

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘKÁ PRÁCE
NA TÉMA
AUTOMATIZACE MONTÁŽNÍ
LINKY**

2020

**MILAN
BRTNICKÝ**



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Brtnický** Jméno: **Milan** Osobní číslo: **475465**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Automatizace montážní linky

Název bakalářské práce anglicky:

Assembly line automation

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše teorie montáže.
2. Rešerše teorie automatizace.
3. Analýza současného stavu montážní linky.
4. Návrh variant automatizace.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Tomáš Kellner
podpis vedoucí(ho) práce

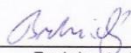

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

23.6.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení Ing. Tomáše Kellnera. Dále prohlašuji, že všechny prameny, ze kterých jsem čerpal, cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury a zdrojů. V bakalářské práci jsem použil údaje o postupech a výrobním procesu firmy Bosch Diesel, s.r.o., která s jejich zveřejněním souhlasí.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomáši Kellnerovi, vedoucímu mé práce, za rady, připomínky a také trpělivost, se kterou se mi věnoval při konzultacích ohledně bakalářské práce. Velké díky patří také mé rodině a firmě Bosch Diesel, s.r.o., za to, že mi umožnili na bakalářské práci pracovat.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá automatizací montážní linky. Vysoký stupeň automatizace výroby má pozitivní vliv na efektivní fungování podniku a rozšiřuje možnosti jeho personální politiky. Vhodnou automatizací lze omezit závislost na lidských zdrojích, kterých zejména v oblastech s vysokým podílem manuální činnosti stále ubývá. Cestou rozšiřování automatizace se ubírá i firma Bosch Diesel, s.r.o. Cílem této práce je navrhnout automatizaci montážní linky ve zmiňované firmě. K jednotlivým návrhům bude provedeno ověření technické a konstrukční proveditelnosti a propočet ekonomické návratnosti. Nová automatizace je tedy v souladu s firemní strategií.

Klíčová slova

Montáž, montážní linka, optimalizace montáže, automatizace montáže, návrh pracoviště montáže

Annotation

The Bachelor thesis was focused on the automation of assembly line. High level of automated production has a positive effect on efficient function of company and broadens possibilities its personel policy. With a suitable automation can be limited dependencies on a human resources, which slowly decreases especially in areas with a high proportion of manual operations. Even the company as Bosch Diesel s.r.o. is heading the way of expanding automation. The aim of this thesis was made a proposal of automated assembly line in mentioned company. For each proposal was verified technical feasibility and calculation of economic recoverability. A new automations are in line with company strategy.

Keywords

Assembly, assembly line, optimization of assembly, automation of assembly, design of assembly workplace

Obsah

1	Úvod	7
2	Teorie montáže	8
2.1	Montáž dle sériovosti.....	9
2.2	Montáž z hlediska organizace práce	11
2.3	Montáž dle stupně automatizace	14
3	Teorie automatizace montáže.....	16
3.1	Definice pojmu automatizace	16
3.2	Důvody automatizace	17
3.3	Členění automatizací.....	18
3.4	Stupně automatizace	19
3.5	Strojní vybavení automatické montážní linky	20
3.6	Prvky pro automatizaci strojních zařízení	21
3.7	Optické systémy pro automatizaci.....	27
4	Analýza montážní linky.....	29
4.1	Základní informace o výrobku PCV	29
4.2	Aktuální stav montážní linky PCV.....	30
4.3	Analýza stanice číslo 5 - Vychystání komponent.....	31
4.4	Analýza stanice číslo 70 - Vizualní kontrola a balení.....	33
5	Návrh automatizace montážní linky.....	35
5.1	Podmínky automatizace stanice číslo 5.	35
5.2	Návrh 1 - Dílčí automatizace - manipulace s koši.....	42
5.3	Návrh 2 - Automat s lineárními osami	44
5.4	Návrh 3 - Automatizace pomocí robotů.....	47
6	Technicko-ekonomické zhodnocení	61
6.1	Ověření technických parametrů konceptu	61
6.2	Ekonomické zhodnocení	63
6.3	Zhodnocení a výběr návrhu.....	67
7	Závěr	69
	Bibliografie	70
	Seznam obrázků	72
	Seznam tabulek	73
	Seznam použitého software.....	73

Seznam použitých zkratek

DN	Doba návratnosti
IN	Investiční náklady
KV	Kapitálové výdaje
LED	Light Emitting Diode, dioda vyzařující světlo
NEE	Náklady na elektrickou energii
NSV	Náklady na spotřebu stlačeného vzduchu
NZP	Roční náklady za pracovníka
PCV	Pressure Control Valve, ventil pro regulaci tlaku
PLC	Programmable Logic Controller, programovatelný logický automat
PRaM	Průmyslové roboty a manipulátory
PrZ	Procento zmetkovitosti
PTS	Požadovaný takt stanice
SP	Směnný provoz
VTL	Výrobní takt linky

1 Úvod

Tato práce se zabývá automatizací montážní linky, na níž jsou vyráběny komponenty pro automobilový průmysl. Cílem práce je vytvořit koncepční návrhy automatických zařízení a zhodnotit jejich technickou a ekonomickou výhodnost. Aby bylo možné vytvořit koncepční návrhy, bude provedena nejprve analýza montážní linky.

V teoretické části nejprve provedu rešerši montáže ve strojírenských podnicích a rešerši automatizace montážních procesů. V rámci teorie automatizace uvedu prvky a zařízení, které jsou při automatizaci využívány. Více rozvedu průmyslové robotické manipulátory a optické systémy pro automatizaci. Poznanky z teoretické části využiji při zpracování praktické části, kde bude mým cílem návrh řešení automatizace montážní linky.

V úvodu praktické části provedu analýzu posuzované montážní linky. Na základě výsledků analýzy určím pracoviště, které bude z hlediska potřeb montážní linky nejvhodnější automatizovat. Pro vybrané pracoviště vytvořím návrhy na automatizaci, včetně modelů ve 3D CAD softwaru. Cílem rozpracování jednotlivých návrhů bude ověření technické a konstrukční proveditelnosti. Data získaná při zpracování konceptů využiji v technicko-ekonomickém zhodnocení pro ověření technických parametrů a kalkulaci pořizovací ceny jednotlivých návrhů.

V závěru práce provedu technicko-ekonomické zhodnocení. V technické části hodnocení ověřím rozměrové a funkční parametry konceptů a splnění podmínek vyplývajících z analýzy montážní linky. V části ekonomické zkalkuluji náklady související s pořízením nového zařízení a jeho provozem. Na základě výsledků technicko-ekonomického zhodnocení bude vybrán nejvhodnější návrh automatizace.

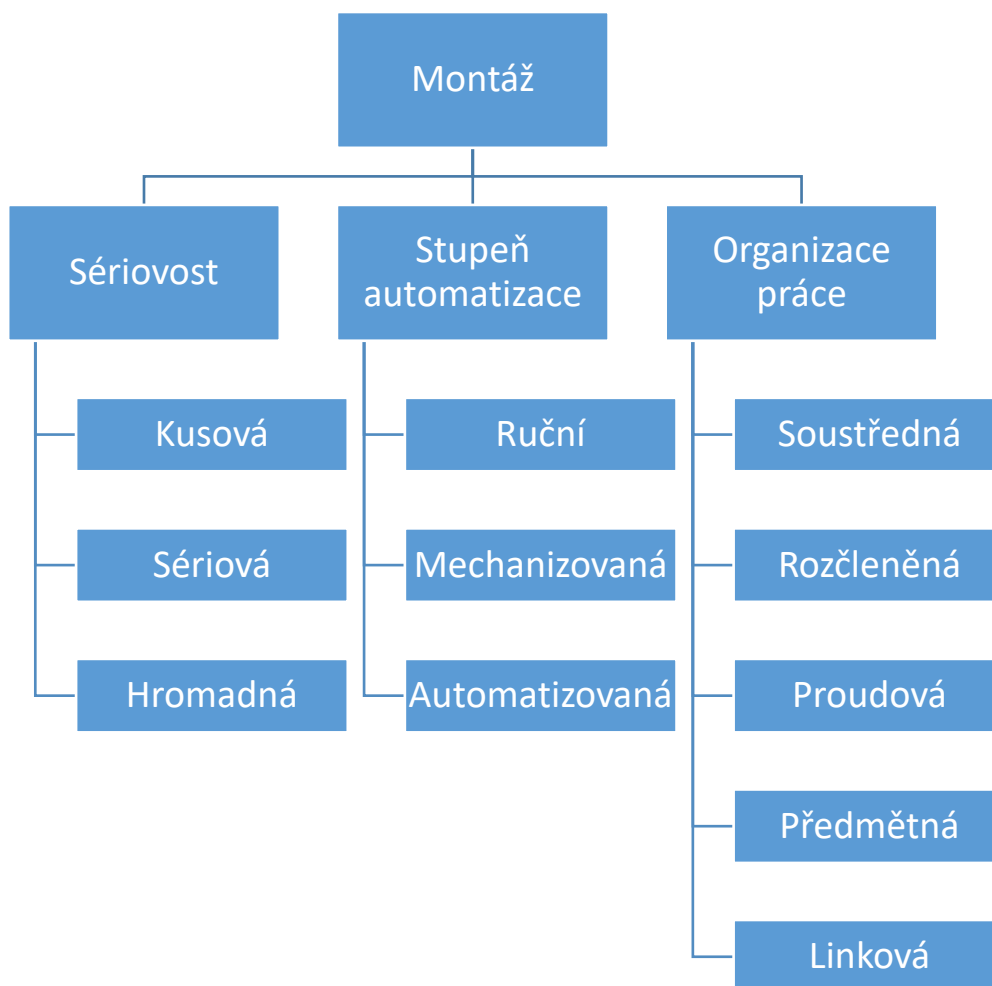
2 Teorie montáže

Většina finálních produktů strojírenských firem se skládá z více jednotlivých komponent. Pro vzájemné spojení těchto komponent je nutné provést jejich kompletaci. Tuto činnost nazýváme montáží. *„Montáž lze charakterizovat jako soubor činností lidí, zařízení a strojů, přičemž vykonáváním činností ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních skupin hotový výrobek. Montáž je obvykle závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě.“ [1]*

Proces kompletace výrobku může mít nekonečně mnoho podob. Na zvolený koncept montáže májí vliv faktory, které mohou být jak fyzické, tak ekonomické povahy. Tyto zmíněné faktory se vzájemně ovlivňují a při návrhu montážního pracoviště je nutné jejich vlivy dát do rovnováhy, která bude pro daný úkol nejvýhodnější.

Mezi aspekty fyzické povahy lze zařadit například celkové rozměry a váhu montovaných součástí, prostor využitelný pro montážní dílnu, či možnosti skladování a manipulace. K ekonomickým aspektům pak patří náklady na vlastní montáž, náklady na pořízení strojního vybavení, náklady na energie a především návratnost, respektive rentabilita zamýšlené montáže. Zmiňované vlivy se pak přímo podepisují na zvoleném konceptu montážní dílny.

Montáž lze rozdělit dle několika faktorů (Obr. 1):



Obr. 1 - Členění montáže [2]

2.1 Montáž dle sériovosti

Jedním ze základních faktorů, který ovlivňuje způsob provádění montáže, je velikost výrobních dávek, čili sériovost. Objem výroby velkou měrou ovlivňuje jak strojní a nástrojové vybavení montážních dílen, tak i organizaci práce na montáži a stupeň její automatizace. Pokud chce výrobce kompletovat pouze několik kusů výrobků, nemá pro něj smysl vyvíjet a platit složité automatizované procesy. Naopak, pokud je záměrem montovat několikatisícové série, pak je nanejvýš vhodné kompletaci co nejvíce mechanizovat a automatizovat. Výrobci to přinese vysokou produktivitu montáže a dlouhodobé úspory v nákladech na pracovní sílu. Z těchto důvodů je možné rozdělit montáž podle sériovosti na 3 základní typy (Obr. 2).



Obr. 2 - Montáž dle sériovosti [2]

2.1.1 Montáž v kusové výrobě

Je charakteristická minimálním podílem automatizace a vysokou flexibilitou. Flexibilita je jak v možnosti jednoduchého přechodu na jiný typ výrobku, tak v možnosti kompletovat široký sortiment výrobků. Při kusové montáži jsou kladeny vysoké nároky na kompetence montážních dělníků, jejich znalosti a zkušenosti. Mezi nevýhody montáže v kusové výrobě patří vyšší spotřeba času a problematická možnost kontroly jednotlivých montážních operací [3].

2.1.2 Montáž v sériové výrobě

Pokud se výroba stejných produktů pravidelně seskupuje do určitých výrobních dávek, mluvíme o sériové výrobě. Montáž v sériové výrobě je charakteristická vyšším stupněm mechanizace a automatizace. V sériové výrobě, a montáži je třeba dbát na vyšší stupeň propracovanosti konstrukčně-technologické koncepce výrobku. Správně navržená konstrukčně-technologická koncepce výrobku má pozitivní vliv na zjednodušení montážních prací a minimalizaci chybovosti [2]. Výhodou sériové montáže je především výrazně vyšší produktivita v porovnání s kusovou výrobou a s tím související snížení nákladů na montáž. Nevýhodou je podstatná ztráta flexibility.

2.1.3 Montáž v hromadné výrobě

Pro výrobky, které jsou kompletovány v řádech tisíců kusů, je ve výrobních podnicích zaváděna hromadná montáž. Vyznačuje se vysokým stupněm mechanizace a automatizace. Při hromadné výrobě je brán zvláštní ohled na minimalizaci nákladů spojených s výrobou, proto je zde mimořádně důležitá ideální konstrukčně-technologická koncepce výrobku. Optimalizací konstrukčně-technologické

koncepte lze dosáhnout značných úspor při vlastní výrobě a montáži, ale také v přípravě výroby [2]. Do oblasti přípravy výroby můžeme zahrnout snížení, či eliminaci nákladů na rozšíření strojního a nástrojového vybavení, nebo případné vícenáklady spojené s nákupem materiálu či logistikou

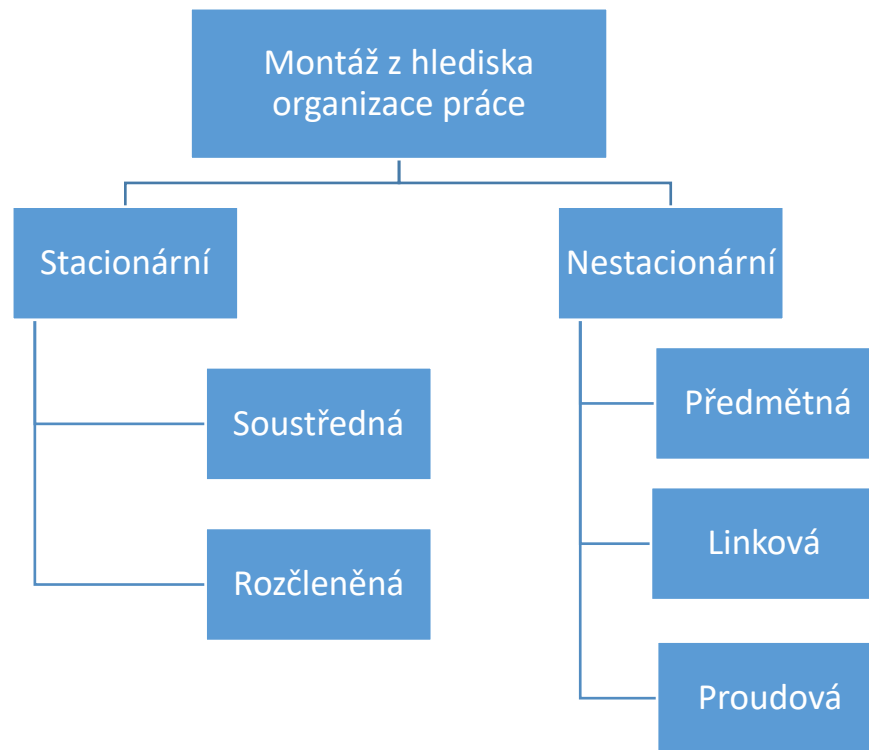
Ke konci 20. století se objevily v oblasti sériové montáže některé nové směry, které mají za cíl zmenšit monotónnost a jednostrannou zátěž montážních dělníků. Zároveň tyto metody nesnižují produktivitu, při vhodném uspořádání montážních linek a vhodném konstrukčním řešení montážních stanic můžou naopak produktivitu zvýšit.

Metoda Chaku-Chaku – pracovní systém převzatý z Japonska. Montážní dělník přemísťuje montovaný díl mezi montážními stanicemi a pohybuje se ve směru toku linky. Jeho úkolem je pouze odebrat hotový dílec z jedné pracovní pozice, založení do následné operace, drobná manipulace s materiálem a spuštění pracovního cyklu stroje. Během pracovního cyklu stroje se dělník pohybuje k dalším operacím. Montážní linky jsou koncipovány ve tvaru úzkého U – tak, aby dělník na konci pracovní linky mohl okamžitě začít na jejím počátku. [4]

Princip Hanedashi – princip založený na funkci „autojectu“. Autoject je funkční prvek v montážní, či výrobní stanici, který na konci cyklu vyprázdňuje základní místo a umožní tak vložení dalšího dílce. Obsluha stroje neztrácí čas vyjímáním hotového výrobku z pracovní pozice. [5]

2.2 Montáž z hlediska organizace práce

Organizace práce je velice důležitou částí výrobního, respektive montážního procesu. Správným návrhem, či úspěšnou optimalizací organizace práce lze zajistit potřebnou efektivitu činností a zvýšit produktivitu práce. Základní rozdělení organizace práce je dle místa, kde montáž probíhá na externí a interní. V této práci se zabývám pouze montáží ve výrobních závodech, tedy montáží interní. Montáž z pohledu pohybu výrobku a organizování činností se dělí na dvě základní skupiny a pět podskupin viz Obr. 3 [2].



Obr. 3 - Montáž dle organizace práce [2]

Pro různé objemy výrob jsou vhodné jiné typy organizace montáže. Stacionární typy najdou využití zejména v kusové a malosériové výrobě, nestacionární pak při sériové a hromadné produkci. Jednotlivé skupiny se kromě odlišného pohybu materiálu a montážních dělníků liší také strojním a nástrojovým vybavením.

2.2.1 Stacionární montáž

Stacionární montáž je charakteristická tím, že se montovaný výrobek nepohybuje, pohybují se pracovníci. Je vhodná zejména při montáži rozměrných celků, se kterými je obtížné manipulovat.

Soustředná montáž

Soustřednou montáž provádí jedna skupina pracovníků na jednom stacionárním pracovišti. Tento způsob montáže je využíván zejména pro kompletaci velkých celků. Je typická pro kusovou výrobu, případně malosériovou výrobu rozměrných montážních celků. Nevýhodami soustředné montáže jsou vysoké nároky na kvalifikaci pracovníků, nároky na montážní plochy a nízká produktivita [2].

Rozčleněná

Rozčleněná montáž využívá částečně principy soustředné montáže a částečně dělení montážních operací. Podmínkou je možnost rozdělit finální produkt na menší montážní celky. Dílčí montážní podskupiny finálního výrobku jsou kompletovány paralelně na stacionárních pracovištích. Po dokončení montáže podskupin je provedena finální montáž. Rozčleněná montáž je vhodná pro malosériovou výrobu. Výhodou tohoto způsobu montáže je zkrácení průběžného času kompletace [2].

2.2.2 Nestacionární montáž

Nestacionární montáž, jinak řečeno pohyblivá montáž je způsob kompletace, při kterém se výrobek pohybuje přes pracovní stanoviště. Montážní pracovníci jsou vázáni na dané pracoviště.

Předmětná

Předmětný způsob montáže je charakteristický volným pohybem montovaného předmětu. Montovaný předmět prochází jednotlivými specializovanými pracovišti. Na specializovaném pracovišti vykonávají pracovníci jen určitou operaci. Sled operací nemusí být dodržen, objem montážních prací není nivelizován. Předmětná montáž nachází uplatnění zejména v malosériové výrobě [2].

Linková

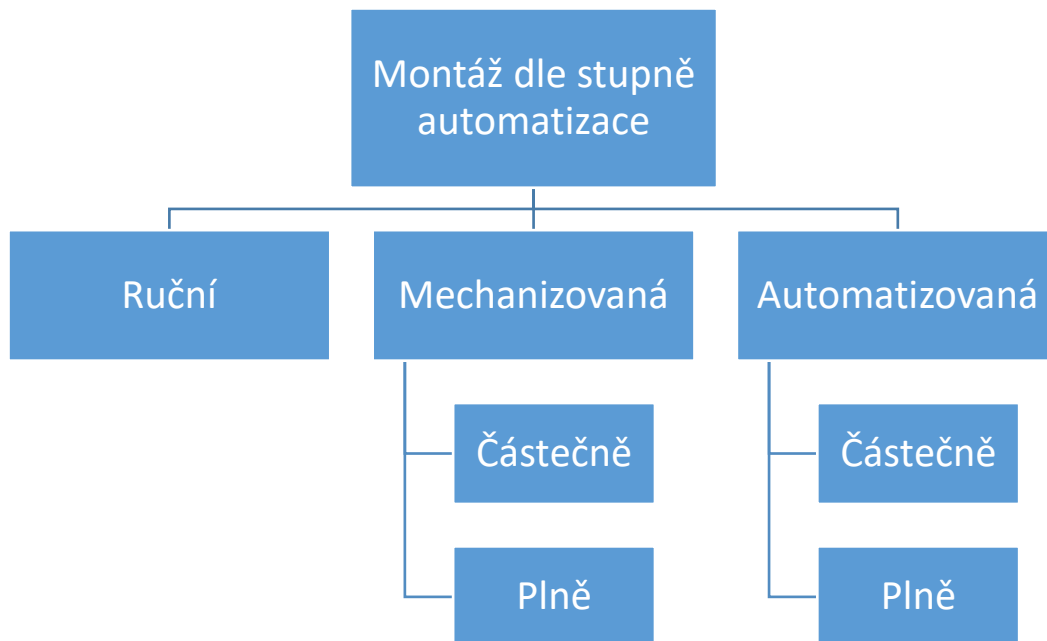
Linková montáž se vyznačuje nuceným pohybem montovaného výrobku mezi jednotlivými montážními operacemi. Finální výrobek je rozdělen na několik montážních operací, počet operací pak odpovídá počtu montážních stanovišť. Montážní pracovníci jsou fixováni na jednotlivá pracoviště. Sled operací je nutno dodržet. Jednotlivé operace nemusí běžet ve zcela stejném pracovním taktu. Linková montáž je vhodná pro sériovou výrobu. K jejím výhodám patří zejména vysoká produktivita. Nevýhodou je nízká flexibilita [2].

