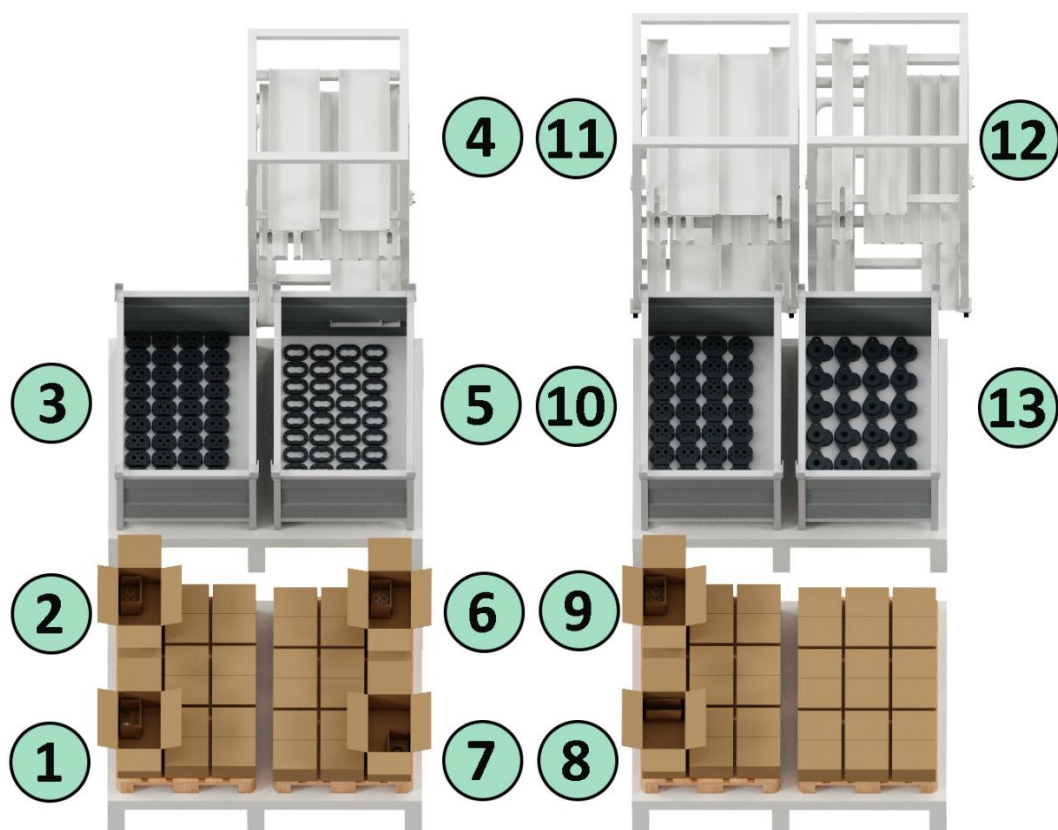
Každý regál má omezené kapacity a pro první pracoviště je regál omezen kapacitou přírub na 32 kusů. To znamená, že pracoviště zvládne bez výměny pojízdného regálu aplikovat svůj pracovní postup na 32 kusů čerpadel. Regál pro pracoviště druhé je omezeno počtem nátrubků na 40 kusů, a tudíž vystačí komponenty na montáž 40 kusů čerpadel. Pracoviště třetí využívá regál s omezujícím počtem kusů kol a to 30 kusů vystačujících na montáž 30 kusů čerpadel. Poslední robotizované pracoviště, které tento pracovník obsluhuje je robotizované pracoviště. Toto pracoviště je omezeno maximální

úložnou kapacitou 20 kusů smontovaných čerpadel. Vozík je poté při naplnění čerpadly vyměněn za druhý prázdný vozík s doplněným zásobníkem šroubů. Plný vozík je odvezen na hydraulický stand pro testování funkčnosti čerpadel.



Obr. 43: Pohled na regál s komponenty vlastní výroby

Mezi komponenty, které jsou vyráběny v továrně se řadí přítlačné desky (1), spojky (2), nátrubky (3) a hnací kola 1 (4), hnací kola 2 (5), hnací kola (6). Kola jsou ukládána po výrobě do přípravků, ve kterých jsou dále přepravovány a uloženy v tomto regálu. Zbylé vyráběné komponenty jsou ukládány do krabiček a přepraveny též do regálu. Do regálu jsou ukládány i prázdné krabičky.



Obr. 44: Pohled na palety s kupovanými komponenty, MARS bedny a pojízdné regály

Na Obr. 44 jsou zobrazeny vyvýšené úložné prostory pro palety a MARS bedny. Vyvýšení umožňuje ergonomičtější vyskládávání dílů na pojízdné regály. V krabicích jsou zasílány a dále i skladovány kupované komponenty. Mezi tyto komponenty se řadí kolíky (1), těsnění pro přítlačné desky, pojistné podložky (6), těsnění (7), šrouby (8) a příložky pro přítlačné desky (9). V MARS bednách jsou ukládány komponenty z vlastní výroby a jedná se o víka (3), tělesa (5), mezitělesa (10) a (příruby). Prostor (4, 11, 12) je určen pro skladování pojízdných regálů, které jsou již naplněny a čekají na výměnu za prázdné, nebo jsou prázdné a čekají na naplnění.

