



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování, metrologie

Návrh automatizace výroby

Production process automation

Diplomová práce

Studijní program: N 2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Jiří Kyncl
Autor: Bc. Petr Syrový

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Syrový** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **438605**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh automatizace výroby

Název diplomové práce anglicky:

Production Process Automation

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky automatizace
2. Analýza současného stavu procesů
3. Návrh technicko-organizačních opatření
4. Návrh vlastní automatizace výroby
5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

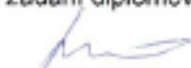
Ing. Jiří Kyncl, 12134

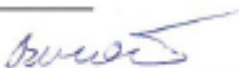
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Jiří Kyncl
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

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

23. 4. 2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Návrh automatizace výroby“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kyncla, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 18.7.2019

Bc. Petr Syrový

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Jiřímu Kynclovi za odborné vedení práce, a především za jeho cenné rady a vstřícnost při konzultacích. Dále děkuji firmě P-D Refractories CZ a.s. a jejím zaměstnancům za poskytnutí potřebných dat a za čas věnovaný konzultacím při řešení problému.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem automatizace výroby pro vybraná pracoviště strojního lisování žárovzdorných materiálů ve výrobním podniku. V úvodu práce je představena společnost P-D Refractories CZ a.s. a průmyslová oblast výroby, kterou se firma zabývá. První část práce popisuje problematiku automatizace a průmyslových robotů. Další část práce analyzuje stávající výrobu v podniku se zaměřením na pracoviště vybraná k automatizaci. Na základě analýzy a definovaných okrajových podmínek jsou navržena automatizovaná pracoviště, jejich zařízení a technicko-organizační opatření, která je nutné zrealizovat se zavedením automatizovaných pracovišť. V závěrečné části práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení vybraného návrhu.

Klíčová slova

Automatizace; průmyslový robot; koncový efektor; dopravník; interní logistika; analýza; model; layout; pecní vůz; investice.

| | |
|---------------------------|--|
| Vysoká škola: | ČVUT Fakulta strojní v Praze |
| Ústav: | Ústav technologie obrábění, projektování, metrologie |
| Vedoucí ústavu: | Ing. Libor Beránek Ph.D. |
| Název diplomové práce: | Návrh automatizace výroby |
| Školní rok vyhotovení: | 2018/2019 |
| Jméno autora: | Bc. Petr Syrový |
| Vedoucí bakalářské práce: | Ing. Jiří Kyncl |

Abstract

This diploma thesis deals with the design of production automation for selected workplaces of mechanical pressing refractory materials in the production company. At the beginning of thesis are described company P-D Refractories CZ a.s. and industrial production area that the company deals with. The first part of thesis describes the issues of automation and industrial robots. The next part analyzes the current production in the company with a focus on workplaces selected for automation. Based on the analysis and defined boundary conditions, automated workplaces, their equipment and technical-organizational precautions are designed. These technical-organizational measures must be implemented with the installation of automated workplaces. In the final part of the thesis a technical-economic evaluation of the selected proposal is done.

Keywords

Automation; industrial robot; end effector; conveyor; internal logistics; analysis; model; layout; kiln car; investment.

| | |
|-------------------------|--|
| University: | CTU Faculty of Mechanical Engineering in Prague |
| Institute: | Department of Machining, Process Planning, Metrology |
| Head of the institute: | Ing. Libor Beránek Ph.D. |
| Name of diploma thesis: | Production process automation |
| Year: | 2018/2019 |
| Author: | Bc. Petr Syrový |
| Supervisor: | Ing. Jiří Kyncl |

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ÚVOD..... | 10 |
| 2 | PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI P-D REFRACTORIES | 12 |
| 3 | PROBLEMATIKA AUTOMATIZACE..... | 15 |
| 3.1 | Vymezení a definice pojmu automatizace | 15 |
| 3.2 | Výrobní systém | 16 |
| 3.3 | Automatizovaný výrobní systém | 17 |
| 3.4 | Výhody automatizace | 20 |
| 3.5 | Modely pro zavádění automatizace | 22 |
| 3.5.1 | Princip USA | 22 |
| 3.5.2 | 10 strategií pro automatizaci a zlepšování VP | 23 |
| 3.5.3 | Strategie migrace automatizace | 25 |
| 3.6 | Systémový přístup | 26 |
| 3.7 | Rozhodování o zavádění automatizace | 28 |
| 3.8 | Závěr | 32 |
| 4 | PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY (PRM)..... | 33 |
| 4.1 | Členění manipulačních zařízení a robotů | 34 |
| 4.1.1 | Klasifikace robotů podle kritérií | 36 |
| 4.2 | Struktura průmyslových robotů | 38 |
| 4.3 | Kinematika robotů..... | 39 |
| 4.4 | Hlediska posuzování PRM | 41 |
| 4.5 | Koncové efektory (grippers)..... | 43 |
| 4.5.1 | Mechanické koncové efektory | 44 |
| 4.5.2 | Pneumatické koncové efektory..... | 48 |
| 4.6 | Možná řešení v průmyslu | 50 |
| 4.7 | Závěr | 52 |
| 5 | ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU | 53 |
| 5.1 | Stávající výrobní proces | 53 |
| 5.2 | Materiálový tok v podniku | 55 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 5.3 | Tvorba layoutu..... | 58 |
| 5.4 | Popis pracoviště 9 a 4..... | 60 |
| 5.5 | Portfolio produktů vstupujících na pracoviště 9 a 4 | 63 |
| 5.6 | Určení a definice okrajových podmínek..... | 69 |
| 5.7 | Závěr | 72 |
| 6 | NÁVRH VLASTNÍ AUTOMATIZACE VÝROBY | 73 |
| 6.1 | Návrh variant robotizovaného pracoviště..... | 73 |
| 6.2 | Výběr vhodné varianty pracoviště | 77 |
| 6.3 | Návrh koncového efektoru..... | 79 |
| 6.4 | Návrh zařízení pro prosyp jednotlivých pater skládky | 81 |
| 6.5 | Návrh realizace prokladu jednotlivých pater skládky | 82 |
| 6.6 | Konfigurace pracoviště..... | 84 |
| 6.7 | Závěr | 86 |
| 7 | NÁVRH TECHNICKO-ORGANIZAČNÍCH OPATŘENÍ | 87 |
| 7.1 | Určení kapacity disponibilních pecních vozů pro 1 průběžnou kolej..... | 87 |
| 7.2 | Určení taktu nakládky pro jednotlivé výrobky | 89 |
| 7.3 | Návrh variant automatického posunu pecních vozů | 90 |
| 7.4 | Volba vhodné varianty | 95 |
| 7.5 | Kapacitní propočty pro logistiku pecních vozů v úseku 3 | 97 |
| 7.6 | Úprava pecních vozů | 99 |
| 7.7 | Závěr | 101 |
| 8 | TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ..... | 102 |
| 8.1 | Technická část | 102 |
| 8.2 | Ekonomická část..... | 108 |
| 9 | ZÁVĚR | 111 |
| 10 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 114 |
| 11 | SEZNAM TABULEK | 118 |
| 12 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 119 |

Seznam zkratk

| | |
|----------------|--|
| MŠLZ..... | Moravské šamotové a lupkové závody |
| VP | Výrobní proces |
| ISA | International Society of Automation |
| FMS | Flexible manufacturing system |
| CIM..... | Computer integrated manufacturing |
| CAE | Computer aided engineering |
| CAM..... | Computer aided manufacturing |
| CAPE..... | Computer aided production engineering |
| CAD..... | Computer aided design |
| CAQ | Computer aided quality |
| ROI..... | Return of investment |
| ČSH (NPV)..... | Čistá současná hodnota (Net present value) |
| IRR | Čisté výnosové procento |
| PRM..... | Průmyslové roboty a manipulátory |
| PR | Průmyslové roboty |
| MT | Materiálový tok |
| IL..... | Interní logistika |
| VZV | Vysokozdvíhací vozík |
| AP | Automatizované pracoviště |

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout automatizaci vybraných pracovišť určených pro výrobu žáruvzdorných materiálů ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. Návrh automatizace zahrnuje rešerši problematiky automatizace, průmyslových robotů a manipulátorů, návrh robotizovaného pracoviště, uspořádání výrobních zařízení, optimalizaci interní logistiky a technickoekonomické hodnocení navržené automatizace.

Úvod práce představuje společnost P-D Refractories CZ a.s., její historii, produkty a výrobní závody v ČR se zaměřením na závod Nová Šamotka ve Velkých Opatovicích. Dále je vypracována rešerše na téma automatizace, která popisuje problematiku zavádění automatizace do průmyslových podniků. V kapitole jsou popsány jednotlivé typy automatizace v závislosti na objemu výroby, několik strategií pro její zavádění, systémový přístup a v poslední části je vytvořen rozhodovací model pro zavádění automatizace na základě získaných poznatků.

Následující kapitola práce je opět rešeršního charakteru, jelikož se zabývá problematikou průmyslových robotů a manipulátorů (dále také PRM). Jsou zde popsána jednotlivá kritéria, kterými lze PRM charakterizovat a podle kterých lze vybírat PRM pro aplikaci v průmyslu. Zároveň je v kapitole věnována pozornost koncovým efektorům, které jsou spojujícím mezičlánkem mezi objektem manipulace a robotem. V závěru kapitoly jsou na obrázcích popsána současná řešení manipulace s výrobky z cihlářského průmyslu.