Proudová

Proudová montáž je vyšším stupněm linkové montáže. Princip montáže je shodný, ale jednotlivé operace jsou vyladěny na shodný pracovní takt. Výrobek pak montážní linkou „proudí“ s minimem prostojů. Díky vysoké produktivitě nachází proudový způsob montáže využití zejména v hromadné výrobě. [2]

2.3 Montáž dle stupně automatizace

Stupeň automatizace montážních linek je závislý na několika faktorech. Z těch nejdůležitějších můžeme jmenovat předpokládanou sériovost, požadovanou flexibilitu montáže nebo ekonomickou návratnost. Zjednodušeně je možné konstatovat, že s rostoucími objemy výroby je vhodné zavádět vyšší stupně automatizace. Podle stupně automatizace dělíme montáž do tří skupin (Obr. 4).



Obr. 4 - Montáž dle stupně automatizace [6]

2.3.1 Ruční montáž

Ruční montáže jsou nazývány kompletační činnosti, při kterých není využíváno prvků mechanizace, či automatizace. Montážní pracovníci využívají pouze ruční nářadí, nástroje, případně ruční pneumatické, a elektrické nářadí jako jsou vrtačky či utahováky. Výhodou ruční montáže, jsou nízké náklady na vybavení pracovišť a vysoká flexibilita. Tento typ montáže je využíván zejména v kusové výrobě.

2.3.2 Mechanizovaná montáž

Montáž, při které se využívají prvky mechanizace, patří do skupiny mechanizované montáže. „Mechanizací rozumíme prostředky, které bez ohledu na svou klasifikaci nebo zatřídění mají svým určením napomáhat především ke snížení fyzické námahy lidí“ [7]. K přednostem mechanizované montáže patří především snížení zátěže pracovníků a zvýšení jejich produktivity, což je výhodné

zejména v sériové produkci. Nevýhodou mechanizované montáže je určité omezení výrobního spektra, dané strojním vybavením. Montážní dílna může být mechanizovaná plně, nebo částečně (např. pouze pracoviště, kde probíhá manipulace s těžkými břemeny).

2.3.3 Automatizovaná montáž

Při potřebě kompletace velkých sérií výrobků se zavádí automatizovaná montáž. Automatické stroje vykonávají montážní operace bez přímé účasti montážního pracovníka, případně pracovník pouze zakládá a odebírá produkt ze stroje. Montáž může být automatizována částečně či plně. Pokud automaticky pracuje pouze část strojů dané montáže, jedná se o částečně automatizovanou výrobu. V plně automatizované montáži je celý proces kompletace výrobků automatický. Na plně automatizovaných výrobních linkách dochází ke kontaktu člověka s výrobkem pouze ve výjimečných případech, jakými jsou přísun materiálu, manipulace s vadnými výrobky nebo manipulace při odstraňování případných závad na strojích. [6]

3 Teorie automatizace montáže

Montáž je ve většině případů konečná a také nejsložitější fáze výrobního procesu. „Tato etapa rozhodujícím způsobem ovlivňuje nejen jakost a spolehlivost výrobku, ale také např. průběžnou dobu výroby, produktivitu práce i efektivnost celého systému“ [2]. Všechny tyto aspekty mají zcela zásadní vliv na úspěch daného výrobku na trhu a na prosperitu výrobního podniku. Stejně aspekty jsou také důvodem, proč výrobce přistupuje k automatizaci montáže. Jakost výrobku lze zvýšit například eliminací lidských chyb u automatického stroje. Zvýšit efektivnost je možné za pomoci rychlejšího automatického zařízení. Kromě důvodů, pro které je automatizace zaváděna, existuje ještě několik dalších hledisek, podle kterých lze automatizaci hodnotit.

3.1 Definice pojmu automatizace

Aby bylo možné správně vymezit, co se skrývá pod pojmem automatizace, považuji za vhodné uvést i další pojmy, které jsou mnohdy s automatizací spojovány.

Mechanizace – „znamená využití technických prostředků, jejichž vzájemná součinnost je zabezpečena lidským činitelem. Operace jsou prováděny přenosem mechanické, elektrické, pneumatické nebo hydraulické energie, popřípadě jejich kombinacemi. Výběr operací, zahájení, popř. řízení procesu a ukončení pracovního cyklu je zabezpečováno člověkem. Mechanizace slouží k odstranění namáhavé lidské práce „ [8]

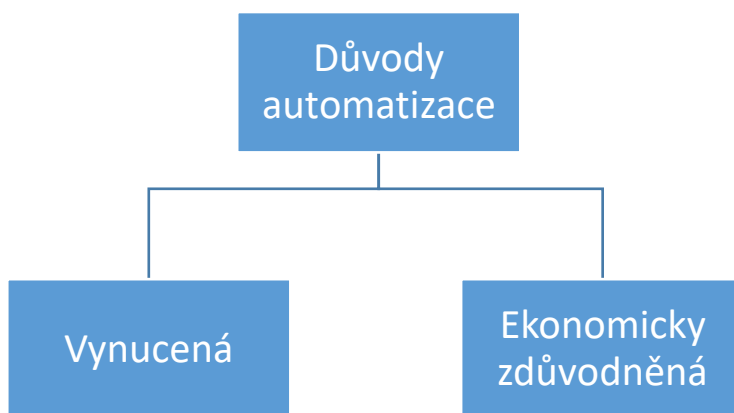
Automatizace – „znamená využití všech opatření (např. technických prostředků), s jejichž pomocí samočinně probíhají dílčí nebo celé procesy (např. výrobní), podle předem zadaného programu. Cílem automatizace je přínos zejména ekonomických a technických výhod. Stručně řečeno, automatizace je náhrada lidské činnosti automaty s cílem nahradit člověka [8]. „*Moderní pojetí výrobní automatizace staví člověka a automatizační techniku do role partnerů. Automatizační technika pomáhá lidem udržovat technologické procesy efektivní a bezpečné*“. [9]

Robotizace – je poněkud zavádějící označení určitého výseku automatizace, ale také zmiňované mechanizace. Pojem robot je označováno mnoho zařízení z různých oblastí života (kuchyňský robot, robotická sekačka aj.), která často ani nemají vlastnosti robota v pravém slova smyslu. Za robota v tom skutečném pojetí můžeme považovat stroj podobný člověku mající ruce, nohy, tělo a hlavu. Nasazování

robotů v dnešním pojetí znamená většinou jen aplikaci robotického ramena, které má několik stupňů volnosti a ponejvíce plní funkci manipulátoru, tzn. vykonává nenáročné (naprogramované) pohyby. [9]

3.2 Důvody automatizace

Pro nahrazení lidské obsluhy automatickým strojem, nebo pro přechod z mechanizovaného zařízení k automatickému může zadavatele vést množství důvodů. Ty lze rozdělit do dvou základních skupin (Obr. 5).



Obr. 5 - Důvody automatizace [6]

3.2.1 Vynucená automatizace

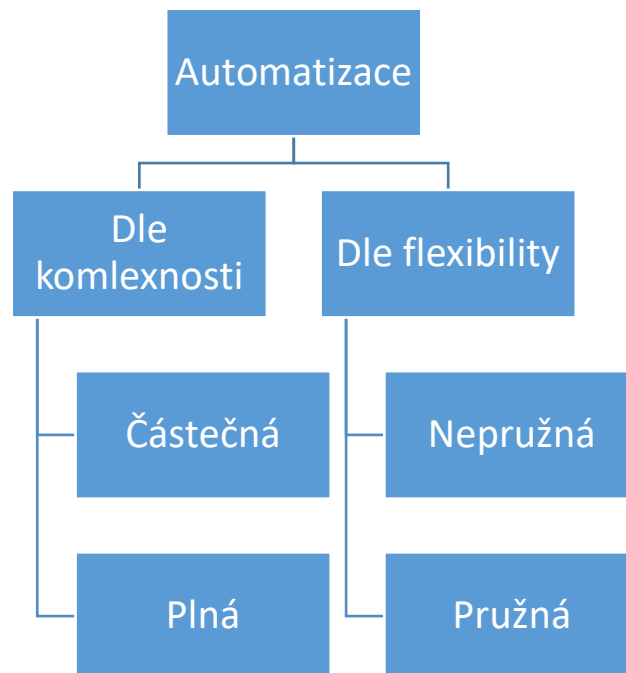
Za vynucenou automatizaci považujeme případy, kdy je náhrada člověka robotem vynucena skutečností neekonomické povahy. Může to být například nahrazení lidské práce v pracovním prostředí škodlivém či životu nebezpečném, eliminace práce s vysokou hmotností zátěží, nebo naopak využití strojů přesnějších než lidská ruka při výrobě malých součástek např. v elektronice [10].

3.2.2 Ekonomicky zdůvodněná automatizace

Ekonomicky zdůvodněná automatizace „vychází z ekonomických hledisek tržní ekonomiky.“ [6] Do této kategorie spadá většina automatizovaných zařízení. Dílčích důvodů může být celá řada. Automatizovaný stroj má větší produktivitu než pracovník, chybovost stroje je řádově nižší, úspora mzdových nákladů či možnost zajištění kontroly s archivací výsledků. Všechny tyto dílčí důvody lze shrnout do jednoduché formulace: „Automatizovaný stroj vychází ekonomicky výhodněji, než fyzická obsluha“.

3.3 Členění automatizací

Automatizaci je možné rozdělit podle oboru, v němž je uplatňována na Automatizaci výrobních procesů a Automatizaci nevýrobních procesů. V této práci se zabývám pouze automatizací procesů výrobních, kterou lze pak dále rozdělit podle několika kritérií (Obr. 6).



Obr. 6 - Členění automatizace [6]

3.3.1 Rozdělení automatizace dle komplexnosti

Každá montážní dílna je navržena pro jiný druh výrobku a jinou sériovost výroby, proto se liší také jejich strojní vybavení. V některých případech, je ideální mít automatické všechny montážní pracoviště, v jiných je výhodnější mít automatizované pouze vybrané montážní operace. Komplexnost automatizace pak vyjadřuje poměr automatizovaných a neautomatizovaných pracovních operací.

Automatizace částečná – plně automatizovaná je pouze část strojního vybavení. Montážní linka není schopna plně automatické výroby.

Automatizace plná (komplexní) – všechny výrobní zařízení montážní linky jsou plně automatizované a jsou schopni bez zásahů obsluhy vyrábět.

3.3.2 Rozdělení automatizace dle flexibility výroby

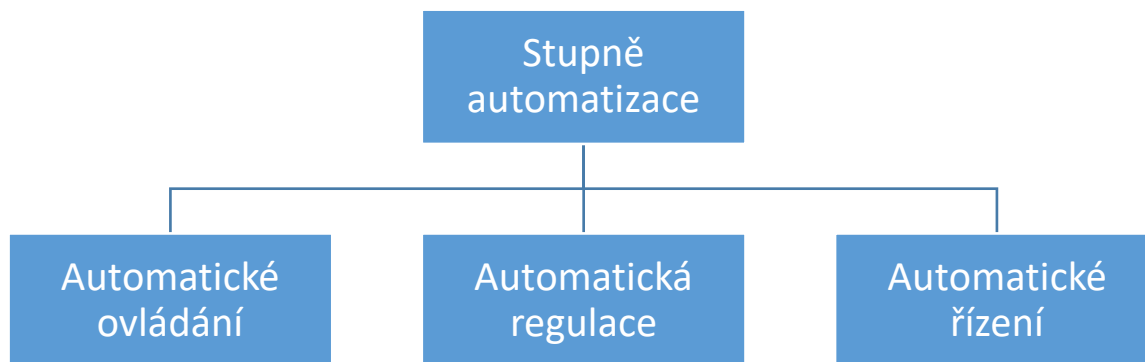
Flexibilita montážní dílny je z velké části dána použitým strojním vybavením. Lze konstatovat, že s rostoucí specializací automatických strojů klesá úměrně možnost přeseřízení. Podle flexibility strojního vybavení dělíme automatizaci:

Nepružná (tvrdá) automatizace – jde o stroje speciálního určení, které jsou zkonstruovány přímo pro daný typ výrobku. Přejít na jiný typ výrobku je obtížný, nebo nemožný. Obtížnost přeseřízení je hlavní nevýhodou nepružné automatizace, naopak výhodou je vysoká produktivita.

Pružná automatizace – přeseřízení strojů je možné, ve většině případů výměnou nástrojů, přípravku nebo úpravou softwaru. Výhodou pružné automatizace je především flexibilita výroby, nevýhodou bývá nižší výkonnost v porovnání s tvrdou automatizací.

3.4 Stupně automatizace

V praxi se lze setkat s pojmem „automaticky pracující stroj“. Tento pojem však není zcela výstižný, pouze říká, že zařízení je schopné provést některé činnosti na pokyn obsluhy. Nevyjadřuje již, jaký rozsah činností je stroj schopen provést, zda tyto činnosti budou provedeny s ohledem na aktuální stav zařízení a výrobku, zda stroj dokáže korigovat své činnosti, případně zda dokáže dlouhodobě pracovat bez přítomnosti obsluhy. Možnosti automatického zařízení blíže určuje stupeň jeho automatizace (Obr. 7).



Obr. 7 - Stupně automatizace [6]

3.4.1 Automatické ovládání

„V současnosti je člověk málokdy v roli přímého realizátora řídicích zásahů. Většinou své požadavky reprezentující cíl řízení zadává do různě označovaných zařízení“ [6]. Ty mohou mít podobu ovladače, řídicího panelu, manipulátoru, či servomechanismu. Automatické ovládání probíhá bez zpětné vazby, takzvaným otevřeným řetězcem. Po zadání příkazu stroj provede úkon bez ohledu na aktuální stav prostředí. Stroj nemá informace o tom, zda činnost proběhla a s jakým výsledkem proběhla.

3.4.2 Automatická regulace

Automatická regulace je vyšším stupněm automatizace. Její systém tvoří uzavřený řetězec se zpětnou vazbou. Zařízení vybavená automatickou regulací nepotřebují přímou účast člověka, jsou schopna po určitou dobu pracovat samostatně. Stroji je nastavena požadovaná hodnota veličiny. Pomocí regulačního obvodu, zpětné vazby a vlastních korekcí je stroj schopen hodnotu udržovat. [3]

3.4.3 Automatické řízení

„Automatické řízení stroje je činnost, při které si stroj samočinně upravuje své nastavení, které je potřebné pro daný výrobek.“ [11] Nejde tedy pouze o automatickou regulaci, ale o řízení všech činností a systémů, které jsou nutné pro kompletní zpracování výrobku. Termín automatické řízení se používá v případech, kdy se využívají informace o vnitřních stavech zařízení, složité matematické modely a informační vazby [6].

3.5 Strojní vybavení automatické montážní linky

Montážní linky strojírenských podniků se vždy skládají z několika montážních pracovišť. Stejně je tomu i u automatické montážní linky, kde jsou manuální pracoviště nahrazeny strojními zařízeními s různým stupněm automatizace. Ve většině případů jsou automatické montážní linky vybaveny systémem, usnadňujícím transport polotovarů a výrobků. Pro přehlednost uvedu v následujících odstavcích definice strojního vybavení, ze kterého se může automatická montážní linka skládat.

3.5.1 Stroj

Strojem jsou označována technická zařízení vytvořená lidskou tvůrčí činností. Cílem stroje je nahradit, usnadnit, zrychlit, případně zpřesnit práci vykonávanou člověkem. Může jít o práci fyzickou i duševní.

„Činnost každého stroje je podmíněna přívodem energie. Část přivedené nebo naakumulované energie je při činnosti stroje přeměněna v požadovaný účinek. Stroje hnací, motory, slouží k přeměně přivedené energie, obvykle na mechanickou energii.“. Obecně je pojem stroj často chybně rozšiřován i na zařízení, která strojem nejsou – např. přístroje, či mechanismy. [12]

3.5.2 Automatický stroj

Pojmem automatický stroj jsou nazývány strojní, či technická zařízení, která vykonávají určitou část svých činností bez zásahu člověka. Jde tedy o stroje s určitou přidanou hodnotou. Ve strojírenství si pod pojmem automatický stroj představujeme jednoúčelová zařízení, která jsou konstruována pro specifický druh činností, např. určitou montážní operaci. Zdrojem energie pro automatické stroje ve strojírenství je elektrická energie, stlačený vzduch, nebo kombinace těchto zdrojů. Pro řízení svých činností jsou automatické stroje vybaveny programovatelným logickým automatem (PLC) [6].

3.5.3 Dopravníkový systém

K propojení jednotlivých montážních stanic v montážní lince slouží dopravníkový systém. Dopravníkový systém ulehčuje, případně plně nahrazuje pracovní činnosti nutné k transportu montované sestavy, či polotovarů mezi jednotlivými operacemi. Podle způsobu pohonu se dopravníky dělí na poháněné a nepoháněné. Nepoháněné dopravníky lze dále rozdělit na dopravníky s manuálním posunem a spádové (gravitační) dopravníky. Z pohledu konstrukce dělíme dopravníky na podvěsné, válečkové, pásové a řetězové. Poháněné dopravníkové systémy složitějších montážních linek jsou řešeny jako separátní automatická zařízení, která automaticky řídí pohyb polotovarů a výrobků v montážní lince [13].

3.6 Prvky pro automatizaci strojních zařízení

Stejně jako se montážní linka skládá z jednotlivých strojních zařízení, tak se i dílčí strojní zařízení skládají z různých komponent neboli prvků. Konstrukční prvky lze rozdělit podle několika hledisek. Může to být účel, který mají ve stroji mít (akční, kontrolní), nebo z pohledu využívané energie – pneumatické, elektrické, mechanické. Pokusím se rozdělit prvky podle hledisek, které využiji v praktické části práce.

3.6.1 Lineární osy

V oblasti automatizační techniky označuje termín „lineární osa“ konstrukční prvek, který zajišťuje pohyb v přímém směru. Lineární osa, ve spojení s pohonem též nazývána jednotka se skládá

z lineárního vedení a pohonu. Pro účely této práce rozdělím lineární osy podle druhu energie, která je poháněna.

Ručně poháněné osy

Pro automatizaci jakéhokoliv stroje se může zdát takto řešený pohyb jako zcela nevhodný, přesto je nutné ho zmínit. I v automatické stanici jím může být řešeno např. přeseřazení stroje. Pohyb posuvného členu je obvykle řešen pomocí pohybového šroubu doplněného buďto mechanickým, nebo i digitálním odměřováním.

Pneumatické lineární osy

Mohou být tvořeny pneumatickými válci kombinovanými s lineárním vedením, případně přímo bezpístnicovými pneumatickými válci, či přímočarými pohony. V aplikacích s elektronickým řízením jsou pneumatické prvky osazovány snímači koncových poloh. Výhody pneumatických lineárních jsou nízká pořizovací cena, jednoduchá zástavba do strojů, snadné seřizování síly a rychlosti. Předností je též vysoká spolehlivost a životnost. Nevýhodou může být spotřeba stlačeného vzduchu, chybějící možnost zastavení v jiné poloze než horní a dolní úvrať, nemožnost nastavení parametrů zrychlení a zpomalení.

Elektrické lineární osy

Ve většině případů jsou lineární elektrické osy tvořeny lineárním vedením doplněným o servomotor. Přeměna rotačního pohybu na přímočarý je řešena kuličkovým šroubem případně ozubeným řemenem. Při návrhu stroje s elektrickými osami je nutné počítat s nárůstem objemu elektrického rozvaděče, neboť každý servomotor je navázán na svoji řídicí jednotku s frekvenčním měničem. Výhodou elektrických lineárních os je široká možnost nastavení veškerých pohybových parametrů, možnost sledování a vyhodnocování zatížení a přetížení. Na opačnou stranu nevýhodou je vysoká pořizovací cena, nutnost elektrického propojení a programování.

3.6.2 Kyvné pohony

Kyvné pohony zajišťují oboustranný rotační pohyb výstupního hřídele v určitém rozsahu jedné otáčky (většinou 90°, nebo 180°). Převážně jsou poháněny pneumaticky a doplněny o snímače koncových poloh. Výhodou těchto prvků je vysoká rychlost, nízká pořizovací cena a možnost přesného nastavení koncových poloh.

3.6.3 Otočné stoly

Otočné stoly jsou schopny zajistit pohyb po kružnici. Mohou být řešeny jako pneumatické prvky s osazením senzoricou, nebo jako servopohony. Pneumatické otočné stoly mají daný počet poloh, který nelze měnit (např. 2, 4, 8 polohový), to je také jejich hlavní nevýhodou. Ostatní klady a zápory elektrických a pneumatických otočných stolů jsou shodné s lineárními osami.