Délka času doplňování pojízdných regálů byla určována dle počtu vyskládaných velkých dílů (uložených v MARS bednách), krabiček (z vlastní výroby) a krabiček které je potřeba naplnit z krabic nakoupených komponentů. Výsledky těchto časů jsou zobrazeny následující Tab. 14.



Tab. 14: Délky časů doplnění jednoho pojízdného regálu daných variant

	1. pracoviště [s]	2. pracoviště [s]	3. pracoviště [s]	Robot [s]
Velké díly	3,2	11,4	6,9	2
Krabičky – vlastní	1	2	1,17	
Krabičky – nakoupené	3,32	2,33	1,12	2,67
Pohyb	4,17	4,17	4,17	4,17
Celkem	11,68	19,9	13,25	8,83

V následující kapitole 4.3.1 je proveden výpočet smontovaných čerpadel za směnu. Ve třetí variantě optimalizace vyšel počet smontovaných kusů 204 za směnu. Při vydělení této hodnoty maximálním počtem smontovaných čerpadel bez výměny pojízdného regálu vzniká četnost výměn pojízdných regálů pro dané pracoviště během jedné směny. Výsledky byly zaokrouhleny na nejbližší vyšší hodnotu a jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 15.

Tab. 15: Četnost doplnění pojízdných regálů třetí varianty optimalizace

	1. pracoviště	2. pracoviště	3. pracoviště	Robot
Max. počet smontovaných čerpadel bez výměny pojízdného regálu	32	40	30	20
Četnost doplnění pojízdných regálů	7	6	7	11

Vynásobením četnosti doplnění pojízdných regálů s délkou doby doplňování pojízdných regálů z Tab. 14 vzniká celková doba strávená doplňováním pojízdných regálů za směnu pro dané pracoviště. Výsledky jsou uvedeny v následující Tab. 16.

Tab. 16: Celková doba doplňování pojízdných regálů pro jednotlivá pracoviště

	1. pracoviště	2. pracoviště	3. pracoviště	Robot
Celková doba doplňování pojízdných regálů [min]	81,78	119,4	92,75	97,17
Celková doba doplňování regálů za směnu [min]	391			

Po sečtení všech hodnot uvedených v Tab. 16 vychází čas 391 minut, který vyjadřuje kolik času pracovník stráví během své směny doplňováním a dopravou regálů k pracovištím a od pracovišť. Tento čas musí vyjít menší než 410 minut, jelikož vyjadřuje maximální poskytnutý čas pro práci za jednu směnu.

4.3.1 Zhodnocení třetí varianty

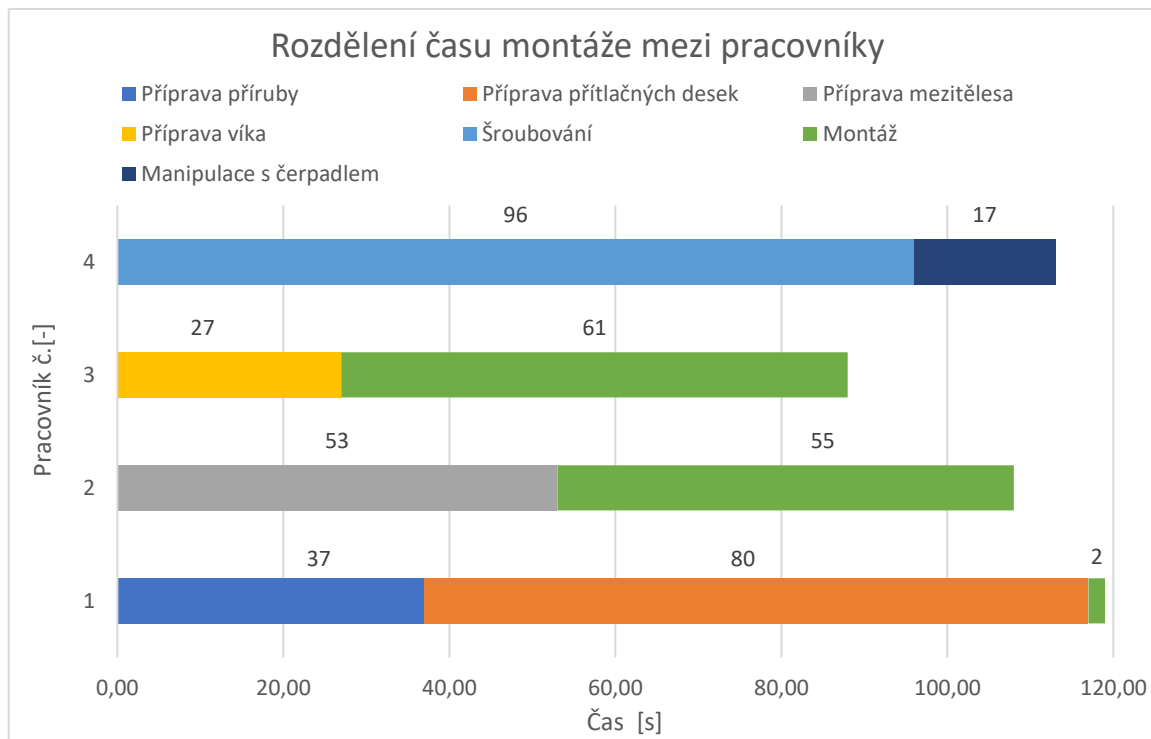
Ve třetí variantě byla aplikována metoda One piece flow. Původní montážní postup byl rozdělen mezi tři ruční montážní pracoviště a jedno robotizované montážní pracoviště. Většina pracovních ploch byla přesunuta na pojízdný skid, což umožnilo ještě více přiblížit spádové dráhy než u předešlých variant. S rozdělením montážního postupu došlo i k rozdělení komponentů potřebných k montáži mezi více pracovišť. Toto rozdělení umožnilo na pracoviště umístit více kusů od všech komponentů.