Další část práce se zabývá analýzou současného stavu výroby v závodě Nová Šamotka. V kapitole je analyzován současný výrobní proces a specifikována jeho část, na kterou se práce zaměřuje. Dále je analyzován současný stav interní logistiky a současná konfigurace pracovišť navržených k automatizaci. V rámci analýzy je vypracován nový layout závodu, který umožňuje přesnější představu o prostorovém uspořádání výrobních strojů a zařízení. Z analýzy získané poznatky jsou použity pro definici a volbu okrajových podmínek, které omezují možnosti návrhu zamýšlené automatizace.

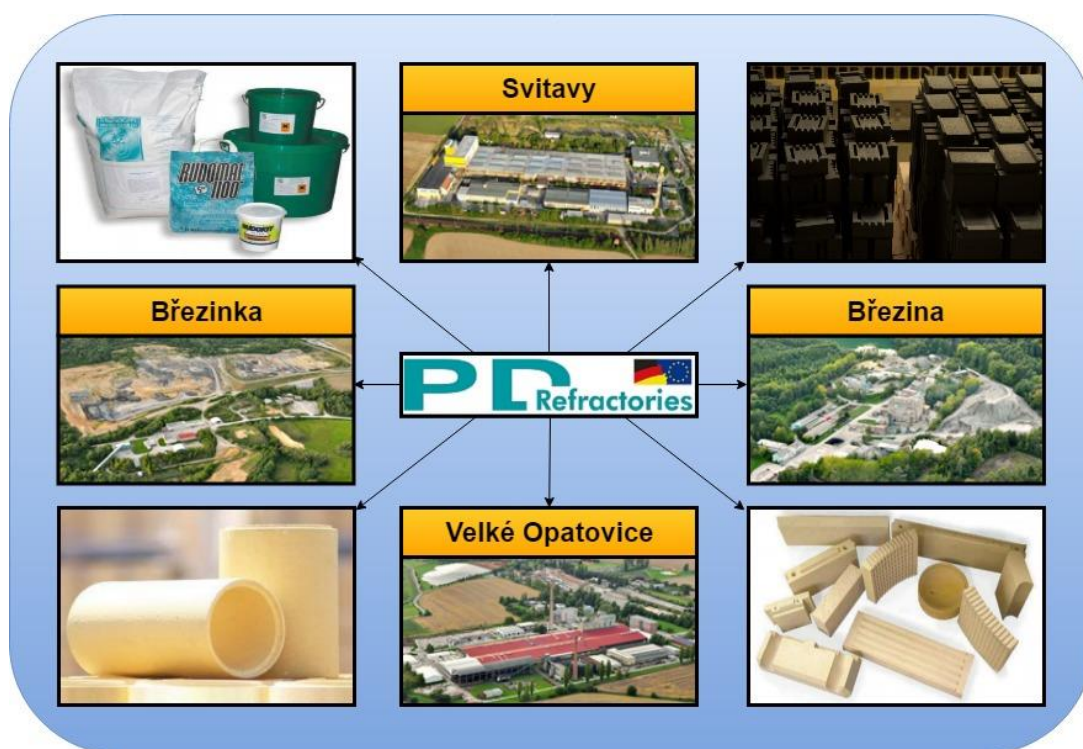
Následující kapitola práce se zabývá návrhem automatizace výroby na vybraných pracovištích strojního lisování, konkrétně pak procesem nakládky vylisovaných tvarovek na pecní vozy. V úvodu kapitoly je navrženo několik variant pracoviště, z nichž je na základě stanovených kritérií zvolena varianta optimální. V další části kapitoly jsou navrženy dílčí části robotizovaného pracoviště, jako například: koncový efektor, prosypové zařízení a kontejner pro sklad prosypového písku. V závěru kapitoly je popsán konečný návrh automatizovaného pracoviště, včetně jeho dílčích zařízení.

Předposlední kapitola této práce se zabývá návrhem technicko-organizačních opatření, která je nutné uskutečnit pro správné fungování navrhované automatizace. Hlavním bodem je návrh několika variant automatické linky, která bude zajišťovat interní logistiku pecních vozů na průběžné koleji zásobující automatizovaná pracoviště. V další části kapitoly je zvolena vhodná varianta automatizovaného dopravníku pecních vozů podle stanovených kritérií. Dále je nastíněn problém nerovnosti pecních vozů a definován lineární problém logistiky pecních vozů na průběžné koleji zásobující automatizovaná pracoviště. Tento problém je nutné po zavedení automatizace vyřešit.

Poslední kapitola této práce provádí technicko-ekonomické hodnocení navržené automatizace. V technické části je prostřednictvím výpočtu vypočítán nárůst objemu výroby a určeny výrobky, které budou alokovány na automatizovaná pracoviště. Zároveň je proveden propočet nárůstu objemu výroby po relokaci výrobků. V ekonomické části hodnocení jsou určeny investiční náklady, roční provozní náklady a vypočtena doba návratnosti investice.

2 Představení společnosti P-D Refractories

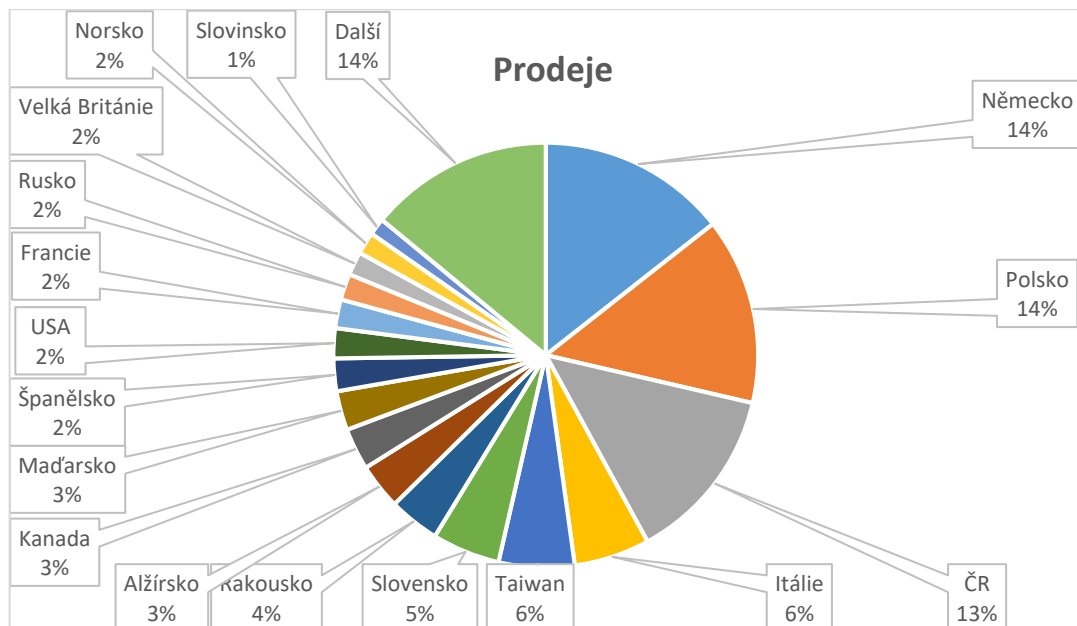
Následující kapitola stručně představuje společnost P-D Refractories, ve které je realizována praktická část práce. Tradice těžby a zpracování stavebních materiálů na Svitavsku sahá až do roku 1666. Oficiální historie současné akciové společnosti začala v roce 1892, kdy se firma „Gessner a Pohl“ rozhodla založit šamotku ve Velkých Opatovicích. Od roku 1950 firma vystupuje jako Moravské šamotové a lupkové závody Velké Opatovice (MŠLZ) a sdružuje několik dalších výrobních závodů. V roce 1991 se MŠLZ stala akciovou společností, následně koncem roku 2000 došlo k odkoupení většiny akcií německou společností P-D Glass und Feurfestwerke Wetro GmbH a MŠLZ dostávají název P-D Refractories CZ.



Obr. 1: Ilustrační obrázek: Výrobní závody a příklady produktů vyráběných v P-D Refractories CZ a.s.

P-D Refractories CZ a.s. je jedním z největších výrobců a dodavatelů žáruvzdorných surovin a výrobků v Evropě. Firma se zabývá vývojem materiálů pro pecní agregáty různých druhů (koksové pece, vysoké pece, sklářské pece, elektrolyzéry apod.). Sortiment firmy zahrnuje šamotové kameny, hlinité kameny, dinasové kameny, izolační kameny, žáruvzdorné jíly, akumulární magnetit, komínové vložky, žáruvzdorné tmely a betony. Příklady výrobků lze vidět na Obr. 1. Veškerá výroba probíhá v souladu

s certifikací ISO 9001. Společnost zajišťuje také dodávky modifikovaných kvalit dle přání zákazníků. [1]



Obr. 2: Procentuální podíl exportu [1]

Firma v současné době disponuje čtyřmi závody v České republice (dále také „ČR“). Jedná se o výrobní závody ve Svitavách a Velkých Opatovicích, provoz pro úpravu vytěžených surovin v Březině a dále těžební závod lokalizovaný v Březince. Firma vyrobila a dodala v roce 2018 cca 86 000 tun výrobků do mnoha států, viz. Obr. 2. Tato diplomová práce se zabývá návrhem automatizace výroby v závodě Nová Šamotka Velké Opatovice, a proto je ve zbytku kapitoly představen právě tento závod. [1]



Obr. 3: Výrobní závod Velké Opatovice-Nová Šamotka [1]

Závod ve Velkých Opatovicích byl založen před více než 100 lety. Mezi lety 1960-1965 zde došlo k výstavbě závodu Nová Šamotka, který lze vidět na Obr. 3. V současné době je nejen sídlem společnosti P-D Refractories CZ, ale zároveň i významným zaměstnavatelem v regionu. Závod je vybaven specializovanými pracovišti pro ruční i strojní formování směsi, včetně sušících i vozokomorových pecí. Výrobní vybavení závodu umožňuje výrobu širokého sortimentu produktů od normalizovaných tvarovek až po výrobu bloků, jejichž hmotnost se pohybuje v řádu stovek kilogramů. [1]

3 Problematika automatizace

Následující kapitola se zabývá problematikou automatizace výrobních systémů v průmyslových podnicích. V úvodu popisuje jednotlivé typy automatizovaných výrobních systémů a různé typy automatizace, které lze na tyto systémy aplikovat. Dále jsou popsány výhody automatizace, strategie pro zavádění automatizace a optimalizaci výrobních procesů. Nastíněny jsou i základy systémového přístupu a jeho aplikace na konkrétní výrobní systém. V závěru je popsán rozhodovací proces pro zavedení automatizace a investiční rozhodování, které se zavedením automatizace souvisí. Rešerše automatizace je koncipována tak, aby bylo možno získané poznatky aplikovat při realizaci další části práce.