3.6.4 Průmyslové roboty a manipulátory

V průmyslové výrobě jsou hojně využívána automatická zařízení, která provádí činnosti podobným způsobem jako člověk, případně jako lidská končetina. Tato zařízení jsou mnohdy chybně označována jako roboti, přestože se jedná spíše o manipulátory. Platí to zejména pro víceosé manipulátory, kterými jsou ve velkém měřítku vybaveny výrobní a montážní linky nejen v automobilovém průmyslu (Obr. 8). Jelikož hranice mezi robotem a manipulátorem je v některých případech obtížně stanovitelná, užívá se pro tato zařízení souhrnné označení „Průmyslové roboty a manipulátory“ (PRaM). Robotem jsou odbornou veřejností označovány spíše zařízení humanoidního charakteru [14]. Jelikož sami výrobci PRaM nadále označují své výrobky jako roboty, budu se v práci nadále držet zjednodušeného označení „robot“.

Počet výrobců a jejich produktů v oblasti průmyslových robotů se stále rozrůstá, což má pozitivní vliv na rozmanitost těchto zařízení. Z hlediska využití robotů při konstrukci jednoúčelového zařízení je možné průmyslové roboty rozdělit do několika skupin. Každá ze skupin má určitá specifika, která je předurčují pro určitý okruh aplikací.

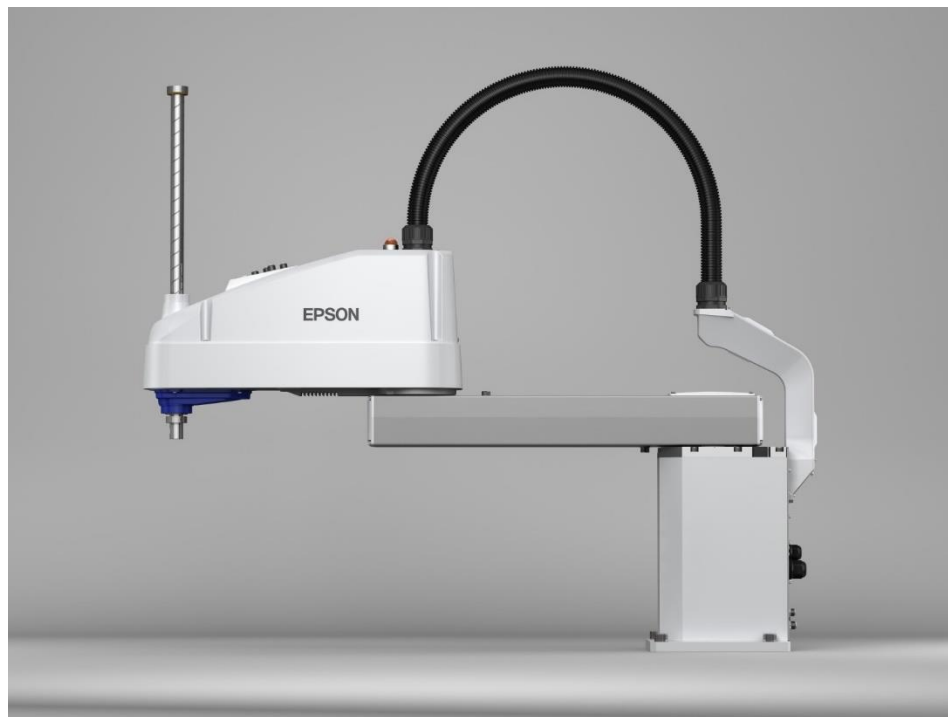


Obr. 8 - PRaM v automobilovém průmyslu [15]

4-osé roboty

4-osé roboty jsou dnes ve většině případů nazývány roboty SCARA. „SCARA je zkratka pro *selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno (Selective Compliance Articulated Robot Arm)*.” [16]. Jedním z představitelů vysokovýkonných SCARA-robotů je výrobek firmy EPSON (Obr. 9)

Hlavními výhodami těchto robotů je vysoká pracovní rychlost a výborná opakovatelnost pohybující se v řádu setin milimetru. Nevýhody jsou nižší nominální zátěž v porovnání s 6-osými roboty, obtížná až téměř nemožná manipulace v rovinách, které nejsou rovnoběžné s rovinou podstavy.



Obr. 9 - EPSON SCARA LS20 [17]

6-osé roboty

Jako 6-osé roboty jsou označovány PRaM, které mají šest stupňů volnosti. Jedním z příkladů takového zařízení je robot TX2-90 výrobce Stäubli (Obr. 10). Šestiosí roboti se vyznačují vysokou flexibilitou pohybů a vzhledem ke své složitosti i velice dobré přesnosti – např. u výše uvedeného TX2-90 výrobce zaručuje při nominálním zatížení 6 kg opakovatelnost $\pm 0,03$ mm [18]. Výhodami šestiosých robotů jsou

libovolná manipulace téměř v celém pracovním rozsahu a vyšší nominální zatížení v porovnání se 4-osými roboty. Nevýhodou ve vztahu ke 4-osým robotům je nižší rychlost manipulace a menší přesnost, respektive horší opakovatelnost.



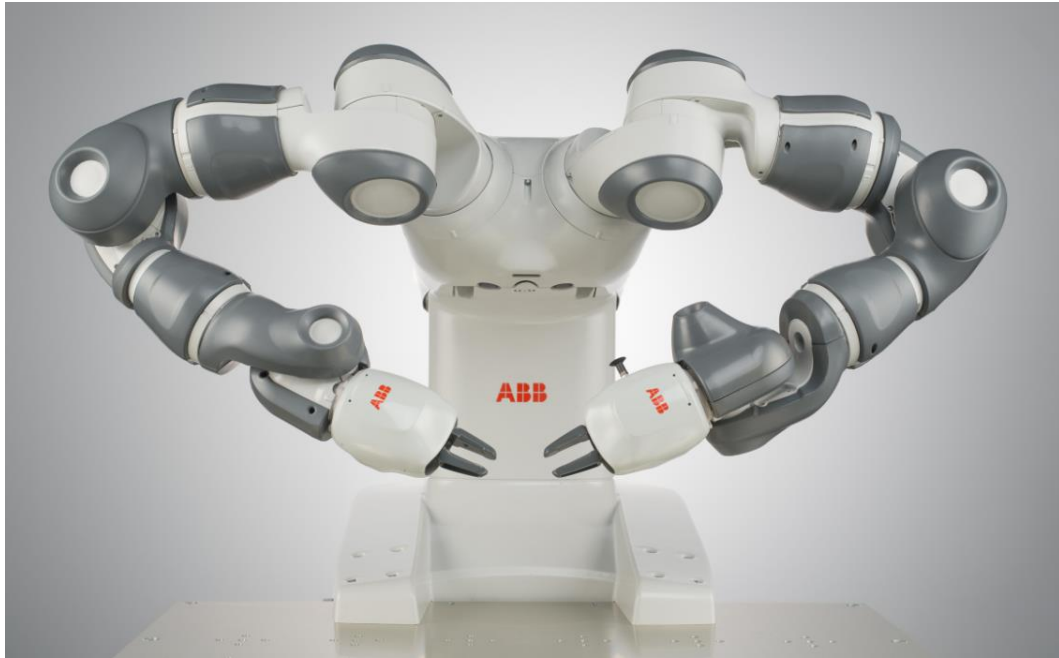
Obr. 10 - Staubli TX2-90 [18]

Kolaborativní roboti

Kolaborativní roboti, mnohdy označováni zkráceně „Koboti“, jsou zařízení, která jsou schopna spolupracovat s lidskou obsluhou bezprostředně na jednom pracovišti. Na trhu se setkáváme se dvěma druhy kolaborativních robotů.

Kolaborativní roboti konstrukčně vycházející z 6-osých robotů – tyto výrobky jsou na rozdíl od běžných šestiosých robotů vybaveny obalem hybných ramen, který reaguje na kontakt s jiným objektem. V případě kontaktu stroje s obsluhou kolaborativní robot zastaví svůj pohyb. Aby byla zajištěná dostatečná výkonnost strojů, je nutné koboty kombinovat se systémem zón pro monitorování pohybu obsluhy. Pokud je obsluha dostatečně vzdálená, může stroj pracovat na plný výkon. V případě přítomnosti obsluhy je pracovní rychlost snížena tak, aby v případě kontaktu s obsluhou byl schopen stroj okamžitě zastavit.

Speciálně vyvinutí kolaborativní roboti – jejich konstrukce je zcela nově vyvíjena přímo pro účely stálé kolaborace robota s člověkem. Příkladem je robot YUMI od firmy ABB (Obr. 11). Bezpečnost je založena na kombinaci bezpečné obálky robota, pohonů neustále vyhodnocujících přetížení a manipulaci lehkých předmětů. Tento typ robota ani v případě střetu s obsluhou nezpůsobí člověku zranění.



Obr. 11 - Robot YUMI od ABB [19]

Delta roboti

Roboti typu DELTA patří do skupiny průmyslových robotů s paralelní kinematikou. Nejmohutnější částí delta robotů je základna, která tvoří vrchní část. Na spodní straně základny jsou umístěny aktuátory. K ramenům aktuátorů jsou pomocí křížových kloubů připojeny paralelogramy, které mají za úkol udržovat stálou orientaci koncového efektoru. Jednoznačnou výhodou DELTA robotů je jejich rychlost. V ideálních podmínkách jsou schopni provést až 300 úkonů za minutu. [20]. Nevýhodou je menší pracovní rozsah, zejména v porovnání s 6-osými roboty a nižší přesnost v porovnání se 4-osými roboty. Jedním z typických představitelů robotů s paralelní kinematikou je delta robot FANUC řady M1 (Obr. 12).



Obr. 12 - Delta robot FANUC M1iA [21]

3.7 Optické systémy pro automatizaci

Pro zajištění komunikace s PLC v automatických jednoúčelových strojích jsou kromě běžných elektronických snímačů využívány stále hojněji optické systémy. Pomocí optických systémů lze získat hodnoty, které jsou jinými způsoby obtížně měřitelné, případně zcela neměřitelné. Optických systémů lze využít pro určování polohy dílců, či funkčních prvků, pro měření, nebo k zajištění bezpečnosti. Speciální skupinou optických systémů je strojové vidění, které částečně propůjčuje strojům lidský smysl – zrak.

3.7.1 Senzory

Senzory jsou jedním ze základních zdrojů informací pro řídicí jednotky automatických strojů. Na bázi optiky pracují například fotoelektrické senzory, které detekují přítomnost předmětu pomocí LED světelného zdroje. Dalším zástupcem jsou senzory s optickými vlákny nebo laserové senzory, jenž operují pomocí viditelného, zaostřeného bodu laserového paprsku. [22]

3.7.2 Měřicí senzory a systémy

Pomocí optických měřících senzorů lze získat data o vzdálenostech, rozměrech a tvarech detekovaných předmětů. Do této skupiny patří například vysoce přesné reflexní senzory pro měření vzdálenosti, nebo laserové profilometry (skenery), které jsou schopny vyhodnotit parametry ve 2D i ve 3D. Dalším

příkladem jsou optické vysokorychlostní mikrometry, které jsou schopny pracovat s rozlišením až 0,01 μm při frekvenci 2400 vzorků za sekundu [22].

3.7.3 Bezpečnostní systémy

Do skupiny optických prvků zajišťujících bezpečnost automatických zařízení patří zejména bezpečnostní světelné závory a bezpečnostní laserové skenery. Bezpečnostní optické závory pracují na principu průchodu světelného paprsku mezi zdrojem a přijímačem. V okamžiku přerušení světelného paprsku dojde k zastavení stroje, nebo omezení jeho činnosti. Bezpečnostní laserové skenery jsou postaveny na principu vysílání laserových paprsků a vyhodnocování jejich odrazu. Jejich výhodou je, že jsou schopny pokrývat určité pracovní pole a v něm vyhodnotit vzdálenost objektu. Jejich využití je zejména v kombinaci s kolaborativními robotickými systémy, kde s jejich pomocí je upravována činnost zařízení v závislosti na vzdálenosti obsluhy [22].

3.7.4 Strojové vidění

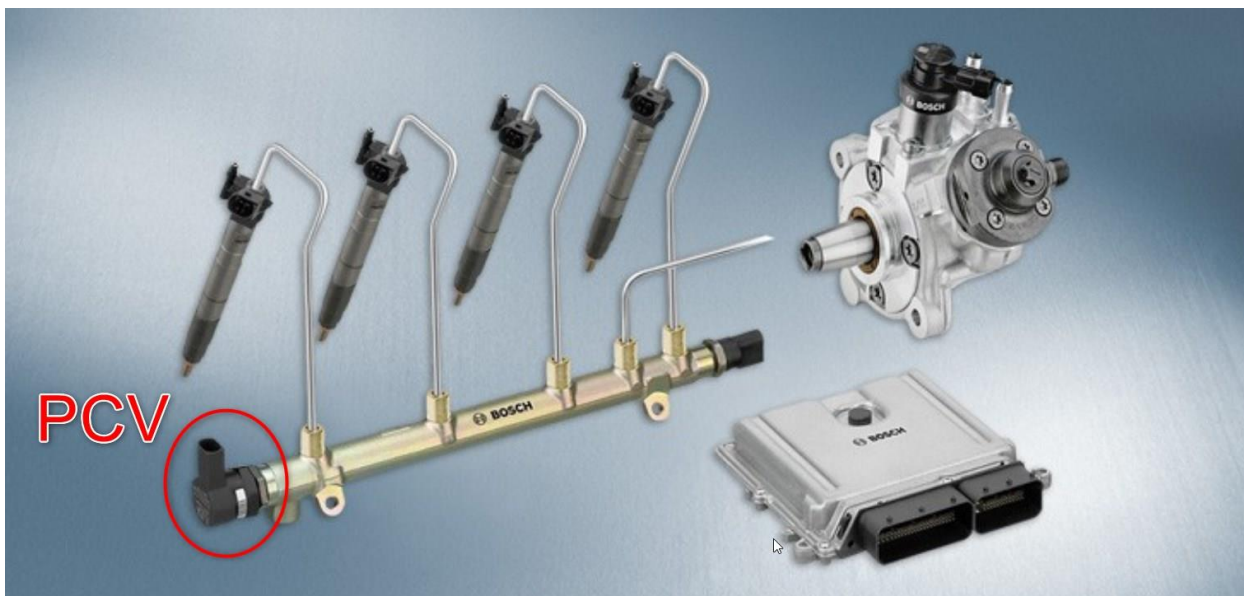
Systémy označované jako strojové vidění, pracují na principu analýzy a zpracování obrazu snímaného kamerami nebo jiným skenovacími zařízeními. Tyto systémy se rychle vyvíjí a posouvají možnosti automatizace stále kupředu. Jejich význam stoupá zejména ve spojení s robotickými manipulátory, kde se využívají k identifikaci polohy dílců [22]. Nemalý význam mají též v oblasti kontroly kvality, kde jsou využívány jako náhrada lidského zraku. V této oblasti však existují jisté nedokonalosti. Kamerové systémy nelze použít na každý druh materiálu, vadí jim nedostatečné světlo nebo naopak rušivé okolní světlo. Lidské oko, jeho adaptabilitu na okolí zatím strojové vidění není schopno plně nahradit. [9].

4 Analýza montážní linky

Na počátku kvalitního konstrukčního řešení nesmí chybět důkladný rozbor dané situace. Proto i v této práci si nejprve provedu analýzu montážní linky. Až na základě získaných údajů lze odhalit úzká místa výrobní linky, možnosti zrychlení a v mém případě také potenciály na automatizaci montážních pracovišť. V rozboru přiblížím vyráběný produkt, výrobní linku a objemy její produkce. Analýza montážní linky bude zakončena popisem pracovišť vhodných pro automatizaci.

4.1 Základní informace o výrobku PCV

Regulační ventil PCV (Pressure Control Valve) je jedním z komponent vysokotlakého vstřikovacího systému Common-Rail společnosti Robert Bosch GmbH (Obr. 13). Tento vysokotlaký systém zkonstruovaný koncem minulého století firmou Bosch slouží pro přípravu a vstřikování paliva do dieselových motorů osobních a nákladních automobilů.



Obr. 13 - Common Rail system Bosch [23]

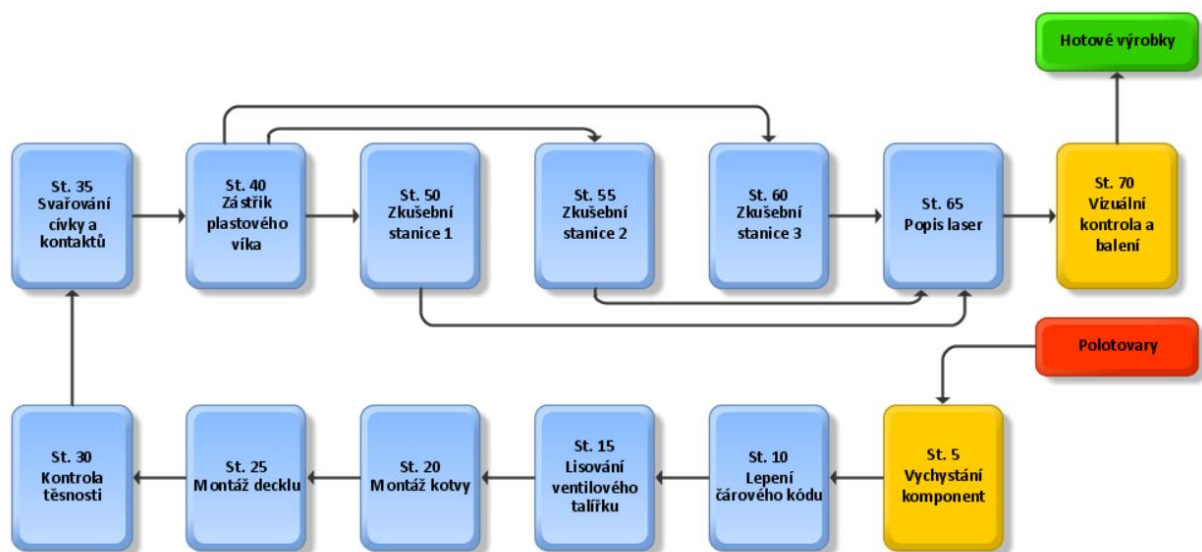
Vstřikovací systém se skládá ze čtyř hlavních komponent – z vysokotlakého čerpadla, zásobník tlaku (railu), vstřikovačů a řídicí jednotky. Regulační ventil PCV je ve většině případů namontován na zásobníku tlaku a podle pokynů řídicí jednotky upravuje požadovaný tlak ve vysokotlaké soustavě. Přebytečné palivo je odváděno zpět do palivové nádrže. Hodnoty tlaku paliva ve vysokotlaké části se různí dle zákaznických požadavků, pohybují se v hodnotách mezi 2000 až 2500 bar [24].

Vlastní ventil se skládá z několika komponent, které budou popsány v kapitolách níže. Ocelové dílce jsou velice přesné, montážní vůle se pohybuje v řádu několika μm . Z toho důvodu je na montážní lince požadována stabilní teplota, nízká vlhkost a minimální prašnost.

4.2 Aktuální stav montážní linky PCV

Montážní linka PCV je dlouhodobě plně vytížená, pracuje se zde ve 3 směnném provozu s osmi hodinovou pracovní dobou. Výrobní takt – čas výroby jednoho PCV je v současné době 17,5 s. Vzhledem k plné vytíženosti montážní linky není možné aktuální výrobní čas prodloužit. Záměr výrobního oddělení je navýšení tržeb z výrobku. Jednou z cest, jak toho lze dosáhnout, je pokročit dále v automatizaci linky. V případě plné automatizace některého z ručních pracovišť by došlo k úspoře na nákladech za tři pracovníky (1 montážní pracovník x 3 pracovní směny).

Montážní linka PCV se skládá z jedenácti automatických montážních a zkušebních stanic a dvou ručních pracovišť, aktuální layout montážní linky s naznačeným výrobním tokem je na Obr. 14. Automatické stanice jsou označeny modře, pracoviště s manuální obsluhou jsou označeny žlutě. Manuální pracoviště jsou v současné době situována pouze na začátku a na konci výrobního toku.

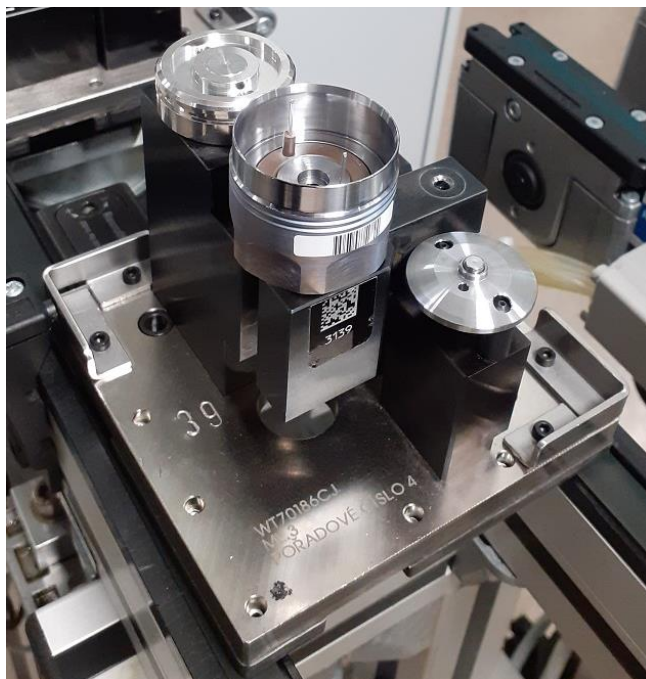


Obr. 14 - Layout linky a naznačený výrobní tok

Všechny montážní stanice jsou propojeny poháněným pásovým dopravníkem. Pohyb dílce je řešen pomocí 50 montážních paletek (Obr. 15). Montážní paletka je navržena takovým způsobem, aby na ni byla vychystána část komponent a zároveň, aby mohl výrobek projít celým výrobním procesem.