Na robotizovaném pracovišti je prováděno šroubování osmi šroubů na požadovaný moment a poté manipulace s čerpadlem na pojízdný vozík.

Dále došlo i k navržení skladových prostor, včetně délky doplňování jednotlivých pojízdných regálů a ověření, že pracovník obsluhující skladovou oblast svou přidělenou práci stihne v rámci 8 hodinové pracovní doby. Některé vyráběné díly a veškeré nakupované díly jsou skladovány na paletách nebo v MARS bednách, z tohoto důvodu byl skladový prostor vybaven vyvýšenými podstavci, na které jsou palety a MARS bedny pokládány. Tento krok ulehčí práci vyndávání dílu do pojízdných regálů.

Porovnání všech časů montáže oblasti A i B dohromady je zobrazen na Obr. 45. Časově nejdelší montáž je prováděna na pracovišti prvním a čtvrtém. Rozdíl mezi nejméně vytíženým pracovištěm a nejvíce zatíženým pracovištěm je pouhých 31 vteřin. Pro

vyrovnání zatížení pracovníků je vhodné nastavit pravidelné střídání pracovišť například po odpracovaném týdnu či dnu.



Obr. 45: Diagram rozložení času montáže mezi pracovníky dle operací pro třetí variantu

Stejně jako u předchozích variant bylo pro výpočet vyrobených kusů za směnu počítáno s 410 minutami čistého času pro práci. Čas, za který z linky vyjede jedno čerpadlo neboli takt montáže je určen jako čas nejdelší práce pracovníka na jednom čerpadle, který vykonal první pracovník. Tento čas byl 1,98 minuty. Po odečtení dvojnásobné hodnoty tohoto času z čistého času pro práci vychází hodnota 406 minut. Z toho plyne že za směnu je zhotoveno celkem 204 čerpadel.

Důležité kritérium pro zhodnocení je také pořizovací cena pracoviště, která je zobrazena v Tab. 17. Průmyslový robot včetně zdroje, efektoru a vybavení efektoru lze pořídit za 2 300 000 Kč. Nepohyblivý montážní pás s rolnami, senzory a pohony posouvající skid v některých horních částech pásu a v celé spodní části stojí okolo 350 000 Kč. Skid jezdící po pásu se dá vyčíslit na cenu 4 000 Kč za kus. Šest kusů pojízdných regálů se dá

dohromady pořídít za 300 000 Kč. Masivní čtyři konstrukce pod palety a pevný rám pracovišť se dá každý pořídít za cca 50 000 Kč. Každé pracoviště je vybaveno výškově nastavitelné židle vhodnou pro práci ve stoje, cena se pohybuje v rozmezí od 10 000 Kč do 20 000 Kč. Pneumatický lis se pohybuje od 70 000 Kč až do 140 000 Kč. Pro přívoz a odvoz dílů z robotického pracoviště je využito dvou policových vozíků. Jeden policový vozík stojí od 8 000 Kč do 11 000 Kč. Malé plastové krabičky lze pořídít za 120 Kč a velké plastové krabičky za 180 Kč. Ofukovací pistole má cenu okolo 200 Kč. Dále je zapotřebí připočíst položku ostatní ve které je zahrnuta kabeláž pro pracoviště, vedení stlačeného vzduchu atd.