3.1 Vymezení a definice pojmu automatizace

Následující kapitola definuje pojem automatizace. Automatizace je proces, který popisuje tvorbu nové technologie nahrazující funkci člověka ve výrobě a snahu o snížení účasti člověka ve výrobních procesech. Cílem automatizace je osvobodit člověka od opakující se fyzické činnosti, která je psychicky vyčerpávající. V současné době se automatizace uplatňuje téměř ve všech oblastech všedního života, jako například: výroba, doprava, veřejné služby, obrana a informační technologie. [2] [3]

Zároveň lze podle ISA (International Society of Automation) automatizaci chápat jako zavádění řídicích prvků (regulátory, počítače, senzory) za účelem efektivního řízení průmyslových procesů. [3] [4]

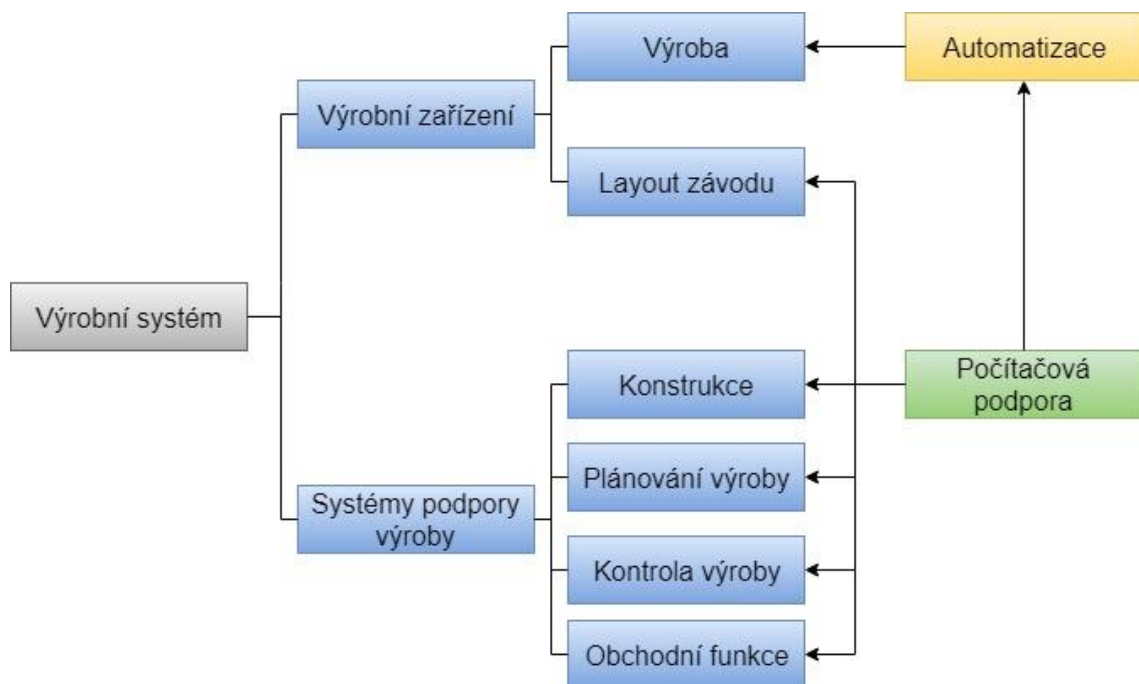
Automatizace je prostředkem, jak pro inovaci průmyslových podniků, tak i výrobních procesů. Inovace je zavedení nového nebo zlepšeného výrobku, služby, výrobního procesu nebo metody organizace v podnikovém postupu. Inovace se dále rozděluje na inovaci technickou a inovaci netechnickou. Technická inovace může obsahovat technické, organizační, finanční a obchodní aktivity. Netechnická inovace jsou zejména změny organizační a podnikatelské. [5]

3.2 Výrobní systém

Výrobní systém je souborem zaměstnanců, vybavení, strojů a procesů, jež realizují výrobní procesy podniku. V moderních podnicích je část nebo většina výrobního systému automatizována. Výrobní systém se skládá ze dvou základních komponent. [6]

- **Výrobní zařízení** jsou stroje, vybavení a pracoviště, na nichž je realizována výroba.
- **Systémy podpory výroby** jsou procesy, které firma využívá k řízení výroby, řešení technických problémů, řízení logistiky, řízení materiálových toků a zajištění dostatečné kvality výrobků. [6]

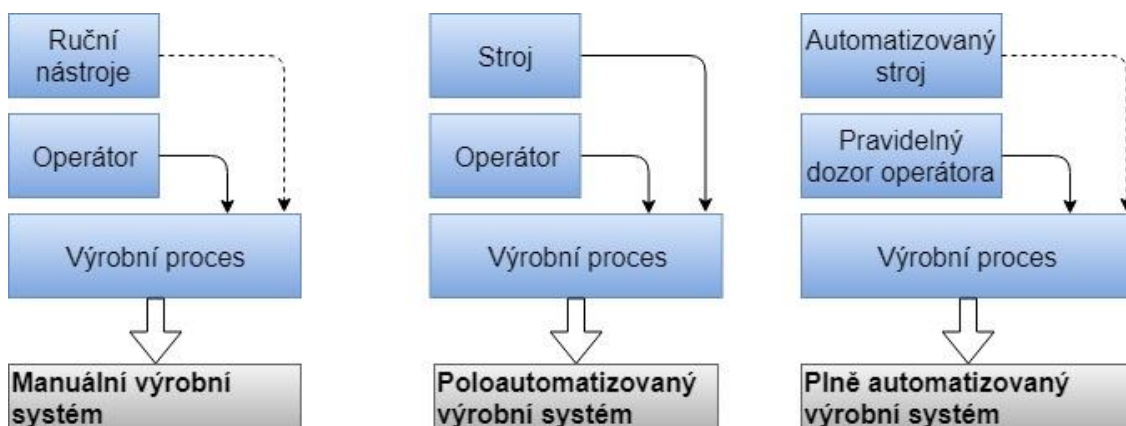
Dílčí komponenty výrobního systému jsou dále děleny. Na Obr. 4 je vidět následné dělení výrobního systému, až po jeho dílčí jednotky, včetně jednotek, které mohou být automatizované, případně podporované počítačem. [6]



Obr. 4: Výrobní systém a jeho dílčí jednotky [6]

Výrobní zařízení je souborem strojů, nástrojů, přípravků a počítačových systémů, které mají za úkol realizovat a kontrolovat výrobní procesy. Dále je výrobní zařízení děleno na výrobu samotnou a layout závodu. Layout závodu určuje fyzické uspořádání strojů a vybavení ve výrobní hale. Výroba je souborem technických prostředků obsluhovaných lidmi a má za cíl přetvářet vstupy na výstupy, tak aby byly

naplněny vize podniku. Podle role člověka ve výrobním systému lze výrobní systém rozdělit do třech základních kategorií, viz Obr. 5. [6] [7]



Obr. 5: Rozdělení výrobních systémů podle míry automatizace [6]

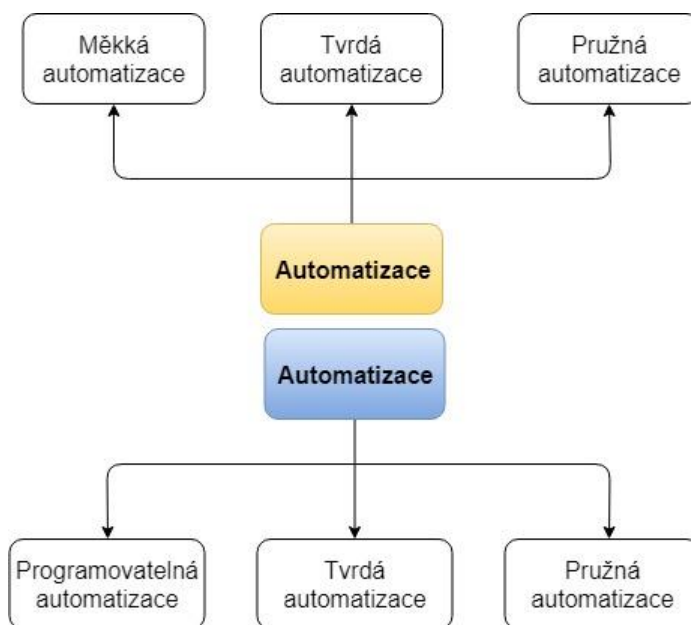
3.3 Automatizovaný výrobní systém

Automatizovaným výrobním systémem se rozumí systém, který vykonává zadané operační úseky a jejich dílčí části (výroba, montáž, kontrola, manipulace materiálu) se sníženou účastí člověka, nebo s účastí člověka pouze jako kontrolního činitele. Automatizace je do výrobního systému implementována pomocí programů instrukcí, jejichž provedení iniciuje řídicí systém. [6] [8] [9]