Pro plnou automatizaci montážní linky se tedy nabízí k přestavbě dvě ruční pracoviště.

1. Stanice č. 5 – Vychystání komponent
2. Stanice č. 70 – Vizualní kontrola a balení



Obr. 15 - Montážní paletka s dílci

Pro stanovení dalších možností automatizace montážní linky je třeba získat více informací o dotčených pracovních uzlech. Ideální způsob, jak toho docílit, je zpracování detailnějších analýz stanice číslo 5 a stanice číslo 70.

4.3 Analýza stanice číslo 5 - Vychystání komponent

Stanice číslo 5 - Vychystání komponent (Obr. 16) se nachází na začátku výrobního toku montážní linky PCV. Pracoviště je koncipováno jako manuální. Pracovník má za úkol narovnat na montážní paletku pět základních komponent PCV. Těleso, cívku, talířek ventilu, krytku a kotvu (viz Tab. 1). Dílce se usazují do přesně stanovených pozic, určených naváděcími trny a otvory v montážní paletce. Těleso PCV a cívku je nutno nejprve zkompletovat a až následně zapolohovat do montážní paletky. Podstatné je správné

natočení tělesa vzhledem k vlastní ose. Správná poloha je stanovena pracovní návodkou a je závislá na bezchybné práci obsluhy. Špatná poloha či orientace polotovarů na montážní paletce by způsobila zastavení procesu kompletace v následných automatických stanicích.



Obr. 16 - Stanice číslo 5

Doplňování materiálu do stanice číslo 5 zajišťuje manipulant. Přísun materiálu je realizován ze zadní strany stanice, aby neomezoval obsluhu v pracovní činnosti.

Rozhodnutí: Stanice číslo 5 má potenciál na plnou automatizaci.

Z výsledků analýzy je patrné, že bude možné zkonstruovat zařízení, které ulehčí práci obsluze, nebo obsluhu plně nahradí.

4.4 Analýza stanice číslo 70 - Vizuální kontrola a balení

Stanice číslo 70 (Obr. 17) je umístěna na konci montážní linky. Úkolem obsluhy je odebrat hotový dílec z montážní paletky, provedení optické kontroly (zejména v oblasti plastového zástřiku) a uložení výrobku do zákaznického balení – modré plastové bedny. Prázdné i plné bedny s hotovými výrobky jsou uloženy na Europaletách. Manipulace s bednami je v pracovní náplni obsluhy, odvoz europalet zajišťuje manipulát.



Obr. 17 - Stanice číslo 70

V rámci přípravy projektu byly uskutečněny předrealizační schůzky a testy kamerového systému. Do posouzení byli zainteresováni jak zástupci výrobního úseku, tak zástupci technických úseků, kteří by se na realizaci podíleli. V rámci prošetření byly zjištěny tyto překážky pro realizaci:

- Vizuální kontrola kvality zástřiku pomocí kamerových systémů se podle předběžných testů nejevila stabilně, rozlišení dobrých a špatných výrobků nebylo spolehlivé.
- V případě automatizace by byl zapotřebí velký zástavbový prostor na manipulátory, které by rovnaly zákaznická balení na europalety
- Oplocení, které by bylo nutné udělat kolem automatizovaného pracoviště, by zamezovalo v průchodu dveřmi, které slouží také jako nouzový východ.

Rozhodnutí: Stanice číslo 70 je vyloučeno z plánu automatizace

Z výsledků analýzy vyplývá, že případné automatické zařízení by nebylo schopné dostatečně zastoupit schopnosti lidské obsluhy. Jako další problém se jeví nedostatek místa pro zástavbu automatického zařízení.

5 Návrh automatizace montážní linky

Po analýze výrobní linky, která je zpracována v předchozí kapitole, se mohu přesunout k vlastnímu návrhu automatizace. Rozpracování návrhu je zapotřebí k ověření možnosti realizace automatizace. Na základě návrhů je možné zkalkulovat pořizovací cenu zařízení. Z prošetření aktuální situace vyplývá, že k dalšímu rozpracování je vhodná pouze stanice číslo 5 – vychystání komponent. Činnosti prováděné fyzickou obsluhou na této stanici nevyžadují speciálních znalostí, či dovedností. V podstatě jde „pouze“ o přemístění dílců ze zásobovacích paletků na montážní paletku. K těmto činnostem obsluha využívá zejména zrak a hmat. Zde už lze vytušit nové výzvy. Tyto vlastnosti nejsou pro stroje tak samozřejmé, jako pro člověka. Při konstrukčním návrhu bude nutné zrak a hmat nahradit jinou strojní technologií. Nebudou to však jediné parametry, které je třeba zohlednit. Abych získal komplexní pohled na složky, jež ovlivní konstrukci stroje, je nutné vytvořit přehled vstupních podmínek pro automatizaci stanice číslo 5. Vstupní podmínky je pak třeba zohledňovat po celou dobu navrhování a posléze i v případě realizace zařízení.

5.1 Podmínky automatizace stanice číslo 5.

Konstrukční návrh automatické stanice je již od počátku ovlivněn několika aspekty, které je nutné zohlednit. Ze základních podmínek jde především o pracovní prostředí, do kterého je zařízení navrhováno, celkové rozměry budoucího stroje, tvar a velikost manipulovaných komponent, možnost jejich uchopení a způsob jejich balení, respektive uložení na vstupu do stanice. Dalšími záležitostmi, které nelze opomenout je dostupnost energetických přípojek, konstrukční zvyklosti pro daný výrobní úsek a ohled k životnímu prostředí. Podmínky pro automatizaci stanice číslo 5 jsou znázorněny na Obr. 18.



Obr. 18 - Podmínky automatizace

V následujících odstavcích rozeberu podrobněji jednotlivé podmínky automatizace stanice číslo 5 a přiblížím jejich konkrétní význam pro finální konstrukční návrh.

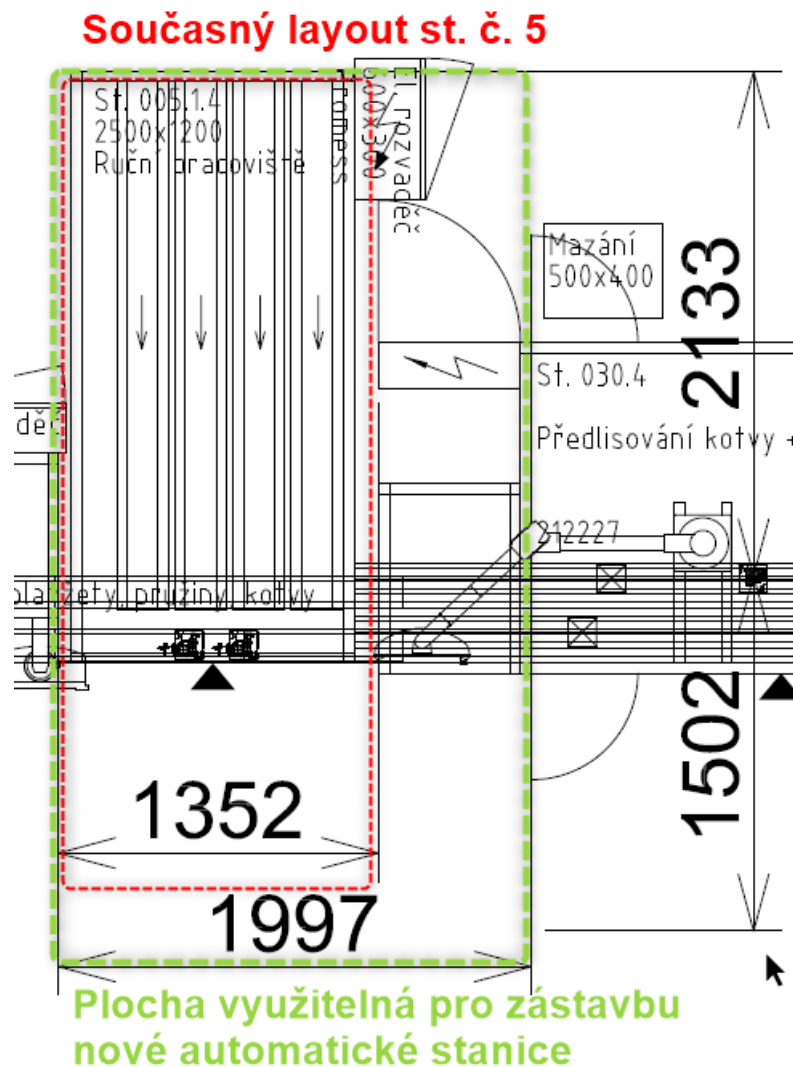
Posuzovaná montážní linka se nachází ve firmě Bosch Diesel, s.r.o. Některé údaje, které mají souvislost s hospodařením firmy, jsou záměrně zkresleny. Na výsledek práce tato skutečnost nemá vliv, neboť posun hodnot byl proveden ve stejném poměru.

5.1.1 Pracovní prostředí

Montážní linka, pro kterou je nová stanice zamýšlena, se nachází v klimatizovaném prostoru výrobního závodu. Teplota je udržována na hodnotě 21 stupňů celsia a vlhkost vzduchu nepřekračuje hodnotu 40 %. Prostředí je nazýváno jako bezprašné. Je kladen zvýšený důraz na zamezení vnikání prachových částic do montovaných výrobků. Všechny automatizované stroje jsou opatřeny krytováním z čirého polykarbonátu. Krytování tak plní nejen bezpečnostní funkci, ale zamezuje též vnikání prachových částic do pracovního prostoru strojů.

5.1.2 Celkové rozměry stanice

Novou stanicí je nutno zrealizovat ve stejně velkém prostoru, jaký je vymezen stávajícímu manuálnímu pracovišti. Do šířky lze půdorysné rozměry zvětšit pouze v případě přemístění rozvaděče sousední stanice. Vzhledem k předpokládané komplikovanosti stanice bude využit i tento prostor. Půdorysná vizualizace viz Obr. 19. Červeně ohraničený prostor znázorňuje aktuální půdorys stanice č. 5. Zeleně vymezený prostor pak možnou zástavbovou plochu.

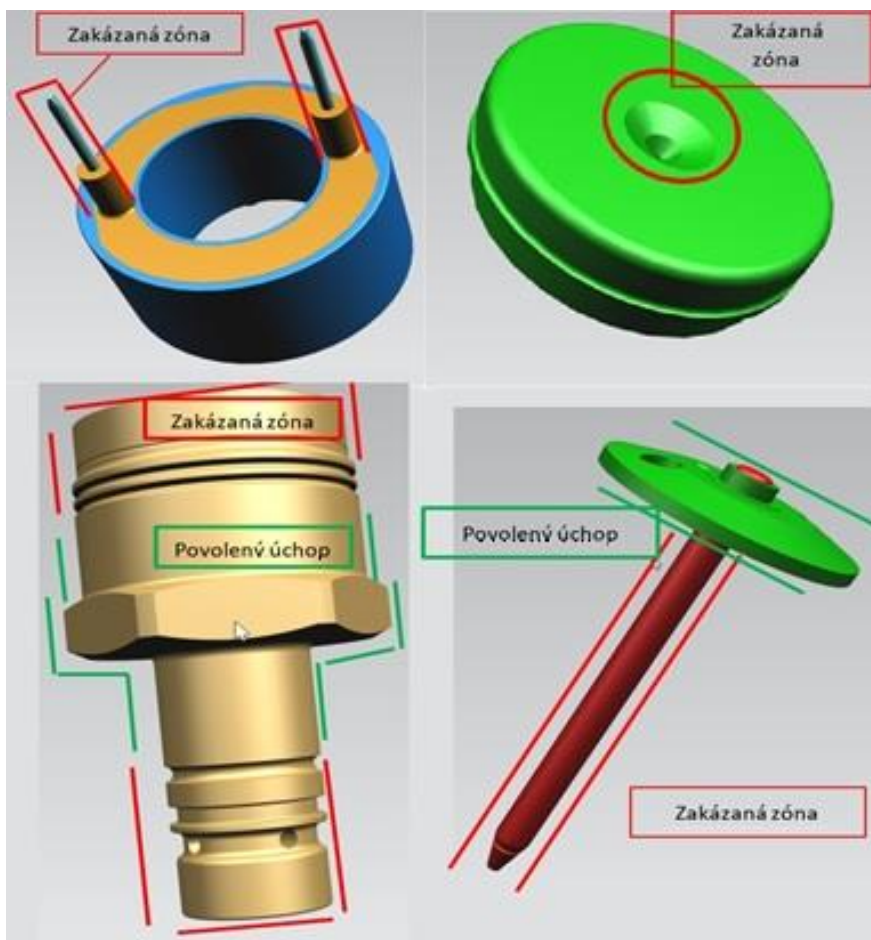


Obr. 19 - Využitelný půdorys [25]

Maximální výška zařízení je dána umístěním centrálních rozvodů médií, které se nachází ve výšce 2600 mm. Pro možnost nadzvednutí při stěhování byla nepřekročitelná výška stanice stanovena na 2500 mm. Maximální šířka vychází z výše uvedené půdorysné situace a je stanovena na 1990 mm. Celková hloubka zařízení může být až 3600 mm, ale je nutné dodržet polohu stanice vůči dopravníkovému systému, tzn. rozměr od přední hrany stanice po zadní stěnu druhé poháněné dráhy 1502 mm, respektive 2133 mm od hrany dopravníku po zadní část stanice.

5.1.3 Možnosti uchopení dílců

Jedním ze základních požadavků pro manipulaci s dílci je jejich nulové poškození. Aby se zamezilo případnému poškození funkčních ploch, byly vymezeny na součástkách zóny, za které je uchopení vysloveně zakázáno (Obr. 20). Jedním z důvodů, proč u některých ploch je udělen takto striktní zásah, je skutečnost, že během kompletace již není možné tyto funkční plochy kontrolovat.





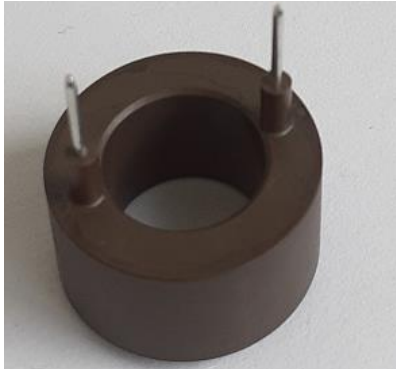
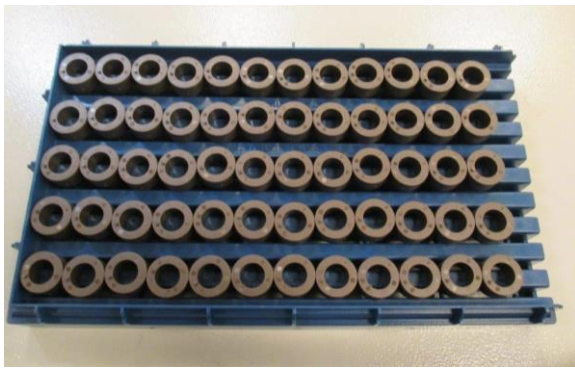
Obr. 20 - Zakázané zóny úchopu







Při konstrukčním návrhu stanice je nutné vyhnout se těmto zakázaným zónám úchopu a eliminovat tak vznik případných vadných výrobků.

5.1.4 Balení dílů na vstupu

Dalším důležitým hlediskem pro konstrukční návrh stanice je způsob dopravy dílů do stanice, tvar paletků, rozměry a způsob uložení dílců. Většina polotovarů, se kterými se ve stanici číslo 5 manipuluje, je uložena na kovových paletkách. Na plastových paletkách jsou uloženy pouze cívky, které jsou takto expedovány přímo od dodavatele. Kovové paletky se používají v přípravě výroby, kde jsou dílce čištěny v průmyslových pračkách. Na formátu paletek není možné nic měnit, případná úprava by znamenala náročné změny buď u dodavatele, nebo v přípravě výroby (např. další přerovnávání). Fotografie dílců a způsob jejich uložení v paletkách je dobře patrný v Tab. 1 - Dílce a jejich uložení

Tab. 1 - Dílce a jejich uložení

Dílec	Způsob uložení
<p data-bbox="430 976 511 1003">Těleso</p> 	<p data-bbox="966 976 1177 1003">Prací koš s 25 dílci</p> 
<p data-bbox="438 1438 503 1465">Cívka</p> 	<p data-bbox="925 1438 1226 1465">Plastová paletka s 60 dílci</p> 

<p style="text-align: center;">Kotva</p> 	<p style="text-align: center;">Prací koš s 50 dílci</p> 
<p style="text-align: center;">Víko</p> 	<p style="text-align: center;">Prací koš s 50 dílci</p> 
<p style="text-align: center;">Ventilek</p> 	<p style="text-align: center;">Prací koš s 50 dílci</p> 

5.1.5 Požadovaný výrobní takt stanice

Aktuální takt montážní linky je 17,5 s/ks. Stanice číslo 5 není nejužším místem linky, čili není nejpomalejší stanicí. Je ale stanicí první, to znamená, že musí být schopna dokrýt případný výpadek na montážní lince, aktuální takt stanice je tedy nutné zachovat. Pro stanovení aktuálního taktu stanice číslo 5 bylo nutné provést přímé měření. Z výsledků měření byl vypočítán průměrný takt manuální stanice na 16,2 s/ks. S touto hodnotou budu pracovat ve výpočtové části.

5.1.6 Zvyklosti v používaných stavebních prvcích

Při konstrukci každého zařízení je nutné kromě ohledu na co nejnižší pořizovací cenu a spotřebu energií zohlednit také požadavky na životnost zařízení a na náklady spojené s údržbou.

Životnost zařízení je z velké části ovlivněna použitím stavebních prvků. Pro konstrukci zařízení v naší firmě jsou využívány výhradně komponenty renomovaných značek, se kterými jsou dlouholeté dobré zkušenosti, zejména s ohledem na životnost a spolehlivost. V oblasti pneumatických prvků jde zejména o firmy Festo, SMC nebo Aventics, v oblasti elektro dílů se jedná o firmy Siemens a Wago. Mechanické stavební prvky jsou z velké části pořizovány v rámci skupiny Bosch, tedy od firmy Bosch Rexroth.

Náklady na údržbu jsou ve velkých firmách také posuzovány z pohledu velikosti sortimentu náhradních dílů. Pro zajištění rychlé opravy strojů je velké množství komponent skladováno přímo ve firmě. Tyto skladové zásoby samozřejmě také stojí určitou sumu finančních prostředků, a proto je snaha o co nejmenší rozšiřování těchto zásob. Při konstrukci zařízení je tedy vhodné v co největší míře využívat stavebních prvků, které jsou již ve firmě známé.

5.1.7 Energetické přípojky

Dalším z parametrů, který ovlivňuje možnosti konstruktéra, je dostupnost energetických přípojek. V místě zástavby stroje jsou dostupné tyto centrální rozvody:

- Elektrický rozvod 400 V
- Rozvod stlačeného vzduchu 6 bar
- Rozvod stlačeného vzduchu 10 bar
- Centrální odsávání

Kapacity všech energetických přípojek jsou dostatečně dimenzovány. Návrh nového zařízení není jejich kapacitami nijak omezen. Neznamená to však, že není třeba brát ohled na energetickou spotřebu jednotlivých prvků. Součet spotřeb jednotlivých prvků udává celkovou energetickou spotřebu stroje, která pak ovlivňuje jak ekonomickou návratnost zařízení, tak i jeho vliv na životní prostředí.

5.1.8 Ohled k životnímu prostředí (nebo Environmentální ohleduplnost)

Tlak na snižování emisí, především pak CO₂ má vliv prakticky na všechna průmyslová odvětví, automobilový průmysl pak obzvlášť. Každé strojní zařízení spotřebovává energii (elektrickou, stlačený

vzduch) při jejíž produkci se zatěžuje ovzduší emisemi, ať už přímo či nepřímo. Z toho vyplývá, že nižší spotřeba energie znamená i nižší emise. Při konstrukci zařízení je tedy třeba brát ohled na spotřebu energií u všech stavebních prvků. Stavební prvky je nutné vhodně dimenzovat. Platí to jak pro elektromotory, tak pro pneumatické prvky. Zbytečně předimenzovaný pohon může mít i několikanásobně vyšší spotřebu energie, než je nezbytně nutné.

5.2 Návrh 1 - Dílčí automatizace - manipulace s koši

V momentě, kdy jsou vyjasněny veškeré podmínky pro automatizaci stanice číslo 5, lze přistoupit k vlastnímu návrhu automatického zařízení. V prvním návrhu se nebude jednat o kompletní automatizaci pracoviště, ale pouze o automatizaci částečnou. Jejím cílem je uspořit pracovníkovi čas, který pak může být využit k navýšení výkonu, tedy ke zrychlení výrobního taktu stanice. Jelikož pohyby pracovníka již zrychlit nelze, tak jedinou činností, kde lze nalézt časovou úsporu, je odstranění manipulace s plnými a prázdnými pracími koši a dodavatelskou paletkou.