Tab. 17: Náklady na pořízení třetí varianty

Položka	Cena [Kč]
Průmyslový robot KUKA KR 70 2100 včetně příslušenství	2 300 000
Pás včetně elektroniky	350 000
6x Pojízdný regál	300 000
2x Poloautomatický lis	160 000
3x Pevný rám pracoviště	150 000
4x Konstrukce pod palety	50 000
3x Výškově nastavitelná židle	45 000
8x skid	32 000
2x Policový vozík	20 000
52x Malá krabička	6 300
38x Velká krabička	7 430
Kleště segr	350
3x Ofukovací pistole	600
Ostatní vybavení	30 000
Cena celkem	3 451 680

4.4 Ekonomické zhodnocení

Určení návratnosti jednotlivých variant probíhal bez omezení vyrobených počtů kusů za rok. K návrhu bylo přihlíženo jako ke studii, ve které bylo cílem určit i maximální potenciál jednotlivých variant v případě, že bude zaručen odběr všech vyrobených kusů. V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty, které byly již dříve vypočteny a okomentovány v kapitolách přiřazených daným variantám. Plat na pracovníka byl brán 32 000 Kč hrubého. Pracovník je placen za osm hodin práce, kterou provádí 5 dní v týdnu. Z toho lze následně určit i minutové náklady na pracovníka.

V taktu montáže jednoho pracoviště je rozpočítán i čas pro doplnění spádových drah a regálů. Třetí varianta má již pracovníka určeného pouze k tomuto doplňování. Tudíž pracovníci, kteří provádí montáž nejsou těmito akcemi zdržováni.

Tab. 18: Souhrn hodnot potřebných k určení ekonomického zhodnocení

	Původní pracoviště	Varianta 1.	Varianta 2.	Varianta 3.
Počet pracovníků	1	1	2	4
Minutové náklady na pracovníky [Kč]	3,33	3,33	6,66	13,32
Náklady na pořízení pracoviště [Kč]	-	428 370	579 170	3 451 680
Takt montáže [min]	10,26	8,30	4,70	1,98
Počet smontovaných kusů za směnu [ks]	38	48	86	204

Počet smontovaných čerpadel za rok, lze určit vynásobením počtu pracovních dní v roce, směnností a počtem smontovaných kusů za směnu. Výroba probíhá po odečtení svátků a víkendů 250 dní v roce ve dvousměnném provozu.

$$\text{počet ks/rok} = 250 \cdot 2 \cdot \text{počet smontovaných kusů za směnu} \quad (2)$$

Příklad výpočtu počtu smontovaných kusů za rok pro třetí variantu je uveden ve vzorci (3).

$$\text{počet ks/rok} = 250 \cdot 2 \cdot 204 = 102\,000 \text{ ks/rok} \quad (3)$$

Výsledky vzorce (2) jsou uvedeny v následující Tab. 19.

Tab. 19: Počet smontovaných kusů za rok

	Původní pracoviště	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Počet smontovaných kusů za rok [ks]	19 402	24 198	43 117	102 000

Výše nákladů na smontování jednoho čerpadla se dá spočítat jako takt montáže čerpadla vynásobený minutovými náklady na pracovníky.

$$\text{výše nákladů} = \text{takt montáže} \cdot \text{minutové náklady na prac.} \quad (4)$$

Příklad výpočtu výše nákladů pro třetí variantu je uveden ve vzorci (5).

$$\text{výše nákladů čerpadla} = 1,98 \cdot 13,32 = 26,67 \text{ Kč} \quad (5)$$

Výsledky vzorce (4) jsou uvedeny v následující Tab. 20.

Tab. 20: Výše nákladů čerpadla

	Původní pracoviště	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Výše nákladů čerpadla [Kč]	34,33	27,67	31,33	26,67

Ušetřené náklady za zkrácení celkového montážního času oproti původní variantě lze spočítat tak, že od ceny nákladů na smontování jednoho čerpadla na původním pracovišti se odečte cena nákladů na smontování čerpadla dle dané varianty.

$$\text{ušetřené náklady} = \text{cena nákladů pův. prac} - \text{cena nákladů varianty} \quad (6)$$

Příklad výpočtu ušetřených nákladů pro třetí variantu je uveden ve vzorci (7).

$$\text{ušetřené náklady} = 34,33 - 26,67 = 7,67 \text{ Kč} \quad (7)$$

Výsledky vzorce (6) jsou uvedeny v následující Tab. 21.

Tab. 21: Ušetřené náklady na montáži jednoho čerpadla

	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Ušetřené náklady na montáži jednoho čerpadla [Kč]	6,67	3	7,67

Roční úspora vzniklá ušetřenými náklady byla vypočtena vynásobením ušetřených nákladů na montáži jednoho čerpadla a počtem kusů za rok.

$$\text{roční úspora variant} = \text{ušetřené náklady} \cdot \text{počet kusů za rok} \quad (8)$$

Příklad výpočtu roční úspory pro třetí variantu je uveden ve vzorci (9).

$$\text{roční úspora} = 7,67 \cdot 102\,000 = 782\,000 \text{ Kč} \quad (9)$$

Výsledky vzorce (8) jsou uvedeny v následující Tab. 22.