Poloautomatizovaný výrobní systém využívá programovatelný stroj a lidskou práci. Nejčastěji je lidská práce používána pro manipulaci s materiálem, jako je zakládání polotovarů a vyjímání hotových výrobků ze stroje. Jakmile se na stroji spustí program (nejčastěji pomocí volby programu na kontrolním panelu stroje), činnost člověka se mění pouze na činnost kontrolní a přítomnost člověka u stroje již dále není nutná. [6] [9]

Automatizovaný výrobní systém se od poloautomatizovaného liší především schopností operovat delší časovou jednotku bez přítomnosti člověka během každého pracovního cyklu. Typickým příkladem je pracoviště lisu pro tlakové lití. Odlitky ze stroje vyjímá robot, který je zchládí a uloží do ostříhovacího lisu, případně do přepravy. Přítomnost pracovníka v tomto systému je nutná pouze k odvezení plné přepravy a přivezení přepravy prázdné. Jednotlivé typy automatizace (automatizovaného výrobního systému) jsou popsány níže. [6] [9]

Podle [6] se automatizace dělí do následujících skupin: tvrdá automatizace, pružná automatizace, programovatelná automatizace, zatímco [8] rozděluje automatizaci na tvrdou, měkkou a pružnou. Pojmy měkká a pružná automatizace se však významově shodují, autoři pouze zvolili jiné názvosloví. Rozdělení je načrtnuto na Obr. 6.



Obr. 6: Dělení automatizace podle [6] a [8]

Tvrdá automatizace je realizována pomocí pevných automatizovaných systémů. Konfigurace těchto systémů umožňuje vyrábět pouze jeden typ výrobku ve velkém množství. Tvrdá automatizace je realizována pomocí jednoúčelových strojů nebo typizovaných automatů, které zpravidla realizují jednoduché operace, a je charakterizována následujícími vlastnostmi.

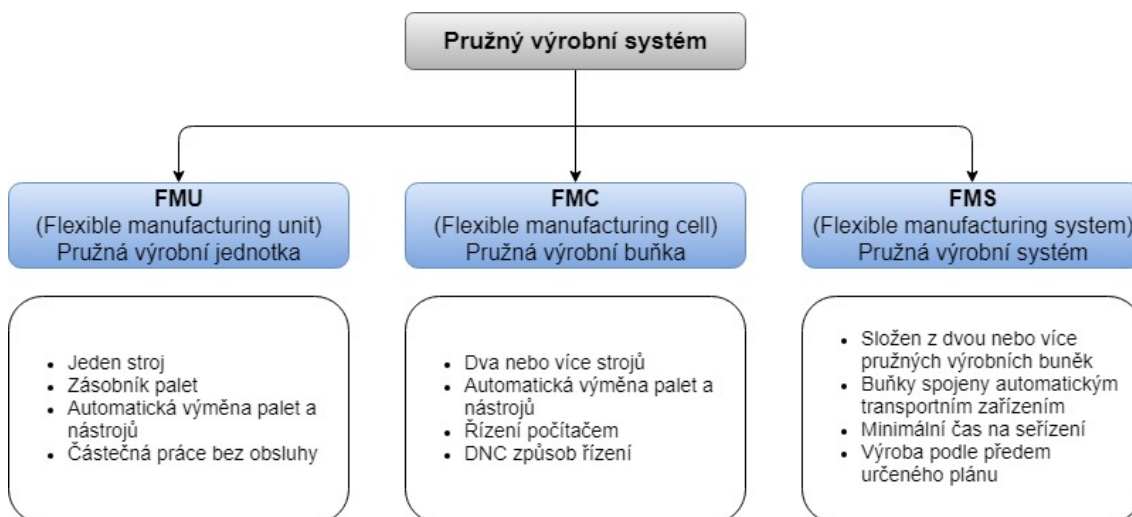
- Vysoké pořizovací náklady pro zakázkové vybavení
- Vysoký objem výroby
- Obtížné zavedení jiného výrobku

Z ekonomického hlediska je tvrdá automatizace výhodná pouze v případě, že je vyráběno velké množství výrobků při vysokém taktu. Vysoké pořizovací náklady na vybavení jsou rozloženy na velký počet výrobků, což snižuje cenu výrobku v porovnání s jinými metodami výroby. [6] [8]

Pružná automatizace je charakterizována zpracováním souboru různých výrobků pomocí pružné (rychlé) změny programu. V současnosti jsou typickými prostředky pružného automatizovaného systému roboty a automatické manipulátory. Oproti tvrdému automatizovanému systému je pružný systém méně produktivní, avšak umožňuje práci s větším portfoliem výrobků, při téměř nulových přestavovacích časech. Pro pružný výrobní systém je použito označení FMS (Flexible manufacturing system). Často je tento systém realizován pomocí více buňkových pracovišť, která jsou propojena automatickým transportním zařízením. Pružná automatizace je charakterizována následujícími vlastnostmi. [6] [8] [10]

- Vysoké náklady pro zakoupení
- Kontinuální výroba různého produktového mixu
- Střední objem výroby
- Flexibilita (možnost zpracování různých výrobků)

V oblasti pružné automatizace jsou používány následující 3 typy výrobních systémů (Obr. 7), tříděných z hlediska rozsahu výrobní soustavy. [10]

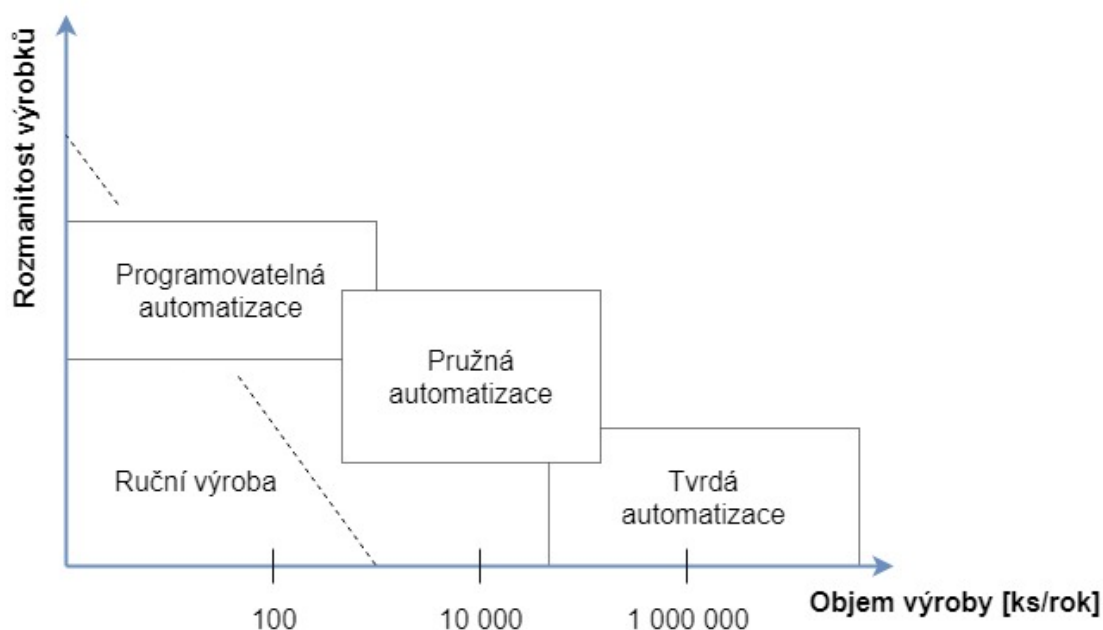


Obr. 7: Pružný výrobní systém a jeho jednotky

Programovatelná/Měkká automatizace je předstupněm automatizace pružné. Charakteristickým znakem tohoto automatizovaného systému je produkce výrobků v dávkách. Mezi dávkami musí být systém přestaven a přeprogramován. Jednotlivé programy pro jednotlivé výrobky jsou uloženy v paměti a je mezi nimi v průběhu přestavby pracoviště (výměna nástrojů, přípravků...) přepínáno. Typickým příkladem

programovatelné automatizace jsou NC stroje, případně svařovací roboty. Do tohoto typu automatizovaných výrobních systémů spadají i systémy poloautomatizované. Tento typ automatizovaného systému je charakterizován následujícími vlastnostmi. [6] [8]

- Vysoká investice do víceúčelového vybavení
- Nižší objemy výroby než tvrdá automatizace
- Flexibilita (možnost zpracování různých výrobků)
- Výroba ve výrobních dávkách



Obr. 8: Tři typy automatizace [6]

Na Obr. 8 je znázorněn graf, který uvádí, kdy je výhodné použít daný typ automatizace v závislosti na objemu výroby a rozmanitosti výrobků.

3.4 Výhody automatizace

Zavádění automatizace poskytuje firmám značné výhody v porovnání s ruční výrobou. Následující seznam zdůvodňuje výhody automatizace. [6] [9]

- **Zvyšování pracovní produktivity:** Automatizace výrobního procesu vždy přináší zvyšování výrobního tempa a pracovní produktivity, což znamená, že za jednotku času je více vstupů přeměněno na výstupy.