5.2.1 Polotovary na vstupu do stanice

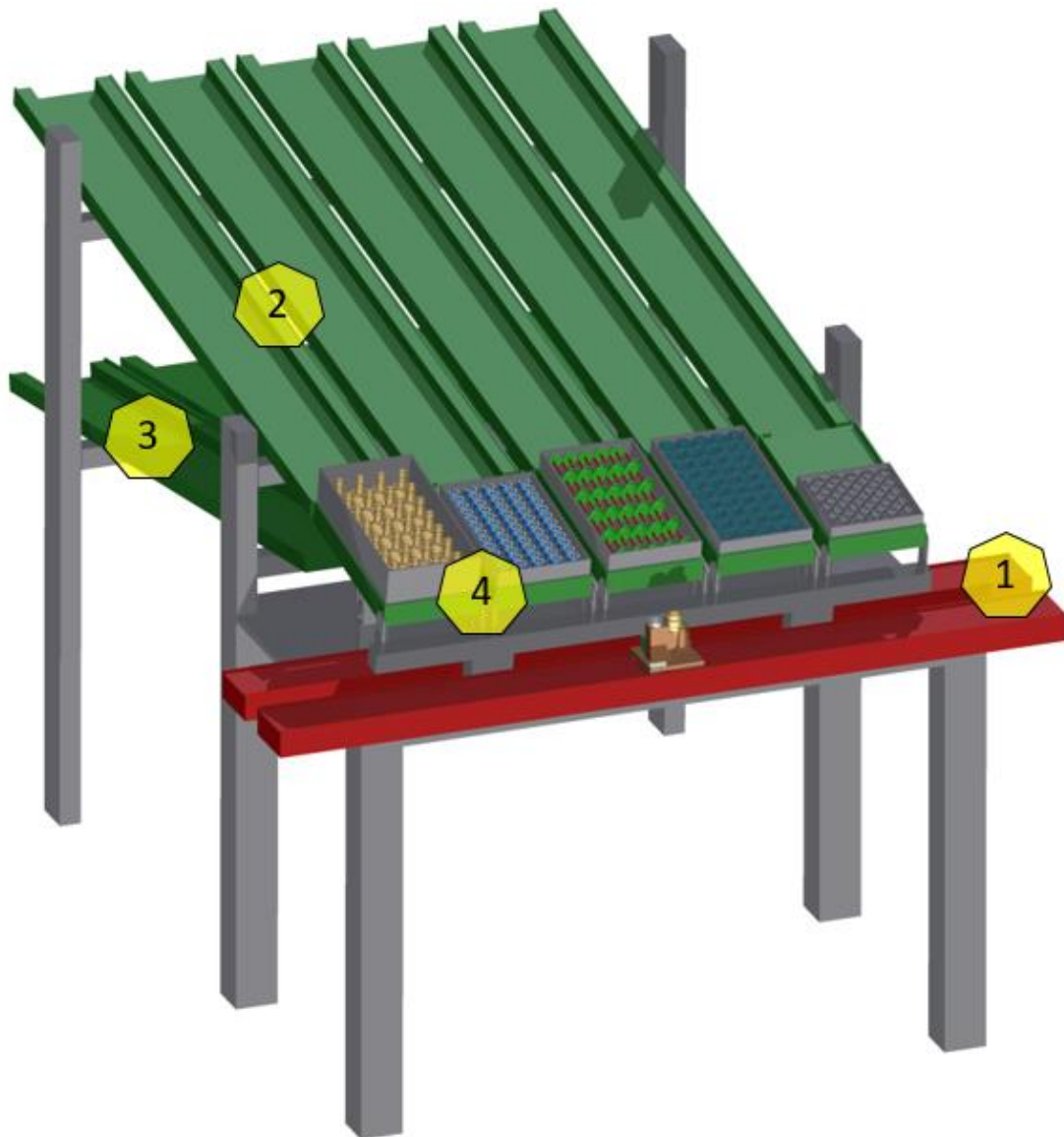
Systém gravitačních rolnových dopravníků bude z větší části zachován, dojde pouze k úpravě rozmístění jednotlivých drah. Z důvodu automatizace odjíždění pracích košů musí být zrušena možnost jejich stohování, to se negativně projeví ve snížení zásoby polotovarů.

5.2.2 Návrh řešení

Na konce spádových drah směrem k obsluze budou doplněny krátké dopravníky, které budou sklopné. Do vrchních rolnových drah je zapotřebí doplnit pneumaticky ovládané zarážky, které budou řídit pohyb fronty. Naklápění krátkých dopravníků mezi horní a spodní dráhou zajistí příjezd plného a odjetí prázdného koše. Stanici bude nutno vybavit pneu-komponenty, elektro-komponenty a jednoduchým PLC. Ovládání bude řešeno elektropneumaticky, pokyn k výměně prázdného koše za plný udělí obsluha tlačítkem. Pro každou dráhu je nutné jedno tlačítko. Pokyn dává obsluha v momentě vyprázdnění pracího koše. Odjezd prázdného koše a najezení plného je realizováno automaticky.

5.2.3 Konstrukční návrh

Vlastní konstrukční řešení návrhu 1 jsem zpracoval na základě výše uvedeného rozboru. V modelu je červeně zvýrazněn stávající dopravníkový systém pro montážní paletky (Obr. 21, bod 1). Zeleně jsou vybarveny dráhy pro vstup (Obr. 21, bod 2) a odjezd (Obr. 21, bod 3) prací košů. Prací koše umístěné na krátkých sklopných dopravnících jsou patrné na Obr. 21, bod 4.



Obr. 21 - Návrh 1

5.3 Návrh 2 - Automat s lineárními osami

Pro novou stanici bude využita obdobná koncepce, jako u jiných strojů v montážní lince. Rám stanice budou tvořit stavebnicové duralové profily Bosch, stolová deska z korozivzdorné oceli, krytování pracovního prostoru čirým polykarbonátem. Pro první návrh automatického zařízení byl zvolen způsob manipulace s dílci pomocí lineárních jednotek. Tento způsob se jeví jako konstrukčně nejsnazší a nejjistější pro dosažení požadovaného taktu stroje.

5.3.1 Polotovary na vstupu do stanice

Díly budou do automatické stanice vstupovat obdobným způsobem, jako je tomu v současnosti. Zachován zůstává způsob uložení dílců a shodné bude i zásobování za pomoci rolnových drah. Z důvodu automatizace stanice bude nutné upravit koncové polohy pro odebírání dílců, zejména doplnit sklopnou část pro příjezd a odjezd pracích košů. S tím souvisí doplnění ovládaných zarážek a snímačů fronty. Nebude možné stohování košů a paletek na rolnových drahách. Vzhledem k omezené šířce stanice a potřebě místa pro elektrické osy je nutné všechny prací koše vkládat do spádových drah úzkou stranou dopředu, to se bohužel negativně projeví na snížení zásoby dílců. Rozměry pracích košů a součty jejich rozměrů viz Tab. 2.

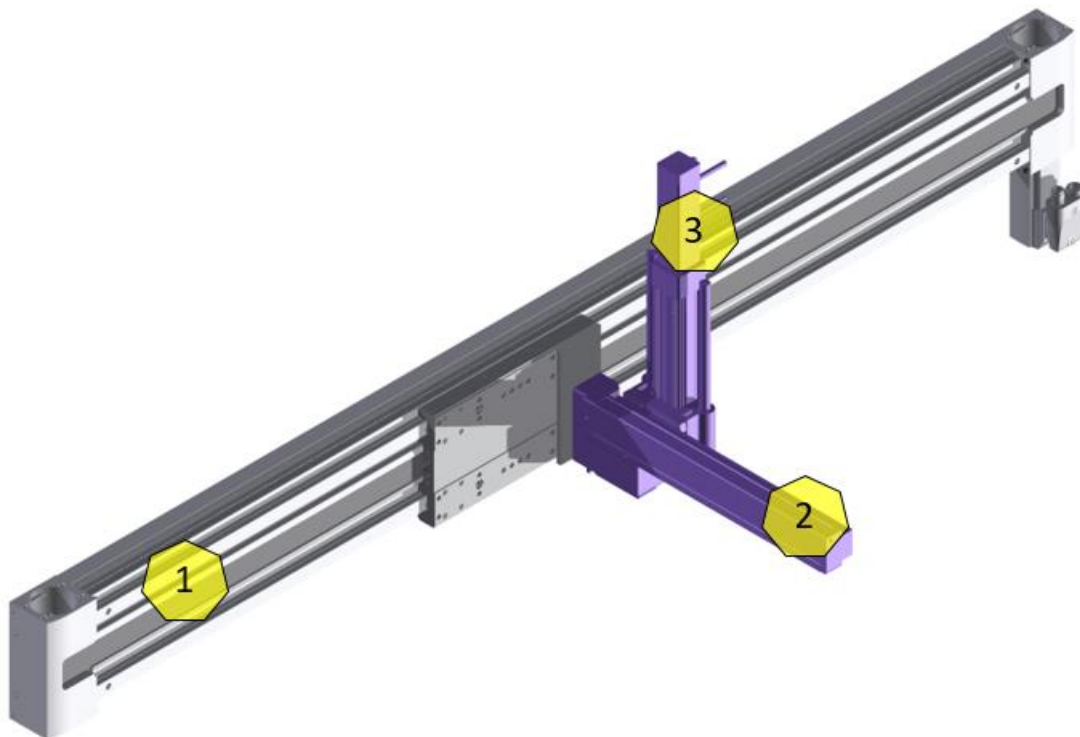
Tab. 2 - Rozměry pracích košů

Dílec	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]
Ventilek	200	200	35
Víko	400	200	40
Kotva	400	200	50
Cívka	400	200	47
Těleso	380	200	90
Celkem	1780	1000	

5.3.2 Lineární osy

Po nalezení vhodného uspořádání dopravníků se vstupním materiálem lze přistoupit k výběru elektromechanických pohonů. Aby pohony pokryly celý požadovaný prostor, je třeba zvolit trojrozměrný systém složený ze tří lineárních servo-os. Hlavní osa „x“ byla zvolena zesílená s dvojitým

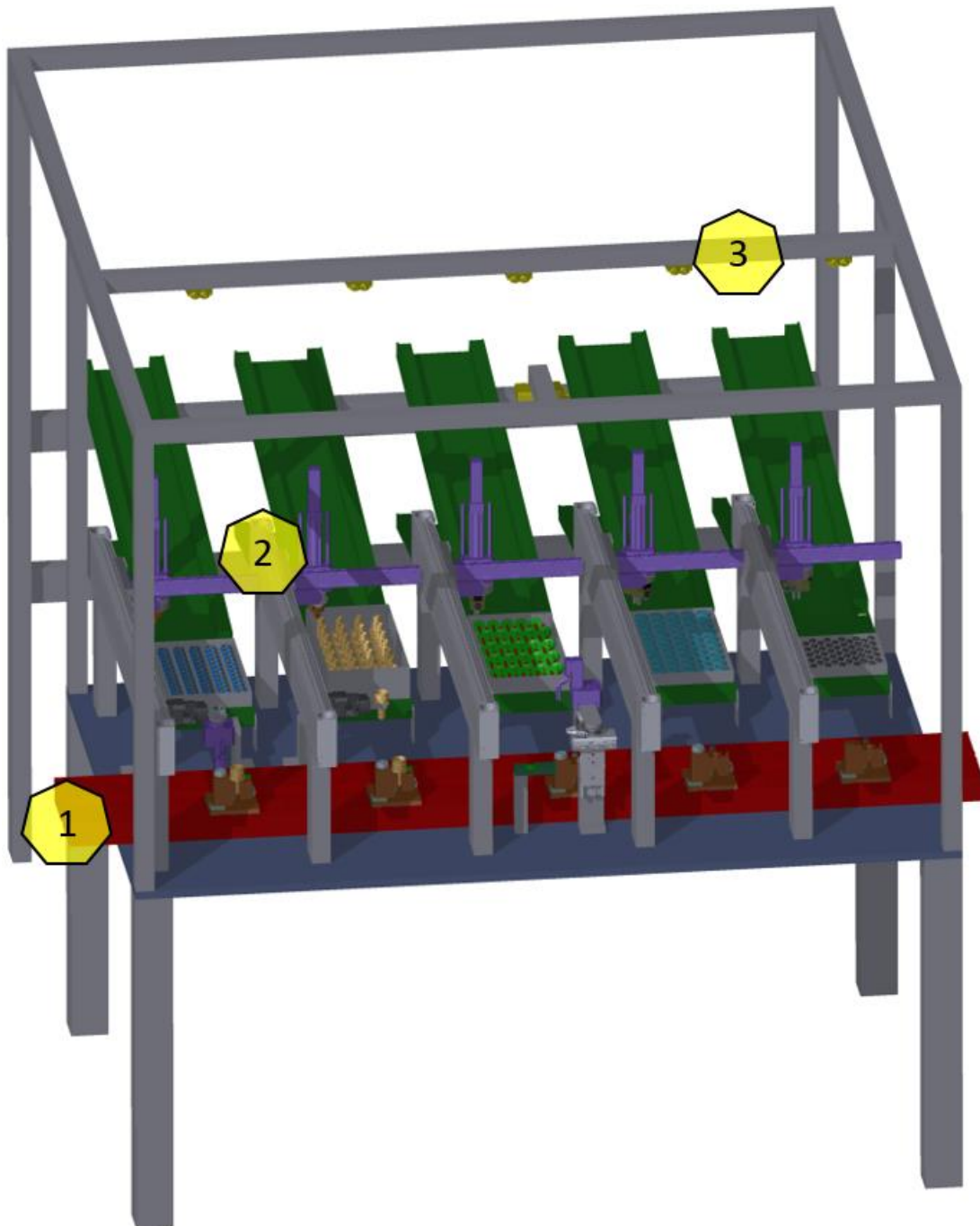
vedením (Obr. 22, bod 1), přenos momentu pomocí ozubeného řemene. Kolmá osa „y“ (Obr. 22, bod 2) a svislá osa „z“ (Obr. 22, bod 3) jsou subtilnější jednotky s přenosem momentu pomocí kuličkového vřetene.



Obr. 22 - Sestava lineárních jednotek

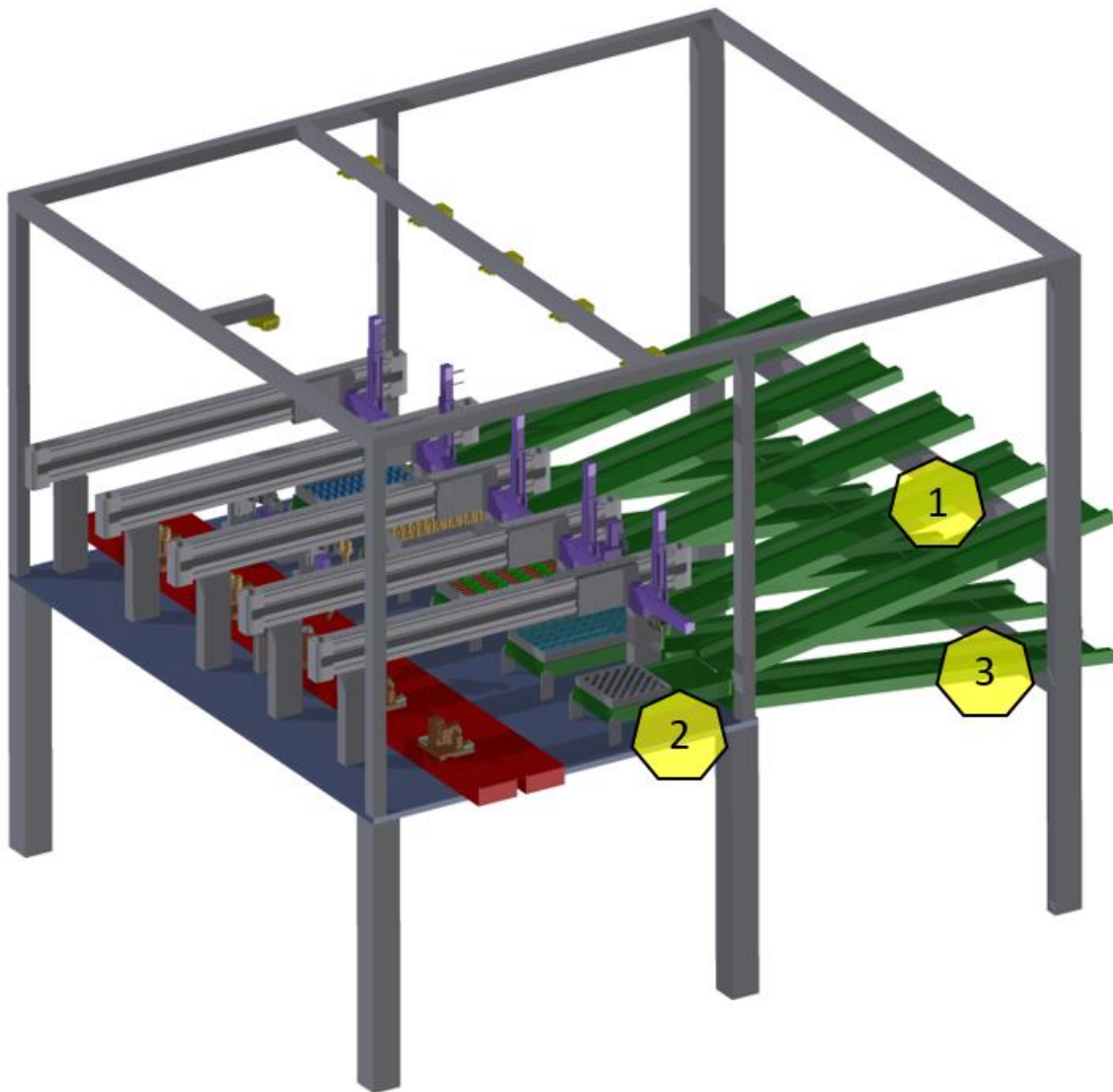
5.3.3 Konstrukční návrh automatu s lineárními osami

Celkový konstrukční návrh automatu s lineárními osami využívá maximální možnou šířku nového pracoviště. Základní deska stanice má rozměry 1990 x 1300 x 20 mm. Na desce jsou umístěny dráhy stávajícího dopravníkového systému montážní linky (Obr. 23, bod 1), sestavy elektrických lineárních jednotek (Obr. 23, bod 2), sklopné dopravníky pro prací koše a další pomocné sestavy pro manipulaci. Na rámu stanice z duralových profilů jsou umístěny kamery (Obr. 23, bod 3), které slouží k určování poloh komponent v pracích koších.



Obr. 23 - Návrh 2, čelní pohled

Spádové dráhy pro přísun (Obr. 24, bod 1) materiálu jsou vybaveny ovládanými zarážkami a v prostoru stanice ústí na sklopné, tří-polohové dráhy (Obr. 24, bod 2). Na sklopných drahách jsou prací koše s polotovary. Manipulace s dílci probíhá ve vodorovné poloze. Po vyprázdnění pracího koše se dráha sklopí do úhlu spodní rolnové dráhy (Obr. 24, bod 3), která slouží pro odjezd prázdných košů.



Obr. 24 - Návrh 2, boční pohled

Polotovary jsou pomocí soustav lineárních jednotek s chapadly přemísťovány na montážní paletky, které jsou při pracovním cyklu aretovány na hlavním dopravníku. Každý polotovar má vlastní sestavu lineárních jednotek a vlastní pozici paletky na hlavním dopravníku.

5.4 Návrh 3 - Automatizace pomocí robotů

V kapitole 5.1 jsem probral jednotlivé podmínky pro automatizaci stanice číslo 5. V podkapitole 5.1.6 je uvedeno, že návrh zařízení může být ovlivněn zvyklostmi daného výrobního úseku. Je to i případ třetího návrhu automatického stroje. Na montážní lince jsou v současné době již tři automatická pracoviště

vybavena roboty Stäubli. Ve dvou automatických stanicích pracují 6-ti osí roboti, jedna stanice využívá robotů 4-osých. Automatizace těchto stanic proběhla v nedávné době a velice se osvědčila. Z tohoto důvodu je jako třetí možné řešení zvolena automatizace stanice číslo 5 pomocí robotů.

5.4.1 Výběr vhodného robota

Před výběrem vhodného robota je nutné nejprve určit, co bude jeho úkolem a jaké jsou požadavky na jeho činnost. Stěžejní kritéria jsou kromě pracovního rozsahu, možného zatížení a dosahovaných rychlostí také požadavky na případnou kolaboraci s obsluhou či požadavky na čistotu pracovního prostředí, v němž má robot pracovat. Přehled základních požadavků na robota vhodného k zástavbě je uveden v Tab. 3

Tab. 3 - Požadavky na robota

Požadavky	Hodnota	Poznámka
Nominální zatížení	Min. 1 kg	Hmotnost nejtěžšího dílce je 180 g, předpokládaná hmotnost efektoru je 600 g, rezerva 25 %
Počet stupňů volnosti	4 stupně	Zařízení bude možné koncipovat tak, že 4 stupně volnosti robota budou dostačující
Pracovní rozsah	r = min. 750 mm, v = min. 175 mm	Uvažovaný pracovní prostor má půdorysnou plochu 1200 x 1800 mm, r=750 mm je poloměr dvou opsaných kružnic v = 2 x výška tělesa + rezerva 25 %
Kolaborace	Není třeba	Stanice bude vybavena krytováním
Pracovní prostředí	Automobilový průmysl	Není třeba robota s vyšším stupněm ochrany

Podle kritérií z výše uvedené tabulky byl jako nejvhodnější výrobek zvolen robot SCARA typového označení TS2-80 výrobce STÄUBLI. Z poznámky u pracovního rozsahu je patrné, že pro pokrytí pracovní plochy bylo třeba dvou kružnic. Do automatické stanice bude proto nutné zabudovat 2 roboty. Řešení s dvěma roboty bude vhodné i vzhledem k bezpečnému dosažení pracovního taktu stroje.