Tab. 22: Roční úspora

	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Roční úspora [Kč]	161 325	129 351	782 000

Ve vzorci (6) je počítána celková návratnost investice do dané varianty jako náklady na pořízení pracoviště ku roční úspory dané varianty.

$$\text{návratnost investice} = \frac{\text{náklady na pořízení pracoviště}}{\text{roční úspora pracoviště}} \quad (10)$$

Příklad výpočtu návratnosti investice pro třetí variantu je uveden ve vzorci (10).

$$\text{roční úspora} = \frac{3451680}{782000} = 4,41 \text{ roku} \quad (11)$$

Výsledky vzorce (10) jsou uvedeny v následující Tab. 19.

Tab. 23: Návratnost investice

	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Návratnost investice [roky]	2,5	4,42	4,41

Návratnost investice se u variant pohybuje mezi 2,5 až 4,5 roku. Nejhůře vychází varianta druhá, do které se investice vrátí za 4,42 roku. Takto výrazný nárůst návratnosti oproti variantě první je způsoben zaměstnáním dvou pracovníků a stále dlouhého taktu montáže. Doba návratnosti investice do této varianty by se dala snížit například přenecháním některých operací druhému pracovníkovi. Tato změna by ale nezměnila pořadí výsledků. Nejlépe vychází varianta první, do které se investice vrátí za 2,7 roku.

Návratnost investice ale nebere v potaz ulehčení práce pracovníků, které je provedeno robotizovaným pracovištěm ve třetí variantě. Robotizované pracoviště provádí přesun již smontovaného čerpadla vážícího téměř 20 kg. A nabízí největší potenciál optimalizace. Z tohoto důvodu by bylo vhodné tuto variantu přepracovat a více zaměstnat robota. Doba návratnosti by se ale výrazně prodloužila, v případě že by nebyl zaručen odbyt počtu vyrobených čerpadel. V tomto případě by třetí varianta k implementaci do firmy nebyla vhodná.

V případě omezení počtu vyrobených kusů by bylo vhodné implementovat pracoviště první, které vychází dle návratnosti investice nejlépe.

4.5 Technické zhodnocení

Všechna navrhnutá optimalizovaná pracoviště byla doplněna spádovými drahami, které zajišťují plynulost montážního procesu a dostatečnou úložnou kapacitu. Dále byla pracoviště doplněna osvětlením a výškově nastavitelnou židlí pro oporu těla. V původní variantě pracovník používal k lisování nátrubků ruční lis, u kterého je zapotřebí vynaložit zvýšené úsilí. Tudíž byly do všech variant vloženy poloautomatické lisy.

Varianta první byla vybavena výškově nastavitelný stolem pro nastavení dle potřeb pracovníka. Jednou z nevýhod této varianty je vzdálená pozice vozíku, na které musí pracovník umísťovat těžké smontované čerpadlo.

V druhé variantě došlo k rozdělení montážního postupu včetně manipulace s jednotlivými komponenty během montáže mezi dva pracovníky. Oproti první variantě byly komponenty rozděleny mezi dvě pracoviště, což umožnilo přiblížit spádové dráhy blíže k pracovníkům.

Varianta třetí byla doplněna o robotizované pracoviště, které provádí monotónní šroubování a manipulaci s těžkým smontovaným čerpadlem. Oblast kolem robotu byla ohraničena klecí kvůli ochraně zdraví pracovníků. Využitím robotu však byla výrazně zvýšena obtížnost implementace. Pracovní plocha pro montáž byla přesunuta na pojízdný skid s příprvkem, což umožnilo přiblížit spádové dráhy blíže k pracovníkovi než v ostatních variantách. Nevýhodou této varianty je neschopnost upravení výšky pracoviště.

Pro zvolení varianty s největším potenciálem optimalizace byly určeny čtyři kategorie, do kterých dle výše popsaných předností a nedostatků byly rozděleny mezi jednotlivé varianty body. Rozdělení těchto bodů je zobrazeno v Tab. 24. Bodování probíhalo v rozmezí od 1 do 10 kde 10 je nejlepší. Kategorie přizpůsobitelnosti sděluje, jak je pracovník schopný si upravit například výšku stolu, barvu světla atd. Kategorie implementace popisuje složitost uvedení dané varianty do provozu neboli její realizaci.

Tab. 24: Bodování variant v rozmezí od 1 do 10

	Varianta první	Varianta druhá	Varianta třetí
Ergonomie práce	8	9	10
Úroveň automatizace	2	2	10
Přizpůsobitelnost	10	8	5
Implementace	8	8	5
Celkem	28	27	29

V celkovém součtu nejlépe vyšla varianta třetí, která je i vhodná z hlediska počtu vyrobených kusů za rok v případě že bude zajištěn jejich odbyt.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce byla optimalizace montáže čerpadel. Na začátku práce došlo k definování základních pojmů a rozdělení montáže včetně montážních linek. Dále došlo k popsání způsobů zjišťování a normování časů montáže, včetně dělení spotřeby času zaměstnance ve směně. Největší část rešerše byla věnována optimalizaci montáže, ve které byly popsány čtyři optimalizační metody. Mezi tyto metody byla zařazena optimalizace ergonomie, řízení práce, optimalizace robotizací a montážním přípravkem.