- **Snížení pracovních nákladů:** V průmyslových podnicích dochází velmi často ke zvyšování mezd. Zvýšení mezd se projeví zvýšením jednotkové ceny výrobku. Nahrazení manuální výroby výrobou automatizovanou je ekonomicky opodstatněné, protože s automatizací, klesá jednotková cena výrobku.
- **Zmírnění nedostatku pracovních sil:** Nedostatek pracovních sil vykonávajících manuální práci je v dnešní době problémem téměř ve všech průmyslových státech.
- **Minimalizovat opakující se a namáhavou práci:** Automatizované výrobní procesy se snaží zmírnit podíl fyzicky a psychicky namáhavé práce, a zajistit tak zaměstnancům lepší pracovní podmínky.
- **Zvýšení pracovní bezpečnosti:** Eliminací člověka z výroby nebo změnou jeho role z aktivní účasti na roli monitorovací přináší nejen snížení rizika zranění, ale i zvýšení pracovní bezpečnosti.
- **Zvýšení kvality výrobků:** Automatizace nepřináší pouze vyšší produktivitu, ale zároveň oproti manuální práci poskytuje vyšší přesnost a pravidelnost výroby.
- **Snížení výrobních časů:** Automatizace pomáhá snížit čas mezi obdržáním objednávky a distribucí hotového výrobku zákazníkovi. Tím poskytuje firmám konkurenční výhodu a časovou rezervu pro budoucí zakázku. Zároveň snížení výrobního času snižuje objem rozpracované výroby a uvolňuje skladové a meziskladové prostory.
- **Výroba složitějších výrobků:** Některé výrobní procesy nemohou být realizovány bez vhodných výrobních strojů a zařízení. Výrobní procesy, které vyžadují komplexnost, přesnost a pracují s minimalistickými rozměry nemohou být realizovány pomocí manuální práce. Jedná se například o obrábění dílců se složitými tvarovými plochami, procesy rapid prototypingu nebo složité montážní úlohy.
- **Snížení rizik neautomatizované výroby:** Automatizace výroby přináší firmám značnou konkurenční výhodu. Všechny dopady zavedení automatizace výroby nelze nikdy přesně predikovat. Často po zavedení automatizace dochází ke zlepšení kvality výroby, vyšším prodejům, zlepšení firemní image a pracovních vztahů. [6] [9]

3.5 Modely pro zavádění automatizace

Následující kapitola popisuje tři modely, které lze aplikovat při zavádění automatizace. Tyto modely byly stanoveny na základě praxe a zkušeností průmyslových inženýrů při zavádění automatizace ve firmách. Podrobně jsou popsány v dílčích podkapitolách. [11]

Zavedení automatizace nemusí být vždy optimálním řešením pro zlepšení stávající výroby. Před samotnou realizací projektu automatizace je třeba provést rozhodovací analýzu, případně aplikovat ověřený rozhodovací model. V této kapitole jsou popsány tři přístupy sloužící k rozhodování o projektech automatizace, které lze vidět na Obr. 9. [11]



Obr. 9: Modely pro zavádění automatizace [11]

Níže jsou popsány jednotlivé modely, které mohou být uplatněny pro optimalizaci VP a zavedení automatizace.

3.5.1 Princip USA

Princip USA je známým přístupem k automatizování a zlepšování stávajících výrobních procesů (dále také VP). Po provedení analýzy na základě principu USA lze usoudit, že daný VP nemusí být automatizován, nebo že by byla automatizace finančně nevýhodným řešením. Tento princip se skládá ze tří základních kroků. [11]

Analýza stávajícího VP: Prvním krokem je rozebrat stávající VP a identifikovat všechny jeho proměnné. Je nutné identifikovat činnosti, které jsou realizovány mezi přeměnou vstupu na výstup, funkci samotného procesu, jednotlivé operace výrobního postupu a způsob vytváření přidané hodnoty produktu. Často se používají matematické modely, které určí vztah mezi vstupními parametry a výstupními proměnnými. [11]

Simplifikace VP: Po analýze stávajícího výrobního procesu následuje jeho simplifikace. Často je prováděna pomocí souboru otázek, kterými se analyzují možnosti zlepšení. Níže je uveden příklad takových otázek. [11]

- Jaký je účel stávajícího transportního kroku?
- Je možné tento krok eliminovat?
- Je použita správná technologie?
- Mohou být tyto kroky realizovány současně?

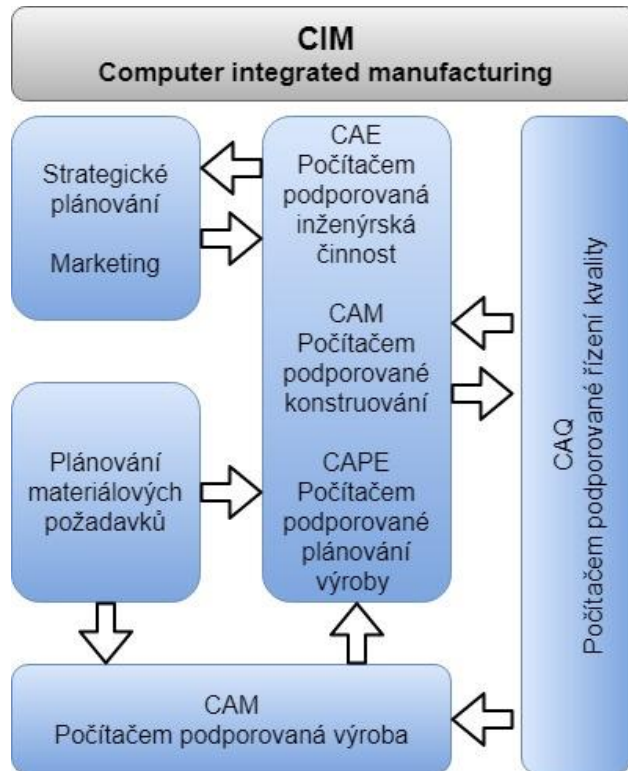
Automatizace daného VP: Automatizování daného VP lze zvážit pouze ve chvíli, kdy byl simplifikován do nejjednodušší podoby. Je tak možné se vyhnout zbytečným prvkům a řešením, které by byly realizovány v rámci nezjednodušeného procesu. [11]

3.5.2 10 strategií pro automatizaci a zlepšování VP

Podle zkušeností průmyslových inženýrů bylo sestaveno 10 strategií pro zlepšování a automatizaci VP, které lze v mírně upravené podobě aplikovat téměř ve všech průmyslových odvětvích. [11]

- **Použití specializovaného vybavení:** První strategie zahrnuje použití speciálního vybavení tak, aby byla výrobní operace realizována s dosažením nejvyšší efektivity.
- **Kombinace operací:** Výroba je sekvencí operací, které u složitých výrobků vyžadují mnoho zpracovatelských kroků. Strategie kombinace operací říká, že by se měl snížit počet strojů, kterými musí výrobek projít. Toho se často dosahuje vykonáním několika operací na jednom stroji. Tímto přístupem často dochází k redukci transportních a přípravných časů.
- **Simultánní operace:** Tato strategie navazuje na strategii kombinace operací. Dvě a více operací, které byly relokovány na jedno pracoviště jsou prováděny souběžně, tím je snížen výrobní čas.
- **Integrace operací:** Strategie, která navrhuje spojení několika pracovišť do jednoho integrovaného mechanismu, který bude využívat automatizované transportní prostředky. Dochází ke snížení počtu jednotlivých středisek, kterými musí výrobek projít a díky souběžné výrobě na jednotlivých pracovištích je zvýšen objem výroby.

- **Zvyšování flexibility:** Cílem této strategie je použít vybavení pracoviště pro výrobu co možná nejvíce odlišných výrobků. Strategie často zahrnuje využití programovatelné nebo flexibilní automatizace. Cílem je snížit přípravné časy, což často vede ke snížení objemu rozpracované výroby a snížení dodací lhůty.
- **Zefektivnění manipulace s materiálem:** Zrychlení skladové a interní logistiky pomocí automatizace často snižuje objem rozpracované výroby, dodací lhůty a mzdové náklady.
- **Online kontrola:** Tato strategie říká, že výrobky by měly být kontrolovány již v průběhu VP, aby bylo zabráněno výrobě většího počtu neshodných dílů díky dílčím úpravám parametrů VP na základě průběžné kontroly.
- **Kontrola a optimalizace VP:** Tato strategie zahrnuje využití schémat a metod průmyslového inženýrství pro zlepšení stávajícího VP a efektivního využití vybavení.
- **Kontrola procesů závodu:** Jedná se o stupeň vyšší kontroly než u bodu 8. Výroba je kontrolována jako celek. Tato strategie zahrnuje použití sítí a databázových prvků pro mapování celkové výroby.
- **Computer integrated manufacturing (CIM):** CIM je použití vnitropodnikových informačních systému, databází a sítí pro integraci výrobních, a obchodních funkcí. Schéma CIM je znázorněno na Obr. 10 [11]