5.4.2 Polotovary na vstupu do stanice

Do automatické stanice s roboty budou vstupovat díly téměř shodným způsobem, jako je tomu v návrhu číslo 2. Stejně je i řešení příjezdu a odjezdu pracích košů. Rozdílná je orientace pracích košů.

Díky chybějícím hlavním lineárním osám je možné lépe využít pracovní prostor stanice. Prací koše je možné orientovat delší stranou směrem do stanice. Tímto řešením se zvýší zásoba většiny komponent na téměř dvojnásobek. Stohování košů není možné ani v této variantě.

5.4.3 Efektory

Jedním z nejdůležitějších kroků na počátku konstrukčního zpracování robotického zařízení je návrh efektoru. Efektor je jediným spojením mezi robotem a manipulovanou součástí. Vhodnou konstrukcí efektoru lze eliminovat řadu problémů a případně ušetřit pohyby robota. Pro automatickou stanici číslo pět je v prvním návrhu uvažována zástavba dvou robotů STÄUBLI SCARA TS80. Pro ideální rozložení činností mezi oba roboty je vhodné navrhnout dva různé efektory. Rozdělení činností mezi roboty číslo 1 a 2 je uvedeno v Tab. 4.

Tab. 4 - Rozdělení manipulací

Dílec	Rotace kolem vertikální osy	Rotace kolem horizontální osy	Nutnost mezipolohy	Předpokládaný počet uchopení	Robot
Ventilek	Ne	Ne	Ne	1	č. 1
Víko	Ano	Ne	Ne	1	č. 1
Kotva	Ano	Ano	Ano	2	č. 1
Cívka	Ano	Ano	Ano	2	č. 2
Těleso	Ano	Ano	Ano	2	č. 2
Předpokládaný počet úchopů celkem				8	

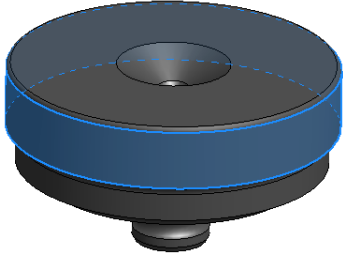
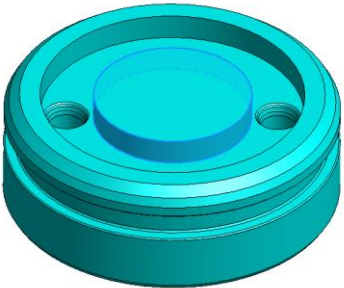
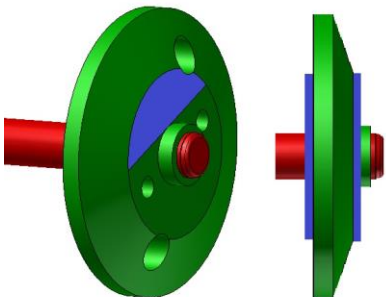
Podle tohoto rozdělení připadá na každého z robotů čtyři uchopení, což je výhodné z hlediska rovnoměrnosti jejich pracovního zatížení. Jestliže již jsou přiřazeny manipulované díly k příslušným robotům, lze přistoupit k návrhu jednotlivých efektorů.

Efektor 1

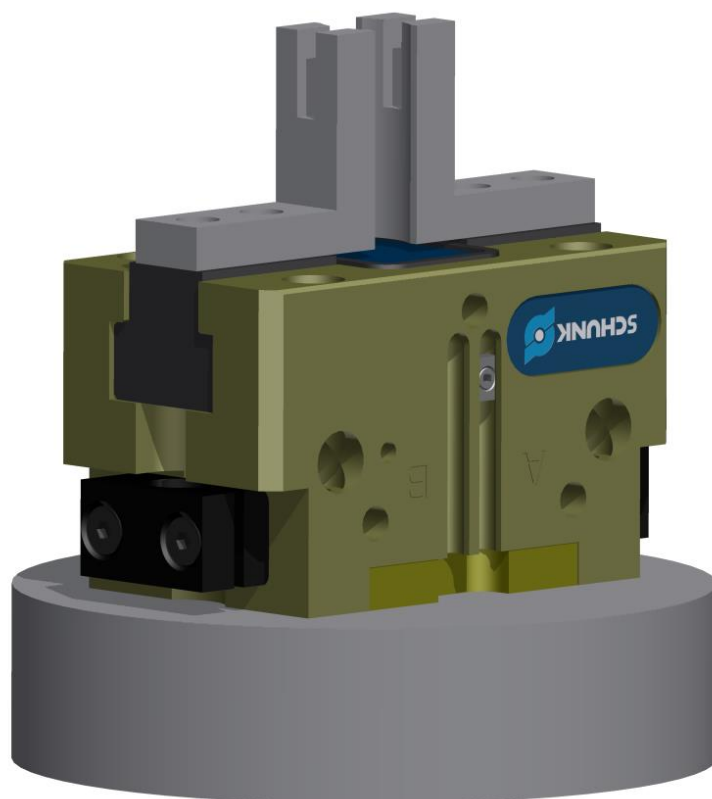
První z efektorů musí být navržen tak, aby byl schopen bezpečně uchopit tři dílce – ventilek, víko a kotvu. Tyto dílce jsou tvarově i rozměrově odlišné. Vzhledem ke krátkému výrobnímu cyklu nelze uvažovat o výměnných čelistech, případně o výměnném efektoru. Na dílcích je nutné nalézt plochy, které se k sobě rozměrově co možná nejvíce přibližují a zároveň jsou přístupné při uložení dílců

v pracích koších. Plochy nesmí ležet v zakázané zóně úchopu jednotlivých komponent. Po bližší analýze jsem stanovil tyto úchopové plochy viz Tab. 5.

Tab. 5 - Úchopové plochy pro efektor 1

Dílec	Plocha	Jmenovitý rozměr/ vzdálenost
Ventilek		Ø 15,9 mm
Víko		Ø 16,10 mm
Kotva		Vzdálenost mezi čely = 4,2mm, délka tětivy na malém čele 16 mm

Z údajů v tabulce 4 je patrné, že upínací průměry ventilků a víka jsou si rozměrově velice blízké a jejich upínání je možno řešit pomocí jedné válcové plochy. Pro uchopení kotvy bude nutné vytvořit rovnoběžné roviny. Vzhledem k nutnosti sevřít rovnoběžné roviny bude použito paralelní chapadlo Schunk s pracovním zdvihem 12 mm, typové označení JPG 64-1. Kompletní provedení Efektoru 1 je vidět na Obr. 25. Odlehčení v ose sevření slouží k zajištění upnutí minimálně ve 3 bodech.

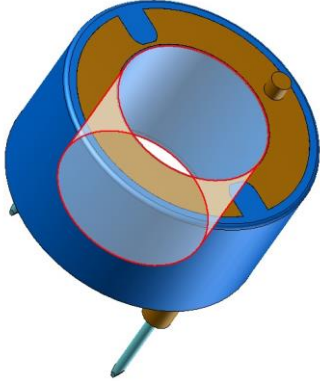
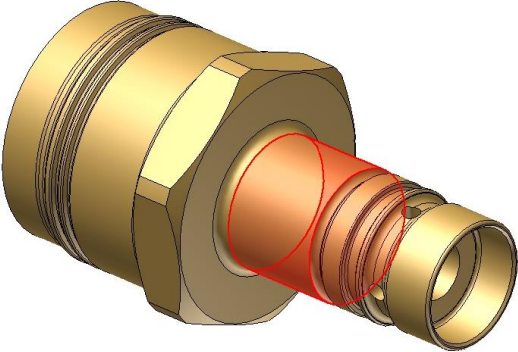


Obr. 25 - Efektor 1

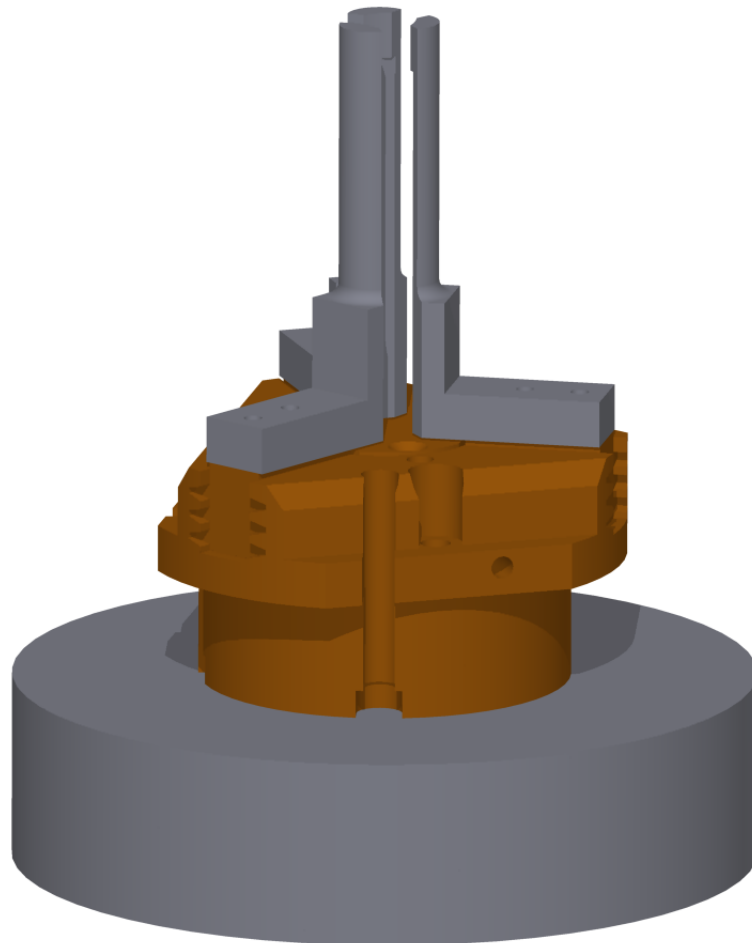
Efektor 2

Druhý z efektorů bude sloužit pro manipulaci cívky a tělesa DRV. Komponenty se výrazně liší rozměry, materiálem a váhou. Stejně jako u efektoru 1 nelze uvažovat o výměnných čelistech, případně o výměnném efektoru. Pro uchopení platí také stejná pravidla jako v předchozím případě. Je nutné nalézt rozměrově obdobné plochy a zároveň umožnit odebrání z pracovní koše respektive dodavatelské paletky. Plochy nesmí ležet v zakázané zóně úchopu jednotlivých komponent. Po bližší analýze jsou stanoveny tyto úchopové plochy (Tab. 6).

Tab. 6 - Úchopové plochy pro efektor 2

Dílec	Plocha	Jmenovitý rozměr/ vzdálenost
Cívka		Ø 14,8 mm
Těleso		Ø 18,8 mm

Z analýzy úchopových ploch pro druhý efektor lze usoudit, že manipulaci bude možno realizovat pomocí oboustranných čelistí – vnější průměr pro upnutí cívky, vnitřní pro sevření tělesa. Pro ideální sousedé upnutí bude použito středící tříčelistové chapadlo Schunk s pracovním zdvihem jedné čelisti 6 mm, typové označení PZN-plus 64-1. Kompletní provedení efektoru 2 je vidět na Obr. 26.



Obr. 26 - Efektor 2

Roboty SCARA osazené navrženými efektory zajistí odebrání komponent z pracích košů a dodavatelských paletok. Jsou schopni také zajistit rotaci kolem svislé osy komponent. Chybí ale možnost otočení polotovarů kolem horizontální osy, to je nutné u kotvy, cívky a tělesa DRV. K otočení komponent podle horizontální osy je nutné navrhnout pracovní mezipolohy.

5.4.4 Manipulace s dílci a mezipolohy

Po dokončení návrhu efektorů již mohu přejít k další části konstrukčního řešení. Tím je dořešení všech pracovních pohybů robotů a návrh pomocných mezipoloh. Mezipolohou jsou myšleny podsestavy, které budou schopny provést takové manipulace, které robot není schopen provést přímo z prvního uchopení dílce. Může to být například z důvodu, že dílec je uchopen z opačné strany, než je vhodné pro

jeho odložení. V odstavcích níže jsou popsány pracovní pohyby pro jednotlivé dílce a navrženo řešení mezipoloh. Pro začátek každého cyklu je kalkulováno s tím, že kamera umístěná nad pracím košem či paletkou nasnímá rozložení dílců a pomocí svého SW stanoví souřadnice pro odebrání dílu robotem.

Manipulace ventilku

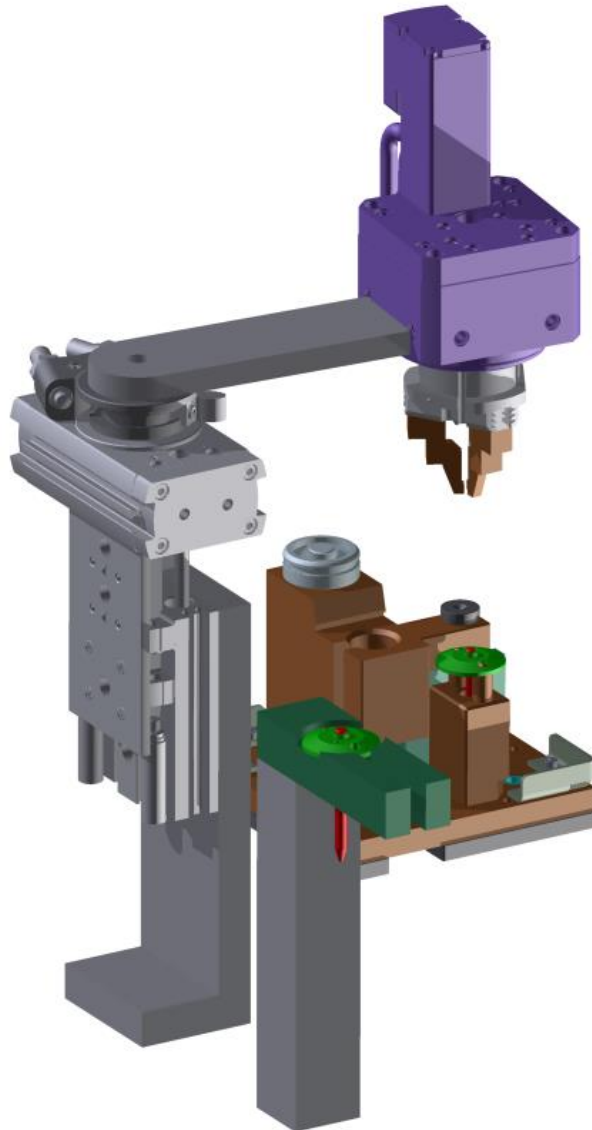
Ventilek je prvním z manipulovaných dílů a z pohledu náročnosti pohybu i ten nejjednodušší. Po nasnímání kamerou je pomocí robota a efektoru 1 dílec přemístěn přímo na montážní paletku. U tohoto dílu je shodná orientace v pracím koši s polohou na montážní paletce. Není třeba žádné mezipolohy.

Manipulace víka

Víko je stejně jako ventilek uloženo shodně v pracím koši i na montážní paletce, není třeba jej otáčet kolem vertikální osy. K uložení je však třeba správná orientace vzhledem k vertikální ose, aby víko dosedlo na čepy montážní paletky. Správné natočení zajistí robot při manipulaci víka. Poloha otvorů ve víku bude detekována kamerou při snímání polohy víka v pracím koši. Mezipoloha není ani zde zapotřebí.

Manipulace kotvy

Osa kotvy je po vyjmutí z pracovního koše v horizontální rovině. Pro založení do montážní paletky je nutno osu přetočit do vertikální roviny s talířkem nahoru. K tomuto účelu je navržen jednoduchý přípravek, který pracuje na principu gravitace. Po přetočení kotvy do vertikální roviny budou kamerou umístěnou nad přípravkem detekovány polohy otvorů. Pomocí sestavy pneumatického válce s vedením, kyvného pohonu a servomotoru s chapadlem je pak kotva napolohována a přemístěna do montážní paletky viz Obr. 27.

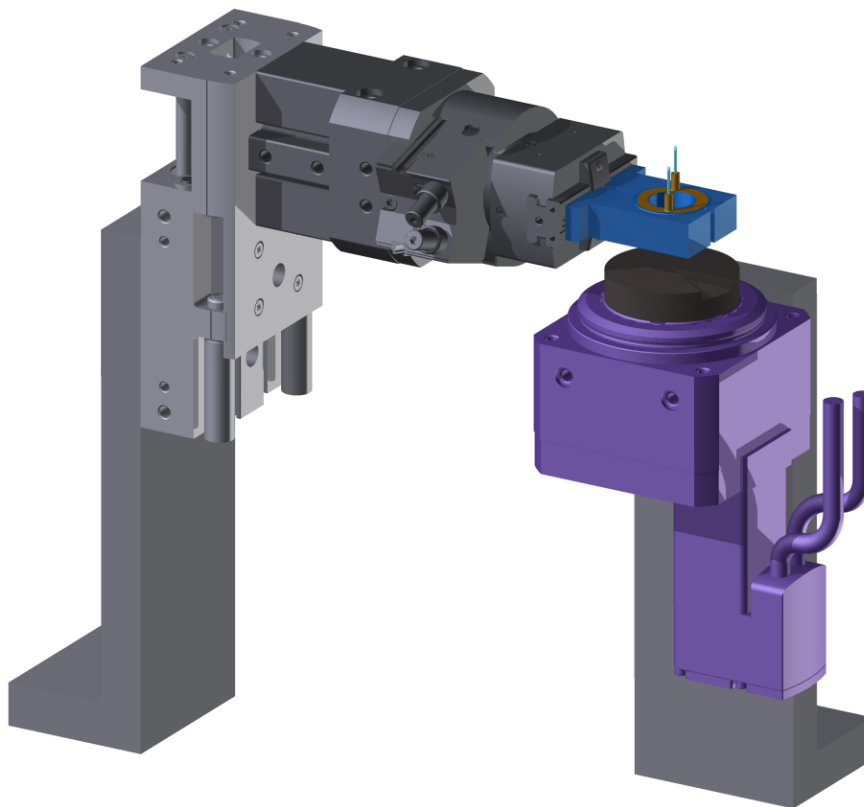


Obr. 27 - Mezipoloha kotvy

Manipulace cívky

Cívka je na dodavatelské paletce otočena trny směrem dolů. V této poloze je také pomocí efektoru 2 odebrána. Do tělesa je nutné ji založit trny směrem nahoru, tedy přetočit cívku o 180° podél vertikální osy a navíc ji správně orientovat dle polohy aretačního čípku. K tomuto účelu je navržena sestava pneumatického válce s otočným a upínacím pneumatickým prvkem a otočí se servomotorem. Robot SCARA vloží cívku do upínacího přípravku, dojde k otočení cívky. Pohybem pneumatického válce směrem dolů je cívka položena na otočný prvek s drážkou, s jehož pomocí je čípek cívky natočen do

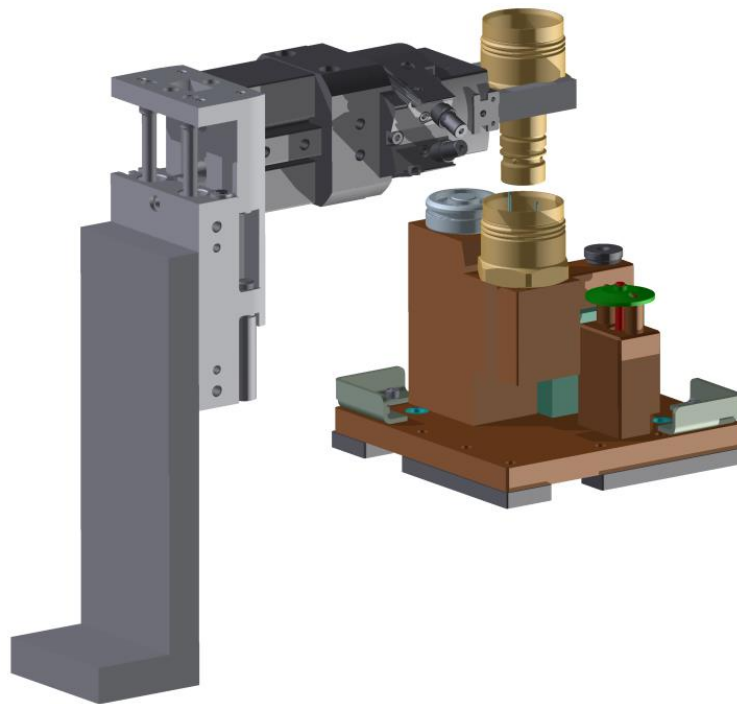
požadované polohy. Takto připravená cívka je pak robotem přemístěna do tělesa DRV. Detail manipulace cívky je dobře patrný na Obr. 28.