Následně byl v práci představen předmět montáže. Byl zpracován seznam dílů včetně montážního postupu s jednotlivými časy operací/úkonů, které byly určeny snímkem pracovního dne. Z časů operací/úkonů byl určen takt montáže čerpadla. Byly popsány i nedostatky v oblastech ergonomie a uspořádanosti pracoviště.

Ve zbytku práce byly navrženy tři varianty optimalizace lišící se počtem pracovníků/pracovišť, úrovní automatizace a také potřebou využití pracovníka ve skladu. Ve všech variantách došlo k využití spádových drah pro zajištění plynulosti montáže.

V první variantě optimalizace byla provedena optimalizace zejména redukcí pracovišť. Počet pracovišť byl zredukován na jedno, tudíž došlo k přiblížení všech předmětů směrem k pracovníkovi. V této variantě byl využit výškově nastavitelný stůl, včetně výškově nastavitelné židle pro možnost opory.

V druhé variantě byl postup montáže rozdělen mezi dva pracovníky. První pracovník prováděl přípravu dílů a druhý pracovník už finální kompletaci a doplňování skladových prvků (spádové dráhy, vozíky atd.)

Do varianty třetí byla zakomponována metoda toku jednoho kusu. V této variantě bylo využito třech pracovníků k montáži a jednoho k obsluze skladové oblasti sloužící k doplnění pojízdných regálů se spádovými drahami. Pro šroubování a manipulaci s těžkým smontovaným čerpadlem byl zvolen šestiosý kloubový robot. Dále byl v této variantě zhotoven detailnější návrh skladové oblasti včetně časové náročnosti doplňování pojízdných regálů.



Pro veškeré varianty bylo v ekonomickém zhodnocení vypracována návratnost investice. Tudiž prvně bylo potřeba vypočítat počet vyrobených kusů za rok. Určení návratnosti jednotlivých variant probíhal bez omezení vyrobených počtů kusů za rok. K návrhu bylo přihlíženo jako ke studii, ve které bylo cílem určit i maximální potenciál jednotlivých variant v případě, že bude zaručen odběr všech vyrobených kusů. Nejvíce počtů kusů zvládne smontovat varianta třetí a to 102 000 ks. Nejkratší dobu návratnosti má varianta první. Dalším způsobem posouzení variant bylo technické zhodnocení. Ve které dle čtyř argumentů byly rozděleny mezi varianty body. Po součtu bodů nejlépe vyšla varianta třetí. Z hlediska největšího potenciálu optimalizace a zvýšení produktivity se třetí varianta projevila jako nejlepší. Pro snížení návratnosti investice, by bylo vhodné tuto variantu více rozpracovat a nechat provést robota více operací.

Reference

1. PETRŮ, J. a ČEP, R. *Základy montáže*. Ostrava : Fakulta strojní VŠB - TUO, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
2. Doc. Ing. Anton HUMÁR, CSc. Vysoké učení technické v Brně. [Online] [Citace: 12. 7 2022.] <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnMontaze.pdf>.
3. Integrovaná střední škola technická a ekonomická Sokolov. [Online] [Citace: 15. 4 2022.] <https://digit.isste.cz/op-hs/assets/-1298417946120.%20Montazni%20prace-rozdeleni%20montaznich%20praci.pdf>.
4. ZELENKA, A. a České vysoké učení v Praze. Strojní fakulta. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 8001039129;9788001039120.
5. Jinfeng Cao, Ping Zhao, Guangchuan Liu,. *Optimizing the production process of modular construction using an assembly line-integrated supermarket*.. [Online] 2022. [Citace: 12. 06 2022.] <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104495>. ISSN 0926-5805.
6. KYNCL, J. Studijní podklady. *Automatizace montážních procesů*. [Online] <https://moodle-vyuka.cvut.cz/>.
7. ING. NOVÁK, CSc., Josef a ING. ŠLAMPOVÁ, Pavlína. *Racionalizace výroby*. [Online] 2007. [Citace: 25. 04 2022.] <https://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>.
8. LHOTSKÝ, O. *Organizace a normování práce v podniku*. Praha : ASPI, 2005. 80-7357-095-5.
9. DLABAČ, Ing. Jaroslav. *Štíhlý materiálový a hodnotový tok. MM Průmyslové spektrum*. 2014, Sv. Vydání 4, 140430.
10. DLABAČ, Jaroslav a PAVELKA, Marcel. Průmyslové inženýrství v organizační struktuře podniku. *Academy of productivty and innovations*. [Online] API-Akademie produktivity a inovací, s.r.o., 29. 10 2015. [Citace: 8. 7 2022.] <https://www.e-api.cz/25785n-prumyslove-inzenyrstvi-v-organizacni-strukture-podniku>.

11. CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství techn. lit, 1988.
12. WERNER, Tomáš. ČVUT fakulta elektrotechniky. [Online] [Citace: 9. 7 2022.] https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a4b33opt/intro.pdf.
13. Ján, Burieta. Svět produktivity. [Online] Fraunhofer IPA Slovakia, 2012. [Citace: 30. 06 2022.] <https://www.svetproduktivity.cz/clanek/5s-6s-nebo-dokonce-7s.htm/>.
14. ROSER, Christoph. AllAboutLean. *How 5S Works*. www.allaboutlean.com. [Online] 28. 04 2015. [Citace: 30. 06 2022.] <https://www.allaboutlean.com/5s-method/>.
15. DLABAČ, Ing. Jaroslav. *mmspektrum*. [Online] API – Akademie produktivity a inovací. [Citace: 30. 06 2022.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/stihly-materialovy-a-hodnotovy-tok>.
16. *kaas tailored*. [Online] [Citace: 30. 06 2022.] <https://kaastailored.com/blog/what-is-one-piece-flow/>.
17. BAUTO, Loida. *safetyculture*. [Online] 20. 6 2022. [Citace: 7. 7 2022.] <https://safetyculture.com/topics/one-piece-flow/>.
18. Ján Burieta. Svět produktivity. [Online] [Citace: 8. 7 2022.] <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/SMED.htm>.
19. CHUNDELA, L. *Ergonomie*. Praha : ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02301-X.
20. MAREK, P. a SKŘEHOT, J. *Základy aplikované ergonomie*. Praha : VÚBP, v.v.i., 2009. ISBN 978-80-86973-58-6..
21. Malý, Stanislav, Král, Miroslav a Hanáková, Eva. *ABC ergonomie*. Praha : Professional Publishing, 2010. 978-80-7431-027-0.
22. Hoffman Group. Hoffman Group. [Online] [Citace: 9. 7 2022.] <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/know-how/online-pruvodce/pruvodce-zarizenim-provozu/ergonomicke-pracoviste/e/61057/>.

23. RUMÍŠEK, P. *Mechanizace a automatizace*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství., 2002.
24. Doc. Ing. Vladimír ANDRLÍK, CSc. a kol. *Průmyslové roboty a manipulátory*. místo neznámé : Ústav výrobních strojů a zařízení, 2012.
25. SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava : Vysoká škola, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
26. RUMÍŠEK, P. *Automatizace: roboty a manipulátory*. Brno : VUT, 2003.
27. AG, KUKA. Industrial robots from KUKA. [Online] KUKA AG. [Citace: 13. 08 2022.] <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots>.
28. FANUC. Range overview. [Online] [Citace: 13. 08 2022.] <https://www.fanuc.eu/cz/en/robots/robot-range-page>.
29. ABB. Industrial Robots. [Online] [Citace: 13. 08 2022.] <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots>.
30. Yaskawa. Industrial Robotic Arms. [Online] [Citace: 13. 08 2022.] <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial>.
31. Stäubli. Product range of industrial robots, cobots and mobile robots. [Online] [Citace: 13. 08 2022.] <https://www.staubli.com/global/en/robotics/products.html>.
32. Maximilian Metzner, Sebastian Leurer, Andreas Handwerker, Engin Karlidag, Andreas Blank, Florian Hefner, Jörg Franke,. *High-precision assembly of electronic devices with lightweight robots through sensor-guided insertion*. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120314694] místo neznámé : Procedia CIRP, 2021. ISSN 2212-8271.
33. ČSN EN ISO 13857 (833212) *A Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

34. ČSN EN ISO 13850 (833311) *A Bezpečnost strojních zařízení - Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
35. ČSN EN ISO 10218-1 (186502) *A Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Část 1. Roboty = Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots. Part 1, Robots*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
36. AG, Kuka. [Online] [Citace: 10. 08 2022.] https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000332117_en.pdf?rev=7dae40e830d44d55baf54388aea9522b&hash=0F06C46248066D9087DC549A9FD6179B.
41. HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.

Seznam obrázků

Obr. 1: Dělení montáže [1].....	3
Obr. 2: Schéma rozčleněné montáže [1]	4
Obr. 3: Schéma rozčleněné montáže [1]	5
Obr. 4: Schéma předmětné montáže [1]	5
Obr. 5: Schéma linkové montáže [1].....	6
Obr. 6: Schéma proudové montáže [1].....	6
Obr. 7: Rozdělení montážních linek [1].....	9
Obr. 8: Rozdělení prostorových uspořádání montážních linek [1]	10
Obr. 9: Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky s čelním pracovištěm [1] .	10
Obr. 10: Schéma oboustranné jednosměrné montážní linky s bočním postavením pracovišť [1]	11
Obr. 11: Rozdělení pracovních norem [7].....	12
Obr. 12: Dělení času spotřebované ve směně [7].....	13