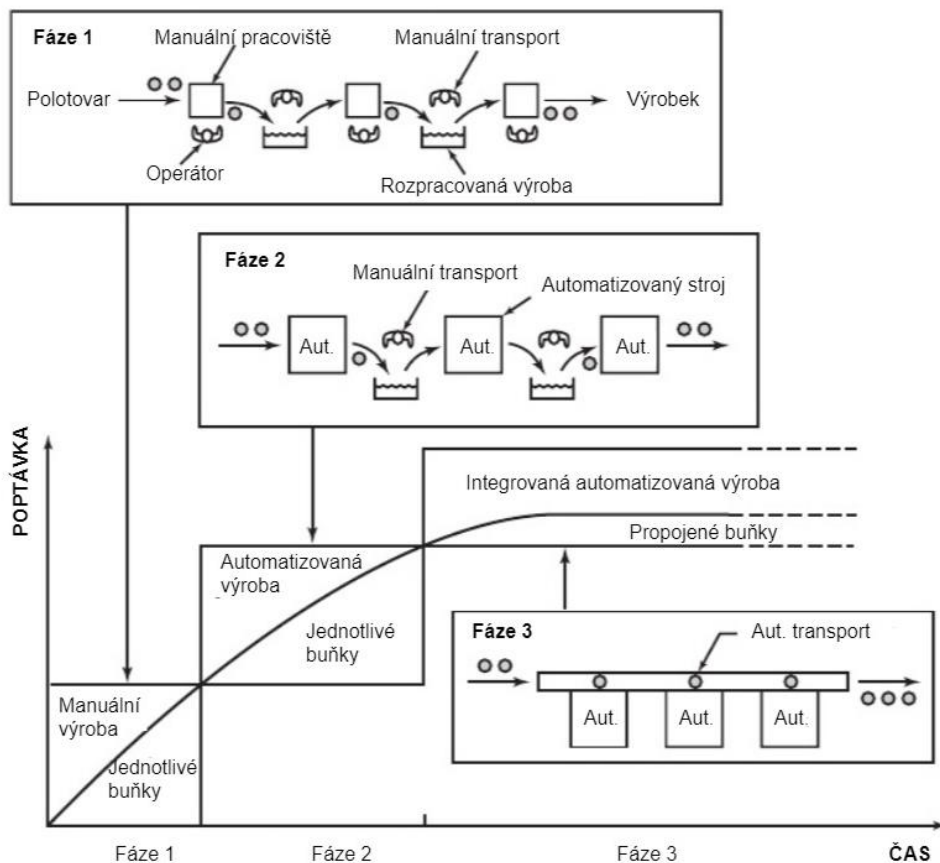


Obr. 10: Computer integrated manufacturing [12]

Kapitola představila 10 principů pro zlepšování automatizace a VP další strategie jsou popsány v kapitolách níže.

3.5.3 Strategie migrace automatizace

Vzhledem ke konkurenčnímu boji na trhu firma často potřebuje představit nový produkt v co nejkratším čase. Nejjednodušší a zároveň nejvíce ekonomickou variantou pro zavedení nového výrobku je manuální výroba prostřednictvím buňkových pracovišť. Pokud je potřeba zvýšit rychle objem výroby, jsou buňková pracoviště jednoduše nakopírována. Pokud je nový výrobek po zavedení na trh úspěšný, lze v budoucnu uvažovat o automatizaci jeho výroby. Zlepšování výroby je pak prováděno v několika fázích. Firmy uplatňují strategii pro migraci automatizace, která je realizována ve třech krocích. Jedná se o postupné automatizování výroby, bez jejího dlouhodobého zastavení. Zavádění jednotlivých fází migrace v závislosti na čase a poptávce je vidět na Obr. 11. [6]



Obr. 11: Zavádění jednotlivých fází automatizace [6]

- **1. Fáze – Manuální výroba**, které je realizována prostřednictvím buněk. Důvody pro použití této konfigurace jsou zmíněny v kapitole (dále také kap.) 3.5.2. [6]
- **2. Fáze – Automatizovaná výroba**, která využívá poloautomatizovaná pracoviště, mezi nimiž jsou polotovary přesouvány manuálně. Dojde tak ke zvýšení objemu výroby a snížení mzdových nákladů. [6]
- **3. Fáze – Integrovaná automatizovaná výroba**, tj. automatizovaný systém, který se skládá z několika pracovišť a využívá automatizovaného transportu materiálu. Zmíněné řešení se vyplatí pouze v případě dlouhodobé výroby produktu. [6]

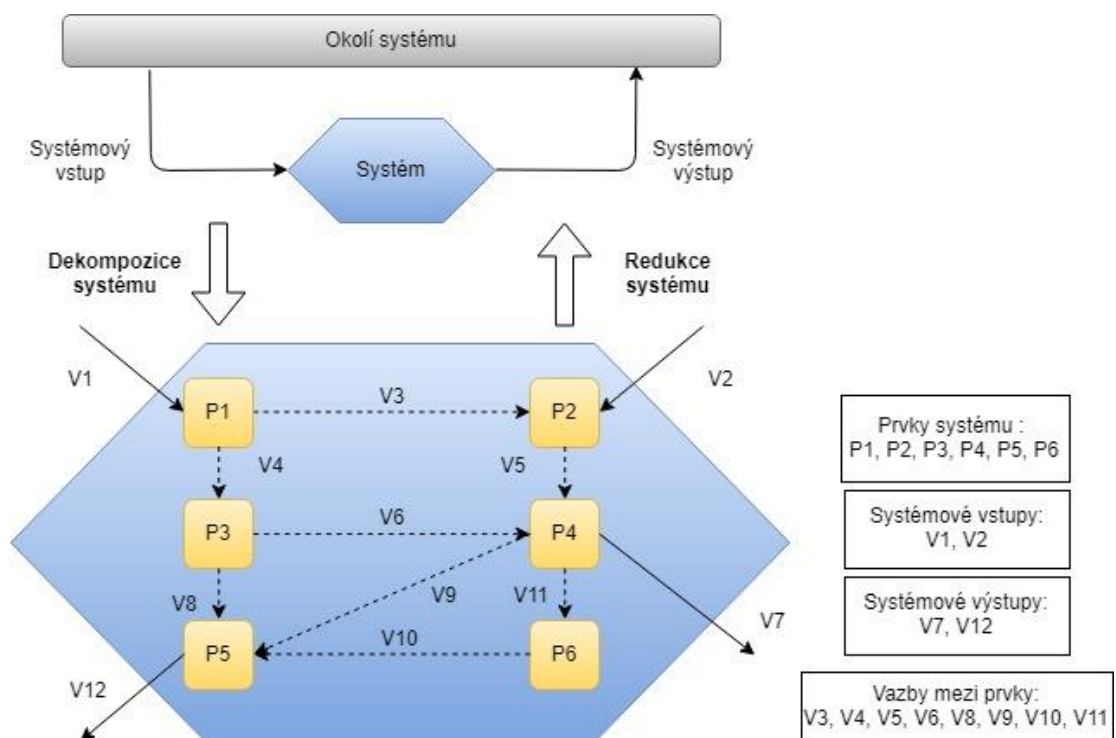
3.6 Systémový přístup

Systémový přístup vyjadřuje myšlení nebo řešení problému, při kterém je na zkoumaný jev nahlíženo komplexně a jsou pochopeny všechny jeho vnitřní i vnější souvislosti. Často se uplatňuje při rozboru a řešení problémů, které zasahují do několika oblastí lidského vědění. Zavádění automatizace, je komplexním problémem, který

vyžaduje spolupráci všech interních útvarů podniku, proto lze chápat jako komplexní problém. Mezi problémy, které se prolínají při řešení projektu automatizace patří např.: [13]

- Technické problémy technologického procesu, který je automatizován.
- Technické problémy návrhu automatizačních prostředků a jejich pohonu.
- Problémy související s programovým vybavením.
- Ekologické dopady automatizace.
- Personální problémy související s potřebou proškolených dozorčích pracovníků.
- Organizační problémy při zavádění a využívání automatizace.
- Stavební úpravy stávajících výrobních prostorů. [13]

Prvním krokem systémového přístupu je definice zkoumaného systému, který lze chápat jako účelově definovanou množinu prvků a jejich vazeb, které společně určují vlastnost celku. Definovaný systém lze nejčastěji při zavádění automatizace označit jako relativně uzavřený, což znamená, že se zde vyskytují vstupy a výstupy, které zajišťují styk systému s okolím, viz. Obr. 12. Následně je provedena dekompozice systému na jednotlivé prvky a jejich vzájemné vazby, jak je načrtnuto na Obr. 12. [13]



Obr. 12: Schéma dekompozice a redukce systému [13]

Na systém nelze pohlížet staticky, tj. pouze z hlediska jeho vnitřní stavby, ale i z hlediska vzájemného ovlivňování jednotlivých parametrů a členů. Dále je nutné uvažovat, jak na systém působí podněty z okolí. Pro analýzu systému lze uplatnit následující principy: [13]

- Princip abstrakce je vyčlenění nepodstatných jevů a soustředění se na jevy podstatné.
- Princip postupu od vlastností jednoduchých k vlastnostem složitým.
- Princip systematického zkoumání je snaha o jednoznačné popsání poznatků.
- Princip týmové spolupráce se specialisty.
- Princip zkoumání shora dolů je postup od vyšších struktur ke strukturám nižším.
- Princip rozdělení systému na jednodušší prvky, které lze snadněji popsat.