Obr. 28 - Mezipoloha cívky

Manipulace tělesa

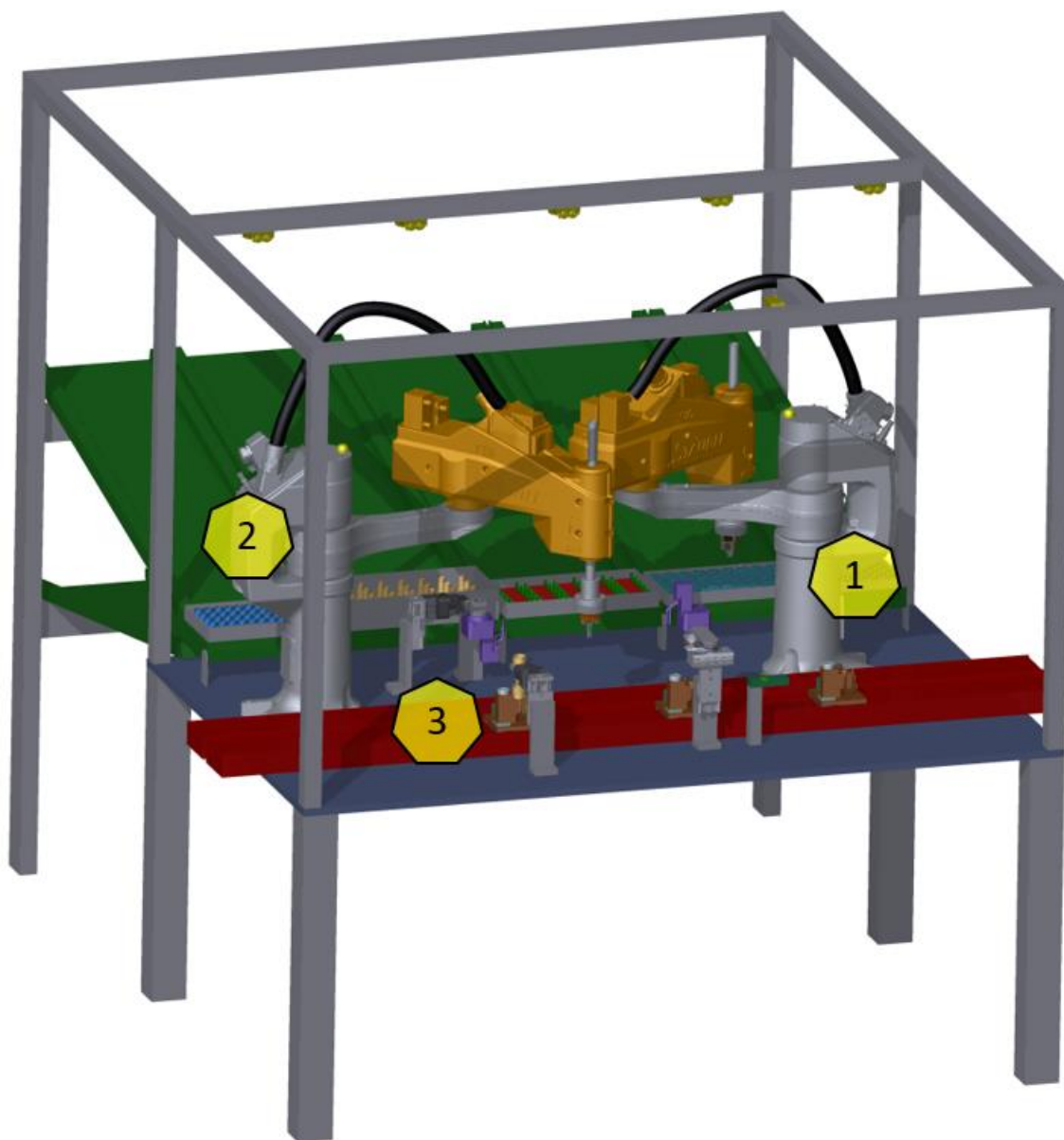
Těleso DRV je stejně jako cívka otočeno v pracím koši o 180° vůči požadované poloze v montážní paletce. Správnou orientaci vůči rotační ose upraví robot SCARA při pohybu mezi pracím košem a polohou nad dopravníkem. Využije se k tomu dat z kamery umístěné nad pracím košem. Přetočení kolem horizontální osy zajistí sestava pneumatického válce a upínacího prvku s otočí. Pohybem pneumatického válce směrem dolů dojde k založení tělesa do montážní paletky. Bližší pohled na sestavu otoče pro těleso a montážní paletky je vidět na Obr. 29.



Obr. 29 - Mezipoloha tělesa

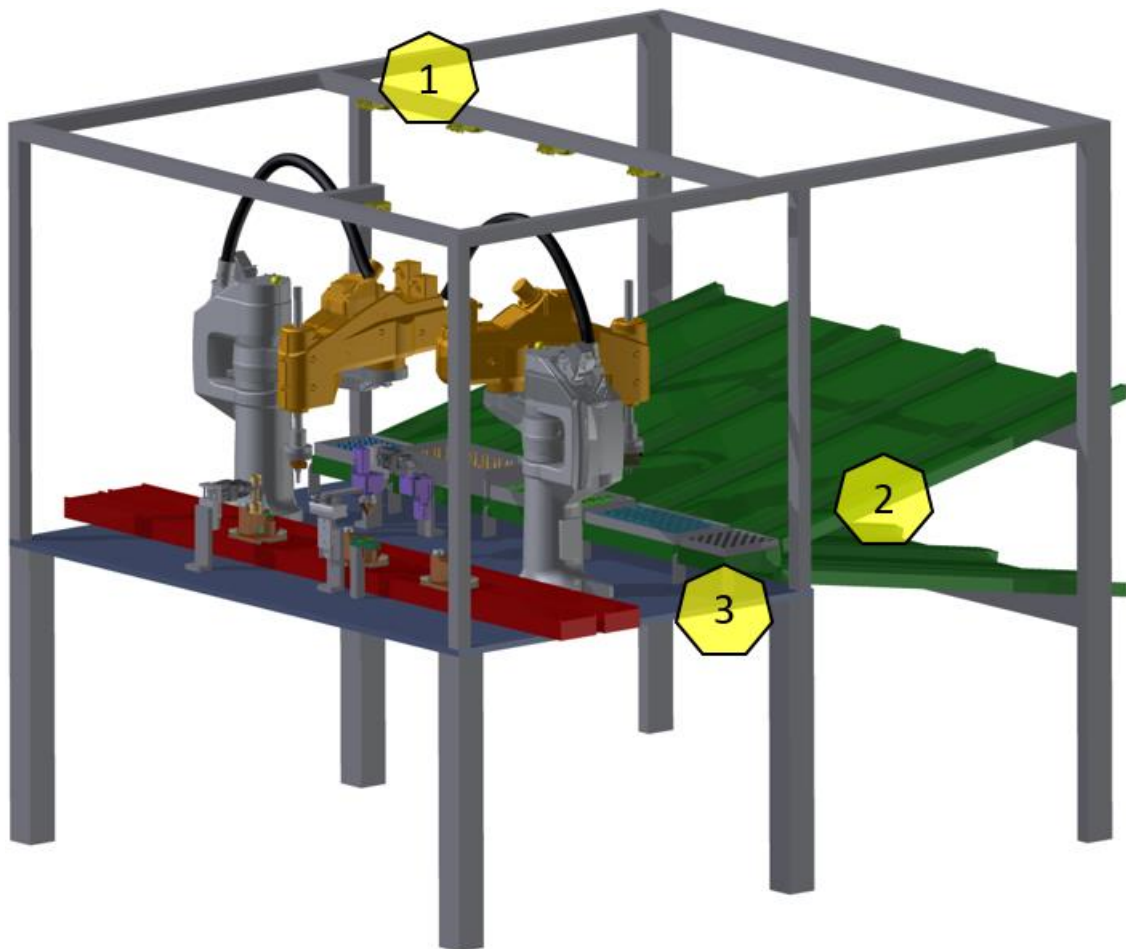
5.4.5 Konstrukční návrh automatu s roboty

Konstrukční návrh automatické stanice s roboty využívá stejně velký základní rám a základní desku jako návrh číslo 2. Na desce jsou umístěny dráhy stávajícího dopravníkového systému montážní linky (Obr. 30, bod 3). Na dopravníku jsou vytvořeny pouze tři pracovní pozice pro montážní paletky. Mezi dopravníkem linky a spádovými drahami jsou umístěny roboti SCARA TS-80. Robot číslo 1 (Obr. 30, bod 1) provádí manipulaci s ventilkem, víkem a kotvou. Aby svým rozsahem pokryl všechny tři prací koše, musí být umístěn blíže středu stanice. Robot číslo 2 (Obr. 30, bod 2) zajišťuje manipulaci tělesa a cívky. Dosahy robotů byly ověřeny v modelu stanice.



Obr. 30 - Návrh 3, pohled 1

Na rámu stanice z duralových profilů jsou taktéž umístěny kamery (Obr. 31, bod 1), které slouží k určování poloh komponent v pracích koších. Spádové dráhy dopravníků mají jiný rozchod, neboť lze lépe využít šířku stanice a koše je možno vkládat delší stranou. Systém spádových drah (Obr. 31, bod 2) a sklopných dopravníků (Obr. 31, bod 3) plní stejnou funkci, jako u návrhu 2, tzn. třípolohový systém sklopných drah s odebíráním polotovarů ve střední poloze.

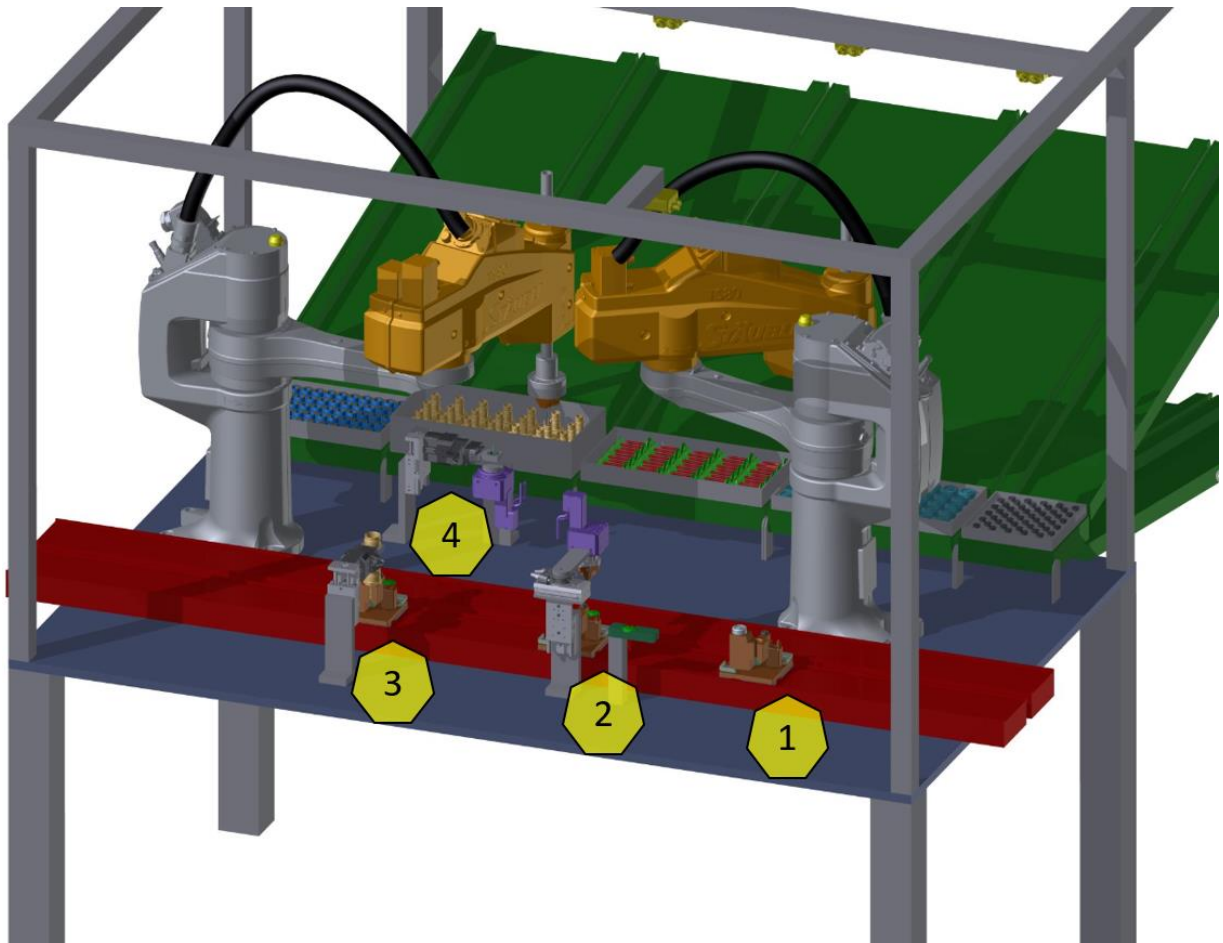


Obr. 31 - Návrh 3, pohled 2

Manipulace s polotovary jsou navrženy tak, aby se roboti navzájem neovlivňovali. Pracovní cyklus Robot 1 začíná tím, že přenesení kotvy z pracovního koše do překlápěcího přípravku „manipulace kotvy“ (Obr. 32, bod 2). Zde, po gravitačním překlopení kotvy, následuje nafocení kamerou a prostřednictvím manipulace kotvy dojde k napolohování a založení polotovaru do montážní paletky. V překrytém čase těchto operací Robot 1 přemístí ventilku a víko na montážní paletku v první pracovní pozici (Obr. 32, bod 1). Jelikož nakládací pozice kotvy je oddělena od nakládací pozice víka a ventilku, tak se časově ovlivňují jen minimálně.

V automatickém cyklu pracuje Robot 2 paralelně s robotem 1. Prvním pohybem Robot 2 je přenesení cívky do mezipolohy „manipulace cívky“ (Obr. 32, bod 4). V době, kdy probíhá otočení a polohování cívky, přemístí Robot 2 těleso z pracovního koše do mezipolohy „manipulace tělesa“ (Obr. 32, bod 3).

Během otáčení tělesa Robot 2 uchopí připravenou cívku a následně ji založí do otočeného tělesa. Sestava tělesa s cívkou je pomocí manipulace tělesa založena do montážní paletky. Montážní paletky přejíždí na další pracovní pozici. Tímto je jeden montážní cyklus ukončen.



Obr. 32 - Návrh 3, pohled 3

Výhodou návrhu číslo 3 je jednodušší konstrukční řešení v porovnání s návrhem 2, kde je zapotřebí 15 lineárních jednotek. V návrhu číslo 3 většinu pohybů zajistí dva roboti SCARA TS-80. Je zde úspora 2 pracovních pozic pro nakládání polotovarů na montážní paletky. Předností tohoto řešení je také téměř dvojnásobná zásoba polotovarů na vstupu do stanice, v porovnání s návrhy 1 a 2. To přináší vedlejší úsporu v podobě usnadněné činnosti manipulanta, který pak doplňuje polotovary s poloviční frekvencí.

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Stěžejním úkolem přípravy každého projektu je rozhodnutí, zda projekt realizovat, či nikoliv. K tomuto účelu je třeba zpracovat technicko-ekonomické zhodnocení projektu. Po analýze montážní linky DRV bylo rozhodnuto, že pro automatizaci je vhodná pouze stanice číslo 5. Proto se technicko-ekonomické zhodnocení bude zabývat pouze touto stanicí. Nejprve budou ověřeny technické parametry navrhovaných řešení a jejich vliv na výrobu, v ekonomické části pak bude zkalkulována finanční výhodnost jednotlivých řešení.

Posuzovaná montážní linka se nachází ve firmě Bosch Diesel, s.r.o.. Některé údaje, které mají souvislost s hospodařením firmy, jsou záměrně zkráceny. Na výsledek práce tato skutečnost nemá vliv, neboť posun hodnot byl proveden ve stejném poměru.

6.1 Ověření technických parametrů konceptu

V rámci ověření technických parametrů navrhovaných řešení dojde ke kontrole rozměrových parametrů jednotlivých zařízení, predikci jejich výrobního taktu a budou přezkoumány vlivy strojů na kvalitu výroby na montážní lince.

6.1.1 Rozměry zařízení

Základním požadavkem pro plánované zařízení jsou zástavbové rozměry stanice. V případě překročení požadovaných hodnot by nebylo možné nové zařízení do montážní linky instalovat, případně by nebyly dodrženy minimální vzdálenosti pro průchod obsluhy. Rozměrové požadavky na zařízení jsou uvedeny v kapitole 5.1.1. Ověření rozměrových hodnot modelů jsem provedl pomocí kontrolního měření v programu Inventor. Požadované a naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7 - Ověření rozměrů

Hodnota	Požadováno (mm)	Naměřeno (mm)		
		Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Šířka	1997	1350	1990	1990
Hloubka	3635	2270	2540	2540
Hloubka od dopravníku	2133	1940	1956	1956
Výška	2500	1500	2070	2070

Všechny naměřené hodnoty jsou v mezích určených zástavbovým layoutem. Z pohledu rozměrů splňují všechny tři návrhy zástavbové požadavky. Návrh 1 využívá pouze prostor stávající stanice.

6.1.2 Stanovení taktu strojů

Na budoucí čas strojů má vliv mnoho veličin, zejména rychlost komunikace prvků s PLC, rychlost vyhodnocení dat kamerovým systémem, možnosti nastavení servomotorů vzhledem k hmotnosti konstrukčních prvků, možnosti překrytí dílčích pohybů atd. Výrobní takt navrhovaných zařízení je v této konstrukční fázi obtížné stanovit. Pro účely této práce jsem po konzultaci s programátorem stanovil odhadované výrobní takty.

Návrh 1

V případě návrhu číslo jedna se i nadále počítá s trvalým nasazením fyzické obsluhy. Navrhované řešení pracovníkovi pouze usnadní výměnu prázdného pracovního koše za plný, proběhne automaticky. V čase výměny může pracovník odebírat dílce z jiných pracovních košů. Časová úspora navrhovaného řešení je odhadnuta na 2 % celkového pracovního času. Aktuální výrobní takt stanice 5 je dle analýzy pracoviště číslo pět 16,2 s/ks. Předpokládaný takt pracoviště v návrhu 1 vychází tedy po zaokrouhlení na 15,9 s/ks.

Návrh 2

Automatické zařízení s lineárními osami bude z pohledu rychlosti manipulace nejvýhodnějším řešením. Každý polotovar má svůj systém lineárních os, svoji kameru a vlastní pozici montážní paletky. Takt tohoto stroje tedy bude dán nejpomalejším uzlem z dané pětice. Nejpomalejším uzlem bude pravděpodobně manipulace kotvy, kde je zapotřebí dvou kamer a mezipolohy. Ani u tohoto uzlu se nepředpokládá, že by výrobní takt přesáhl 12 s, tzn. celkový takt návrhu 2 je odhadován na 12 s/ks.

Návrh 3

Automatická stanice s dvěma roboty je z pohledu odhadu výrobního taktu komplikovaná. Každý robot musí pokrýt několik pracovních činností. Manipulace s mezipolohami je ale navržena tak, že robot v případě činnosti mezipolohy vykonává jinou operaci. Výrobní takt je odhadnut na 14 s/ks.

6.1.3 Posouzení vlivu na kvalitu výroby

Všechna navrhovaná řešení pracují v souladu s požadavky pro manipulaci s polotovary na výrobní lince DRV. Sevření polotovarů při manipulaci je prováděno za plochy, jenž se nachází mimo zakázané zóny úchopu. U návrhu 1, jenž stále využívá fyzické obsluhy, nedojde vlivem automatizace k žádnému

ovlivnění kvality výroby, způsob manipulace dílců na montážní paletku zůstává shodný. U návrhů 2 a 3 se předpokládá zvýšení spolehlivosti založení dílců na montážní paletku, neboť odpadne možnost chyb způsobených fyzickou obsluhou. Lze tedy zkonstatovat, že návrh 2 i návrh 3 kvalitu výroby zvýší.

6.2 Ekonomické zhodnocení

Pokud je zamýšlená investice technicky proveditelná, pak nejdůležitějším faktorem pro realizaci je zhodnocení její efektivnosti a návratnosti. Pro hodnocení efektivnosti investic existuje několik standartních postupů. Většina z nich vyžaduje detailní účetní podklady podniku, zejména pak údaje o ziskovosti produktu a hodnocení cash-flow. Bohužel tyto údaje jsou ve firmě Bosch-Diesel, s.r.o. považovány za vysoce důvěrné a nelze k nim získat přístup. Pro ekonomické zhodnocení tedy využiji výpočet doby návratnosti.

6.2.1 Náklady na automatizaci stanice číslo 5

Pro výpočet celkových výdajů budou využita data dostupná v Bosch Diesel, s.r.o. Těmi jsou odhadované investiční náklady na pořízení investice a odhadované náklady spojené se zvýšením spotřeby energií.

Investiční náklady

Firma Bosch Diesel, s.r.o. má speciální oddělení (TEF2), které se zabývá stavbou jednoúčelových strojů a zařízení. Pro stanovení investičních nákladů na pořízení stroje proto bude předpokládán způsob pořízení ve vlastní režii. Pro stanovení odhadované ceny nových stanic jsem využil kalkulační databázi využívanou na TEF2 k tvorbě nabídek. Tato kalkulační databáze vychází z cen již použitých komponent, průměrných cen vyráběných dílů a z odhadů pracovní náročnosti. Pořizovací ceny stěžejních komponent, jako jsou elektrické lineární osy, roboti SCARA či kamerový systém, byly přímo poptány u dodavatelů. Výsledky kalkulací jsou shrnuté v Tab. 8.