Obr. 13: Dělení optimalizace montáže	17
Obr. 14: Porovnání toku jednoho kusu a dávkové výroby [11]	18
Obr. 15: Postup při realizaci metody SMED [18]	19
Obr. 16: Systém člověk – technika – prostředí [19].....	20
Obr. 17: Dělení ergonomie pracovního místa [19]	21
Obr. 18: Vhodná výška stolu vzhledem k prováděné práci [22]	22
Obr. 19: Dosah horních končetin pracovníka při práci vsedě i ve stoje [6]	23
Obr. 20: Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů [24].....	24
Obr. 21: Čerpadlo.....	29
Obr. 22: Přípravek k montáži čerpadla	33
Obr. 23: Aktuální rozvržení pracovišť a úložných ploch	36
Obr. 24: Optimalizované původní pracoviště	39
Obr. 25: Rozvržení optimalizovaného původního pracoviště.....	40
Obr. 26: Diagram rozložení času montáže pracovníka dle operací pro první variantu .	43
Obr. 27: Druhá varianta optimalizace montáže s využitím dvou pracovníků	45
Obr. 28: První pracoviště druhé varianty optimalizace montáže	46
Obr. 29: Druhé pracoviště druhé varianty optimalizace montáže	48
Obr. 30: Diagram rozložení času montáže mezi pracovníky dle operací pro druhou variantu	50
Obr. 31: Třetí varianta optimalizace montáže s využitím metody OPF	52
Obr. 32: Detail skidu na rolnách	53
Obr. 33: Rozdělení oblastí a pracovišť třetí varianty	54
Obr. 34: První pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace	56
Obr. 35: Druhé pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace	57
Obr. 36: Třetí pracoviště v oblasti ruční montáže třetí varianty optimalizace	59
Obr. 37: Oblast automatizované montáže třetí varianty optimalizace	61
Obr. 38: Maximální zatížení vzhledem k natažení ruky robota. Jednotky na osách jsou v mm [36].....	62
Obr. 39: První kritická pozice robotizovaného pracoviště.....	63
Obr. 40: Druhá kritická pozice robotizovaného pracoviště	64
Obr. 41: Třetí kritická pozice robotizovaného pracoviště	65

Obr. 42: Skladová oblast třetí varianty optimalizace.....	66
Obr. 43: Pohled na regál s komponenty vlastní výroby.....	67
Obr. 44: Pohled na palety s kupovanými komponenty, MARS bedny a pojízdné regály	68
Obr. 45: Diagram rozložení času montáže mezi pracovníky dle operací pro třetí variantu	71

Seznam tabulek

Tab. 1: Specifikace nejpoužívanějších robotů [27; 28; 29; 30; 31]	25
Tab. 2: Porovnání pracovníka a robota [24]	27
Tab. 3: Přehled jednotlivých dílů	30
Tab. 4: Montážní postup při stávajícím rozvržení.....	34
Tab. 5: Montážní postup první varianty.....	41
Tab. 6: Náklady na pořízení první varianty	44
Tab. 7: Montážní postup prvního pracoviště druhé varianty	47
Tab. 8: Montážní postup druhého pracoviště druhé varianty.....	49
Tab. 9: Náklady na pořízení druhé varianty.....	51
Tab. 10: Časy operací prvního pracoviště třetí varianty optimalizace	55
Tab. 11: Časy operací druhého pracoviště třetí varianty optimalizace	58
Tab. 12: Časy operací třetího pracoviště třetí varianty optimalizace.....	60
Tab. 13: Časy operací robotizovaného pracoviště třetí varianty optimalizace	66
Tab. 14: Délky čas jednoho doplnění pojízdného regálu daných variant.....	69
Tab. 15: Četnost doplnění pojízdných regálů třetí varianty optimalizace.....	69
Tab. 16: Celková doba doplňování pojízdných regálů pro jednotlivá pracoviště.....	70
Tab. 17: Náklady na pořízení třetí varianty.....	72
Tab. 18: Souhrn hodnot potřebných k určení ekonomického zhodnocení.....	73
Tab. 19: Počet smontovaných kusů za rok	74
Tab. 20: Výše nákladů čerpadla	74
Tab. 21: Ušetřené náklady na montáži jednoho čerpadla.....	75
Tab. 22: Roční úspora	75

Tab. 23: Návratnost investice	76
Tab. 24: Bodování variant v rozmezí od 1 do 10	78

Seznam rovnic

(1) Metoda sumárních vzorců	16
(2) Počet smontovaných kusů za rok	72
(3) Příklad výpočtu smontovaných kusů za rok pro třetí variantu	73
(4) Výše nákladů na smontování jednoho čerpadla	73
(5) Příklad výpočtu výše nákladů na smontování jednoho čerpadla pro třetí var. ...	73
(6) Ušetřené náklady	74
(7) Příklad výpočtu ušetřených nákladů pro třetí variantu	74
(8) Roční úspora	74
(9) Příklad výpočtu roční úspory pro třetí variantu	74
(10) Návratnost investice	75
(11) Příklad výpočtu návratnosti investice pro třetí variantu	75

Seznam použitého software

Autodesk Inventor 2022

Blender 3.2.2

Microsoft Word

Microsoft Excel