Na základě systémové analýzy lze následně přistoupit k návrhu systému nového, případně úpravě systému stávajícího. Pro analýzu i návrh systému existuje mnoho metod, které jsou neustále zdokonalovány. Metody doporučují, do jakých kroků rozdělit analýzu a návrh. Dále jaké techniky použít k popisu a návrhu systému, a jaké dokumenty vypracovat. Definice prvků systému a jejich vazeb představuje pouze jeden z prvních kroků systémového přístupu. Stupně systémového myšlení lze uspořádat do šesti úrovní: [13]

- Akceptace systémového přístupu, osvojení jeho principů a metod.
- Pochopení existence systému a definice jeho struktury.
- Pochopení stavů systému a popsání jeho chování.
- Pochopení chování systému v závislosti na okolním prostředí a schopnost závislost definovat.
- Uvědomění si, že změny systému a prostředí probíhají dynamicky.
- Pochopení vzájemných vztahů mezi změnami systému a změnami v okolí, uvědomění si vzájemné dynamiky a schopnost závislosti definovat. [13]

3.7 Rozhodování o zavádění automatizace

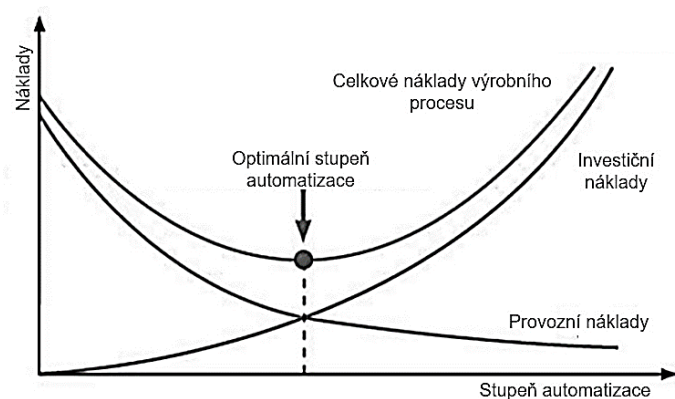
Automatizace je prostředkem pro inovaci, viz. kap. 3.1, která musí respektovat strategii, vize a cíle podniku. Podstatou inovace a jejího řízení je realizace změn, které

přispějí ke zlepšení produktů, procesů nebo pozice podniku na trhu. Obecně lze rozdělit inovace na strategické, produktové a procesní. Členění tohoto typu má pak hierarchický charakter, viz. Obr. 13. [14]



Obr. 13: Hierarchie inovace [14]

Stupeň automatizace je jedním z rozhodujících faktorů pro její zavádění, případně rozšiřování. Zdroj [15] uvádí, že alokace kognitivních a fyzických úkonů mezi člověkem a výrobním zařízením je popsána jako kontinuum, které je definována okrajovými podmínkami plně manuální a plně automatizované výroby. Nelze předpokládat, že při plné automatizaci bude dosaženo nejnižších nákladů, proto je nutné hledat minimum nákladové funkce výrobního procesu, která je charakterizována jako součet nákladových funkcí viz. Obr. 14. Sestavení nákladové funkce je v praxi obtížným úkolem, protože jednoznačně určit a přesně charakterizovat všechny nákladové veličiny, které vstupují do VP je velmi obtížné. [15]



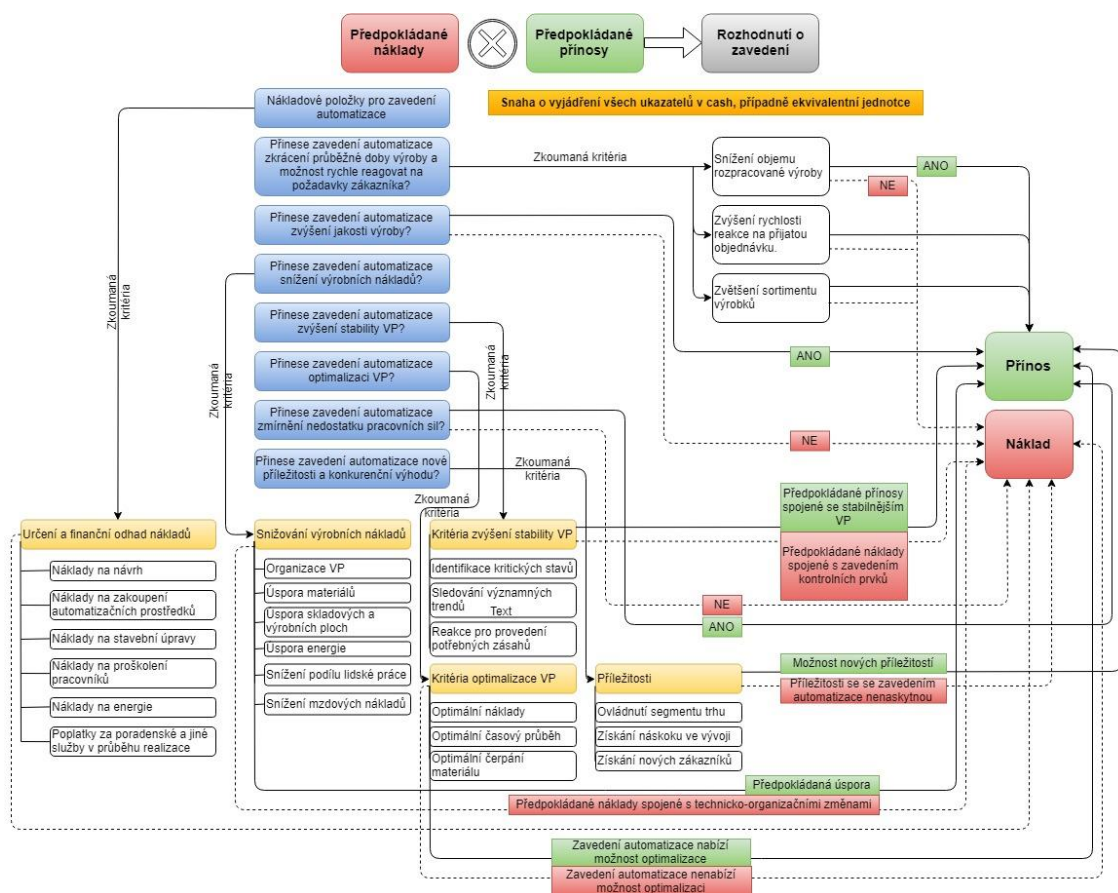
Obr. 14: Závislost stupně automatizace na nákladech [15]

Zdroj [16] uvádí, že je třeba každý záměr v ekonomice vyhodnotit porovnáním potenciálních nákladů a přínosů a případného dosažení zisku. Přestože je vytvoření

ziskového ukazatele nutné, nemusí být vždy rozhodujícím faktorem pro rozhodování, protože automatizace je založena na rozumových důvodech, které sledují účelově zaměřené cíle.

Predikovat všechny náklady a přínosy je velmi složité, proto bylo podle zdroje [15] [16] [17] vytvořeno rozhodovací schéma, které je možné použít k potenciálnímu určení nákladů a přínosů automatizace výroby, a jejich porovnáním určit rozhodnutí. Toto schéma lze vidět na Obr. 15.

Je nutné uvést, že všechny přínosy a důsledky automatizace v konkrétní firmě nelze předpovědět a vyčíslit. Jako příklad lze uvést zlepšení komunikace mezi řídicími pracovníky a operátory, případně odstranění nepříjemného zápachu a hluku v původně neautomatizované výrobě. [16]



Obr. 15: Schéma rozhodovacího procesu při zavádění automatizace z hlediska určení nákladů [18]

Po stanovení nákladových položek a po finalizaci potřebné částky následuje investiční rozhodování, které je rozhodovacím procesem o přijetí či zamítnutí investičního projektu. Investici lze charakterizovat jako vynaložení zdrojů pro získání

užitků v budoucím časovém období. Prostřednictvím investice lze získat hmotný (stroje, zařízení, nástroje...) i nehmotný majetek (software, výzkum, vývoj...). Realizace investice přináší pro firmu riziko, protože se firma vzdává jisté hodnoty (současné) s cílem dosažení budoucí (méně jisté) hodnoty. Pro hodnocení investic používají dvě skupiny metod. [18]

- **Statické metody** jsou využívány pouze v případě, že na rozhodnutí nemá vliv časový faktor. Jedná se o investice s krátkou dobou životnosti nebo nízkou diskontní sazbou, např. metoda výnosnosti investic (ROI), metoda doby splácení (doba návratnosti).
- **Dynamické metody** jsou využívány pro hodnocení investic, při kterých se počítá s delší dobou pořízení majetku a delší dobou jeho ekonomické životnosti. Jedná se například o metodu čisté současné hodnoty (ČSH) nebo vnitřního výnosového procenta (IRR). [18] [14]

Při použití metody výnosnosti investic (return of investment) je zisk uvažován jako efekt investice, přičemž se v něm promítnou jak změny výroby, tak změny v nákladech. [14]

$$ROI = \frac{Z_r}{IN} * 100 \text{ v } \% \quad (1)$$

*Kde: Z_r ... průměrný čistý zisk z investice
IN ... investiční náklady*

Metoda doby splácení neboli doby návratnosti určuje období, během něhož jsou uhrazeny investiční náklady na projekt pomocí čistého výnosu. [14]

$$I = \sum_{i=1}^a Z_n + O_n \quad (2)$$

*Kde: I ... pořizovací cena
O_n ... roční odpisy z investic
Z_n ... roční zisk
a ... doba návratnosti*

Metoda čisté současné hodnoty neboli ČSH, v angličtině NPV (Net Present Value) slouží k vyjádření hodnoty peněžních toků, které souvisí s investičním projektem.