Tab. 8 - Investiční náklady

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Stavební prvky	23 900 Kč	274 300 Kč	251 300 Kč
El. lineární osy	- Kč	954 000 Kč	- Kč
Roboti SCARA TS-80	- Kč	- Kč	1 046 800 Kč
Pneumatické komponenty	54 400 Kč	178 900 Kč	139 200 Kč
Kamerový systém	- Kč	1 192 500 Kč	1 192 500 Kč
PLC	13 300 Kč	198 800 Kč	198 800 Kč
Elektrodíly	35 800 Kč	335 300 Kč	302 700 Kč
Vyráběné díly	106 000 Kč	318 000 Kč	212 000 Kč
Konstrukční práce	129 900 Kč	500 900 Kč	408 100 Kč
Montážní práce	144 200 Kč	315 400 Kč	243 300 Kč
Software	37 100 Kč	278 300 Kč	231 900 Kč
Projektové vedení	44 600 Kč	89 100 Kč	89 100 Kč
Revize, kompatibilita	27 900 Kč	38 500 Kč	38 500 Kč
Celkem	617 100 Kč	4 674 000 Kč	4 354 200 Kč

Náklady na spotřebu energií

Jelikož investiční náklady spojené s pořízením stroje nejsou jedinou položkou, jenž je potřeba zohlednit, musím provést ještě odhad nákladů na spotřebu energií. Nová zařízení budou spotřebovávat dva druhy energií. Elektrickou energii a stlačený vzduch. Pro odhad spotřeby elektrické energie bylo využito reálného měření spotřeby obdobných zařízení při pracovním zatížení. Výpočet spotřeby tlakového vzduchu použitých pneumatických prvků jsem provedl přes on-line kalkulátor firmy Aventics [26]. Předpokládané roční spotřeby navrhovaných zařízení jsou uvedeny v Tab. 9 a Tab. 10.

Tab. 9 - Roční spotřeba elektrické energie

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Spotřeba kW/h	0,2	3	3
Spotřeba kW/h za směnu (7,5 h)	1,5	25	23
Spotřeba kW/h za rok (700 směn)	1 050	17 325	15 750
Cena za 1 kW/h	3 Kč	3 Kč	3 Kč
Celkem	3 150 Kč	51 975 Kč	47 250 Kč

Tab. 10 - Roční spotřeba stlačeného vzduchu

Položka	Návrh 1	Návrh 2	Návrh 3
Spotřeba Nm ³ /h	0,3	11	7
Spotřeba Nm ³ /za směnu (7,5 h)	2,3	81	54
Spotřeba Nm ³ za rok (700 směn)	1 575	56 700	37 800
Cena za 1 Nm ³	0,30 Kč	0,30 Kč	0,30 Kč
Celkem	473 Kč	17 010 Kč	11 340 Kč

6.2.2 Příjmy ze zavedení investice

Odhad budoucích peněžních příjmů, vyplývajících ze zavedení nové investice, se v případě automatické stanice číslo 5 zužuje na výpočet úspor za odvedenou práci fyzické obsluhy. Informace o celkových nákladech na montážního pracovníka patří také do skupiny důvěrných informací. Pro účely této práce si proto stanovím předpokládané roční náklady na montážního pracovníka na 550 000 Kč. Tyto předpokládané roční náklady využiji při dalších výpočtech.

6.2.3 Výpočet doby návratnosti investice

Dobu návratnosti (DN) investice udává, za jaký čas budou z peněžních příjmů vytvořených investicí uhrazeny investiční náklady na její pořízení. Z důvodu nedostupných informací z firemního účetnictví, provedu výpočet pomocí prosté doby návratnosti dle vzorce [27]:

$$DN = \frac{KV}{CF} \quad (2)$$

Zde jsou v čitateli kapitálové výdaje (KV) spojené s pořízením investice a ve jmenovateli pak cashflow (CF), způsobené zavedením investice. V tomto případě lze jako kapitálové výdaje považovat investiční náklady (IN) a cashflow vypočítat jako roční úsporu nákladů za pracovníka (RNP) násobené směnným provozem (SP). Tuto hodnotu je třeba ponížít o náklady za elektrickou energii (NEE) a náklady za stlačený vzduch (NSV), které bude nové zařízení spotřebovávat. Výpočet doby návratnosti lze pak zapsat tímto způsobem:

$$DN = \frac{IN}{SP \times RNP - (NEE + NSV)} \quad (3)$$

Doba návratnosti návrhu 1

Nevýhodou prvního návrhu je pouze minimální uspořený čas obsluhy. Ten představuje pouze 2 % pracovního času, přepočtením z předpokládaných ročních nákladů na pracovníka. Pro výpočet návratnosti první varianty činí úspora nákladů za pracovníka (RNP_{N1}) 11 000 Kč. Investiční náklady pro variantu 1 a spotřeby energií jsou převzaty z podkapitoly 6.2.1.

$$DN_{N1} = \frac{IN_{N1}}{SP \times RNP_{N1} - (NEE_{N1} + NSV_{N1})} = \frac{617,1}{3 \times 11 - (3,2 + 0,5)} = 21,06 \text{ roku} \quad (4)$$

Doba návratnosti návrhu 2

Z pohledu návratnosti těžší druhý návrh z již plně automatizované stanice, kde není třeba stálé obsluhy. Lze tedy kalkulovat s celkovými předpokládanými ročními náklady na pracovníka (NZP) uvedenými v podkapitole 6.2.2, násobené směnným provozem. Stejně jako u prvního výpočtu nutno příjmy ponížít o součet nákladů na elektřinu a stlačený vzduch. Investiční náklady pro variantu 2 a spotřeby energií jsou převzaty z podkapitoly 6.2.1.

$$DN_{N2} = \frac{IN_{N2}}{SP \times RNP - (NEE_{N2} + NSV_{N2})} = \frac{4674}{3 \times 550 - (52 + 17)} = 2,96 \text{ roku} \quad (5)$$

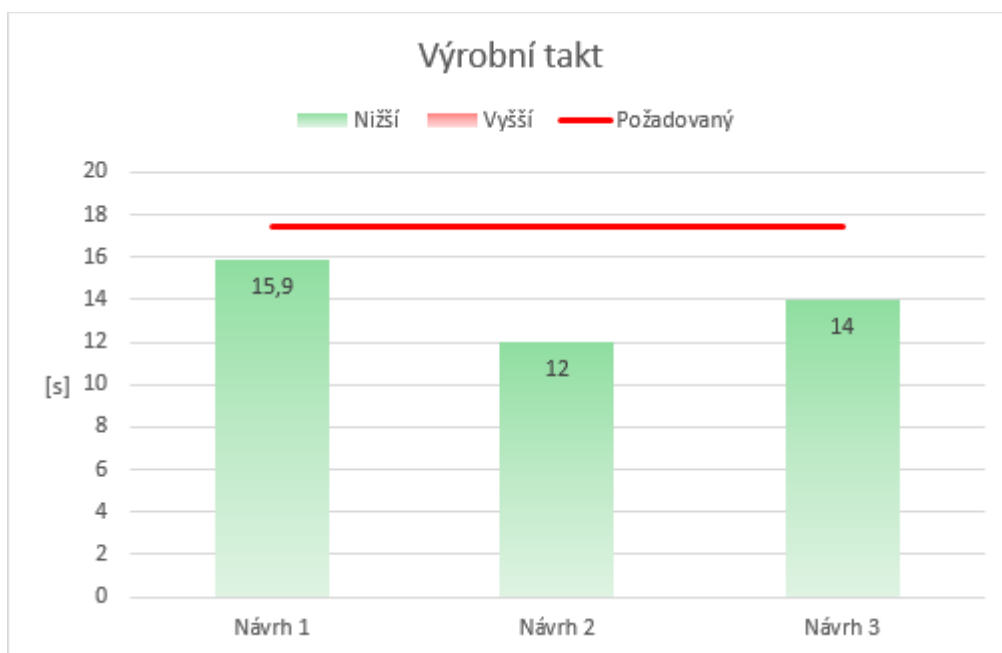
Doba splacení návrhu 3

Návrh číslo 3, je stejně jako návrh 2 plně automatizován, tudíž příjmy jsou zcela shodné. Změny se odehrávají pouze u položek investičních nákladů a nákladů za spotřebovanou energii. Směnný provoz 3směnný a odhadované náklady na pracovníka kalkulovány v plné výši.

$$DN_{N3} = \frac{IN_{N3}}{SP \times RNP - (NEE_{N3} + NSV_{N3})} = \frac{4354,2}{3 \times 550 - (47,3 + 11,3)} = 2,74 \text{ roku} \quad (6)$$

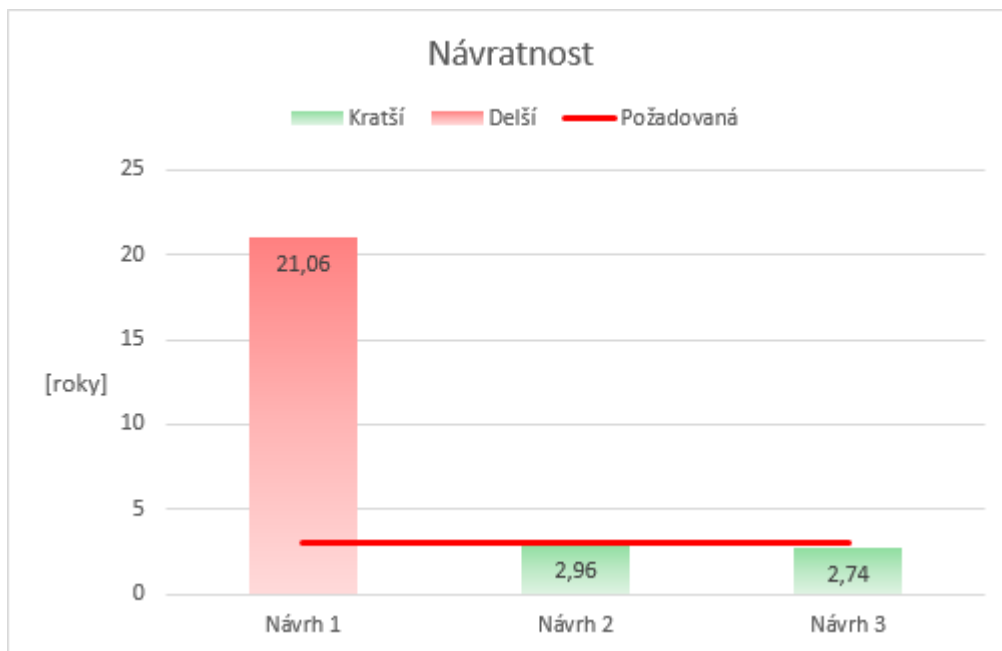
6.3 Zhodnocení a výběr návrhu

Úkolem technicko-ekonomického zhodnocení navrhovaných variant, je výběr nejvýhodnější návrhu automatizace stanice číslo 5. Cílem posuzované automatizace je především úspora nákladů na výrobu PCV. Výrobní takt linky, kvalita a zástavbové rozměry vyplývající z analýzy montážní linky musí být zachovány, nebo zlepšeny. V rámci technického zhodnocení jsem nejprve ověřil zástavbové rozměry navrhovaných řešení. Rozměrové parametry všech návrhů vyhovují požadavkům na layout nové automatické stanice. Dalším krokem bylo stanovení výrobního taktu. Výrobní takt nově navrhovaných zařízení splňuje požadovaný takt pracoviště (Obr. 33), instalací nového zařízení nedojde k negativnímu ovlivnění výrobního času montážní linky.



Obr. 33 - Porovnání výrobního taktu

V případě, že technické zhodnocení všech návrhů vychází kladně, je rozhodujícím kritériem pro hledání nejvhodnějšího návrhu ekonomické hodnocení. Ekonomické zhodnocení jsem provedl pomocí výpočtu návratnosti jednotlivých návrhů. Výpočty návratnosti vycházejí z předpokládaných investičních nákladů na jednotlivé návrhy, porovnaných s úsporami, jež jednotlivé návrhy přinesou. Výsledky kalkulací návratnosti shrnuje Obr. 34.



Obr. 34 - Porovnání návratnosti investice

Z výsledků technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že pro automatizaci montážní linky, respektive automatizaci stanice číslo 5 je nejvhodnější **Návrh číslo 3**, tedy automatická stanice osazená dvěma roboty Stäubli SCARA TS-80. Návrh 3 plně vyhovuje svými technickými parametry a je ekonomicky nejvýhodnější. Jeho návratnost je kalkulována na 2,74 roku, což je v souladu s požadavkem firmy na návratnost zařízení do 3 let. Jelikož se jedná o plně automatické zařízení, lze očekávat i přínos z pohledu kvality výroby, zejména ve formě snížení ztrát zapříčiněných lidským faktorem.

7 Závěr

V této práci jsem se zabýval automatizací montážní linky. Cílem bylo zhotovení koncepčních návrhů automatických pracovišť, a posouzení jejich technické a ekonomické výhodnosti. Tohoto cíle se podařilo dosáhnout. Nalezl jsem pracoviště, které je možné automatizovat. Navrhovaná řešení automatizace jsou technicky řešitelná a ekonomická návratnost dvou konceptů je v požadovaných mezích.

V úvodní části bakalářské práce jsem provedl rešerši montáže, prováděné ve strojírenských výrobních závodech. Rozvedl jsem, jaký vliv má sériovost na organizaci montáže a na stupně její automatizace. Následovala rešerše automatizace montážních procesů. Osvětлил jsem důvody, pro které se k automatizaci montážních procesů přistupuje a z jakých pohledů lze automatizaci členit. Do rešerše automatizace byl zařazen přehled prvků, pomocí kterých lze montážní procesy automatizovat.

V praktické části práce došlo na zhotovení analýzy montážní linky, jež jsem si zvolil pro automatizaci. Výsledkem analýzy bylo rozhodnutí o automatizaci stanice číslo 5 - Vychystání komponent. Pro automatizaci stanice číslo 5 jsem navrhl tato řešení: dílčí automatizace, komplexní automatizace pomocí lineárních os a komplexní automatizace pomocí 4-osých robotů. Jednotlivé návrhy jsem rozpracoval zejména z pohledu přísunu materiálu, úchopu jednotlivých polotovarů a zajištění celkové manipulace s dílci. Součástí návrhů jsou i uzly, které slouží k zajištění správné polohy polotovarů na montážní paletce. Pro ověření možnosti realizace, jsem ke všem navrhovaným variantám zhotovil modely automatických zařízení v programu Inventor. V rámci těchto modelů proběhlo ověření pracovních rozsahů lineárních jednotek a robotů Stäubli, byly navrženy efekторы pro manipulaci s polotovary.

V rámci technicko-ekonomického zhodnocení jsem provedl kalkulaci investičních nákladů na realizaci jednotlivých návrhů a vypočítal jsem náklady na energie, které budou daná zařízení spotřebovávat. S pomocí těchto údajů bylo jako nejvhodnější návrh vyhodnoceno automatické zařízení s roboty Stäubli SCARA TS-80. Doba návratnosti pro realizaci tohoto návrhu je spočítána na 2,74 roku. Návrh číslo 3 má vysoký potenciál na detailní rozpracování a realizaci projektu na posuzované montážní lince.

Bibliografie

- [1] ING. ET ING. MGR. JANA PETRŮ, Ph.D., *ZÁKLADY MONTÁŽE* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2020]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/>
- [2] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [3] URBÁNEK, Jiří. *Automatizace výrobních procesů - obrábění*. 1. vyd. Praha: Československá redakce VN MON, 1990. ISBN Automatizace výrobních procesů.
- [4] Chaku - Chaku. *Svět produktivity* [online]. , 1 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/Chaku-Chaku.htm>
- [5] Hanedashi: přeloženo z AJ. *ISIXSIGMA* [online]. , 1 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/dictionary/hanedashi/>
- [6] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2012-2014. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [7] Mechanizace. *DEL* [online]. 2011, **2011**(1), 1 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.del.cz/robotizace-manipulace-mechanizace/mechanizace/>
- [8] AUTOMATIZOVANÉ VÝROBNÍ SOUSTAVY. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2014, **2014**(61), 3 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/6.1.pdf
- [9] Praktický pohled na současný stav automatizace a digitalizace. *Control Engineering Česko* [online]. 2018, **1**(1), 1 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/prakticky-pohled-na-soucasny-stav-automatizace-a-digitalizace/>
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN isbn978-80-214-4828-5.
- [11] *Automatizace obrábění* [online]. , 4 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep9.pdf>
- [12] Stroj. *Leporelo.info* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://leporelo.info/stroj>
- [13] TMT, spol. s r.o.: DOPRAVNÍKY A DOPRAVNÍKOVÉ SYSTÉMY. *TMT, s.r.o.* [online]. Chrudim: NEXAVISION, 2020 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <http://www.tmt.cz/cz/>

- [14] Minulost a budoucnost robotů. *AUTOMA, časopis pro automatizační techniku* [online]. 2009, **2009**(05), 3 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/minulost-a-budoucnost-robotu-2009_05_39014_4718/
- [15] KTERÉ ZEMĚ OVLÁDAJÍ AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL?. *FINLORD* [online]. 2017, **2017**(1), 1 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://finlord.cz/2017/10/ktere-zeme-ovladaji-automobilovy-prumysl/>
- [16] Roboty SCARA. *FANUC Roboty* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/scara-series/selection-support>
- [17] EPSON SCARA LS20. In: *EPSON* [online]. Seiko Epson Corporation: Seiko Epson Corporation, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.epson.cz/products/robot/epson-scara-ls20-ba04s-standardni>
- [18] Stäubli: ROBOTICS. *Stäubli* [online]. Německo: Stäubli, 2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/robotics/product-range/industrial-robots/6-axis-robots/tx2-90/>
- [19] IRB 1400 YUMI. In: *ABB* [online]. Copyright 2020 ABB: ABB, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/yumi?utm_source=google&utm_campaign=SE_Roboty_Roboty&utm_medium=cpc&utm_term=Roboty&utm_content=Robot-YUMI&gclid=Cj0KCQjw0Mb3BRCaARIsAPSNGpWnUZztQTRHD4U9s08IYtDkRmJOBcKCQ8LR7l6j2r8RPaZazLXMaWgaAgllEALw_wcB
- [20] Co je to Delta robot a jak funguje?. *FACTORY AUTOMATION: Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. 2019, **2019**(1), 1 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [21] FANUC M-1ia. In: *FANUC* [online]. FANUC: FANUC, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m1/m-1ia-05al>
- [22] *KEYENCE: Produkty* [online]. Mechelen, Belgie: KEYENCE, 2020 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/>
- [23] Diesel servis Brno a okolí: Common rail. In: *Diesel servis Brno a okolí* [online]. Brno: Propagace firem, s.r.o., 2015 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://dieselservisbrno.cz/common-rail/>
- [24] *Common-rail system with solenoid injectors: Common-rail injection system CRS 2-25* [online]. Německo, 2020, **2020**(1), 1 [cit. 2020-07-24]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility->

solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/common-rail-system-solenoid/

- [25] *Layout montážní linky PCV_3: Interní dokument Bosch Diesel, s.r.o.; neveřejné.* 2020. Jihlava: Bosch Diesel, s.r.o., 2020.
- [26] AVENTICS: ENERGY SAVING. *AVENTICS* [online]. Německo: AVENTICS, 2019 [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: https://www.aventics.com/computation/energy/energy_computation.jsp?Language=en&Country=cz
- [27] Ekonomické hodnocení podniku. *ENVIROS* [online]. 2009, **2009**(1), 20 [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: http://www.portal-inovace.cz/userdata/files/05_Ekonomicke_hodnoceni_podniku.ppt

Seznam obrázků

Obr. 1 - Členění montáže [2]	9
Obr. 2 - Montáž dle sériovosti [2]	10
Obr. 3 - Montáž dle organizace práce [2].....	12
Obr. 4 - Montáž dle stupně automatizace [6]	14
Obr. 5 - Důvody automatizace [6]	17
Obr. 6 - Členění automatizace [6]	18
Obr. 7 - Stupně automatizace [6].....	19
Obr. 8 - PRaM v automobilovém průmyslu [15]	23
Obr. 9 - EPSON SCARA LS20 [17]	24
Obr. 10 - Stäubli TX2-90 [18].....	25
Obr. 11 - Robot YUMI od ABB [19].....	26
Obr. 12 - Delta robot FANUC M1iA [21].....	27
Obr. 13 - Common Rail system Bosch [23].....	29
Obr. 14 - Layout linky a naznačený výrobní tok.....	30
Obr. 15 - Montážní paletka s dílci	31
Obr. 16 - Stanice číslo 5.....	32
Obr. 17 - Stanice číslo 70.....	33
Obr. 18 - Podmínky automatizace.....	36
Obr. 19 - Využitelný půdorys [25]	37

Obr. 20 - Zakázané zóny úchopu	38
Obr. 21 - Návrh 1	43
Obr. 22 - Sestava lineárních jednotek	45
Obr. 23 - Návrh 2, čelní pohled	46
Obr. 24 - Návrh 2, boční pohled	47
Obr. 25 - Efektor 1	51
Obr. 26 - Efektor 2	53
Obr. 27 - Mezipoloha kotvy	55
Obr. 28 - Mezipoloha cívky	56
Obr. 29 - Mezipoloha tělesa	57
Obr. 30 - Návrh 3, pohled 1	58
Obr. 31 - Návrh 3, pohled 2	59
Obr. 32 - Návrh 3, pohled 3	60
Obr. 33 - Porovnání výrobního taktu	67
Obr. 34 - Porovnání návratnosti investice	68

Seznam tabulek

Tab. 1 - Dílce a jejich uložení	39
Tab. 2 - Rozměry pracích košů	44
Tab. 3 - Požadavky na robota	48
Tab. 4 - Rozdělení manipulací	49
Tab. 5 - Úchopové plochy pro efektor 1	50
Tab. 6 - Úchopové plochy pro efektor 2	52
Tab. 7 - Ověření rozměrů	61
Tab. 8 - Investiční náklady	64
Tab. 9 - Roční spotřeba elektrické energie	64
Tab. 10 - Roční spotřeba stlačeného vzduchu	65

Seznam použitého software

Microsoft Office 365 – Word 2016, Excel 2016, Powerpoint 2016

Autodesk Inventor 2015

Aris Express 2.4d