Hlavní výhodou této metody je zohlednění kritéria času. Podoba vzorce předpokládá, že výdaj na investici byl uskutečněn v prvním roce [14]

$$\check{C}SH = \sum_{n=1}^N \frac{P_n}{(1+i)^n} - K \quad (3)$$

Kde: ČSH ... čistá současná hodnota

P_n ... peněžní příjem z investice v jednotlivých letech životnosti projektu

N ... doba životnosti projektu

i ... požadovaná výnosnost v %

KV ... kapitálový výdaj

n ... Jednotlivé období životnosti projektu

Metodu vnitřního výnosového procenta je metoda, která určuje, při jaké úrokové míře se čistá současná hodnota generovaná finančními příjmy z projektu rovná kapitálovým výdajům. Metodu lze také definovat jako míru návratnosti, kdy se čistá současná hodnota rovná nule. Nevýhodou je chybějící možnost výpočtu přínosu projektu k celkové hodnotě společnosti. [14]

$$KV = \sum_{n=1}^N \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Kde: ČSH ... čistá současná hodnota

P_n ... peněžní příjem z investice v jednotlivých letech životnosti projektu

N ... doba životnosti projektu

i ... požadovaná výnosnost v %

KV ... kapitálový výdaj

n ... Jednotlivé období životnosti projektu

3.8 Závěr

Při zpracování kapitoly 3 zjištěno, že zavedení automatizace do průmyslových podniků je složitým procesem, který se skládá z mnoha dílčích kroků. Důležitým aspektem je detailní rozbor a simplifikace stávajícího výrobního procesu, tak aby byl upraven do své nejjednodušší podoby. Je třeba si uvědomit, že veškeré změny je nutné provádět systematicky, nikoliv nahodile.

4 Průmyslové roboty a manipulátory (PRM)

Následující kapitola popisuje průmyslové roboty a manipulátory, které budou použity jako automatizační prostředky v další části práce. Jednotlivé podkapitoly popisují rozdělení PRM, jednotlivé typy PRM a kritéria, podle kterých lze přemýšlet o výběru PRM pro konkrétní aplikaci. Kapitola zahrnuje i studium poznatků o kinematice, souřadnicových systémech a koncových efektorech, které jsou spojovacím členem mezi objektem manipulace a PRM. V závěru kapitoly je popsáno několik řešení z oblasti průmyslu.

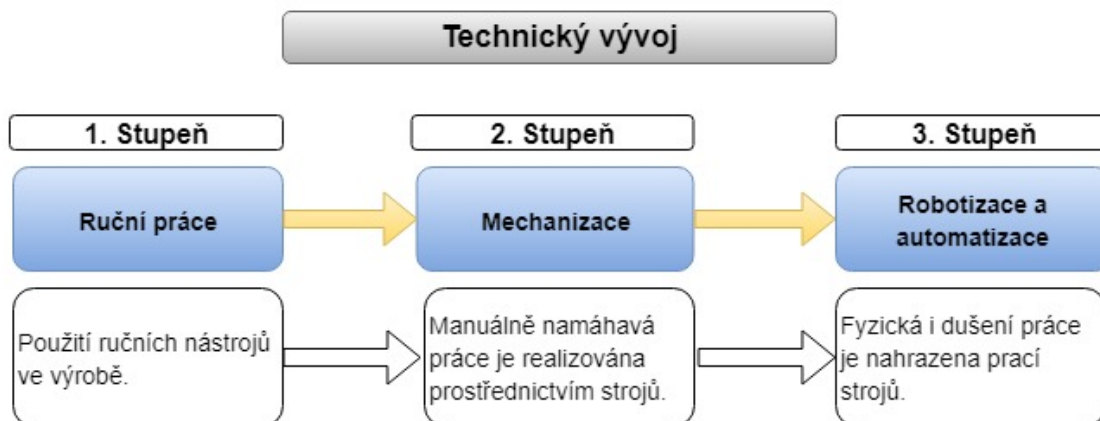
V poslední době je společnou charakteristikou průmyslových zemí rostoucí cena lidské práce a zvyšování požadavků na kvalitu. Proto je lidská práce postupně nahrazována automatizací a robotizací. Zavedení robotizace umožňuje zvýšení produktivity a zároveň snížení nákladů výroby. Zároveň řeší problémy s nedostatečnou kvalifikací zaměstnanců a jejich nedostatkem na pracovním trhu. [10]

Definice slova robot není přesně stanovena. Pro ukázkou lze uvést dva významy definice podle Oxford dictionary. [19]

- Stroj, který automaticky provádí sérii úkonů.
- Stroj, který vypadá jako člověk a umí vykonávat některé z úkonů, které vykonává i člověk. [19]

Podle zdroje [10] jsou průmyslové roboty univerzálně použitelné automaty pro vykonávání manipulačních operací a zastávají v těchto procesech funkci člověka. Jsou programovatelné v několika osách a mohou pomocí řídicích prvků, chapadel, nástrojů a senzorů vykonávat velké množství úkonů. Uplatnění nalézají v kusové i velkosériové výrobě.

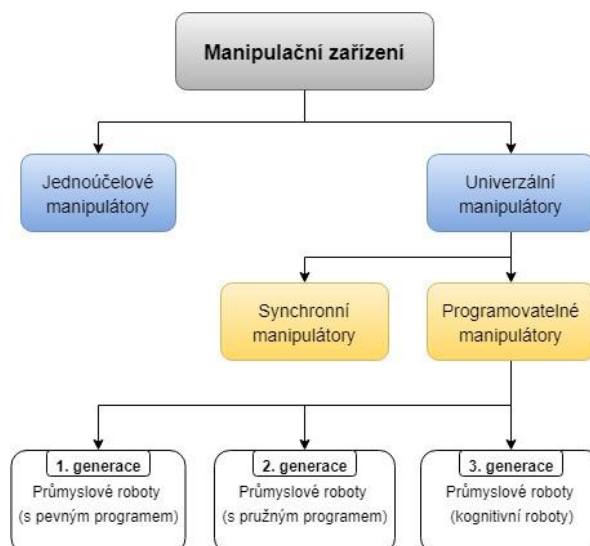
Z hlediska postupného vývoje jsou roboty třetím vývojovým stupněm v oblasti technického vývoje. Flowchart zobrazující jednotlivé stupně technického vývoje lze vidět na Obr. 16. [6] [20]



Obr. 16: Technický vývoj [16]

4.1 Členění manipulačních zařízení a robotů

Členění jednotlivých manipulačních zařízení do skupin není vždy jednoznačné. Podle zdroje [20] jsou manipulační zařízení členěna, viz Obr. 17. Oproti tomu zdroj [10] neuvažuje kategorii synchronních manipulátorů. Obecně se lze v literatuře setkat s několika různými výklady členění.



Obr. 17: Členění manipulačních zařízení [20]

Jednoučelové manipulátory jsou charakterizovány omezenou funkcí pohybů, často vztáženou k výrobnímu stroji, k němuž jsou přiřazeny. Konstrakčním provedením často vyhovují pouze jednomu typu stroje. [10] [20] [21]

Univerzální manipulátory jsou typické tím, že se přizpůsobí různým technologiím. Vykazují větší rozsah manipulace a nejsou použitelné pouze pro jednotlivý stroj nebo výrobek. Pro volbu mezi jednoúčelovými a víceúčelovými PRM je nutné respektovat technická a ekonomická hlediska vycházející z výroby, charakteristiky a uspořádání daného pracoviště. [10] [20] [21]

Synchronní manipulátory (teleoperátory) jsou manipulační zařízení, která ovládá člověk a nejsou vybavena samostatným řídicím programem. Tato zařízení mají za úkol zesilovat síly, momenty, nebo pohybové možnosti operátora. Často jsou využívány ve výrobě v podobě balancérů nebo dálkově řízených ramen pro manipulaci, případně ve vojenství, lékařství atd. [21]

Roboty první generace jsou manipulační zařízení, pevně naprogramované k vykonávání postupných operací. Program je sestaven tak, aby obsluhoval jednu výrobní operaci. Pokud dojde ke změně cíle, je nutné změnit program. Často jsou využívány pro aplikaci typu „zvedni-umísti“. [10]

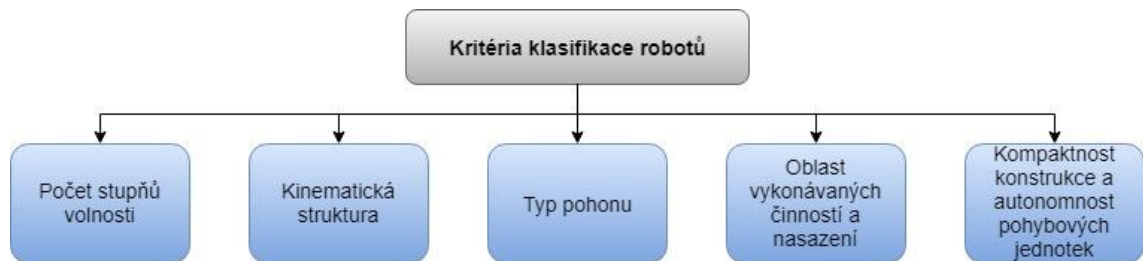
Roboty druhé generace jsou vyšší úrovní robotů generace první. Jsou vybaveny senzory, případně kamerami tak, aby mohly pracovat pomocí systému „udělej – ověř“. To znamená, že reagují na změnu sledované veličiny a po identifikaci neshody určitého parametru provedou opatření. Typickým příkladem jsou svařovací roboty, které monitorují svařovanou spáru a při identifikaci nepřesnosti upravují chod hořáku. [10] [20] [21]

Roboty třetí generace jsou inteligentní roboty, které disponují prvky umělé inteligence. Jsou schopné se přizpůsobit změněným podmínkám, učí se a mohou samostatně řešit zadané úlohy. Vlastnostmi robotů třetí generace jsou vizualizace, hlasová komunikace a orientace v pracovním prostředí. [10] [16]

Roboty jsou členěny podle několika kritérií, která každý autor definuje jinak. Jednotlivá kritéria vycházejí z počtu stupňů volnosti, kinematických struktur, pohonů způsobu řízení atd. Klasifikace robotů podle zdroje [22] je načrtnuta v kap. 4.1.1.

4.1.1 Klasifikace robotů podle kritérií

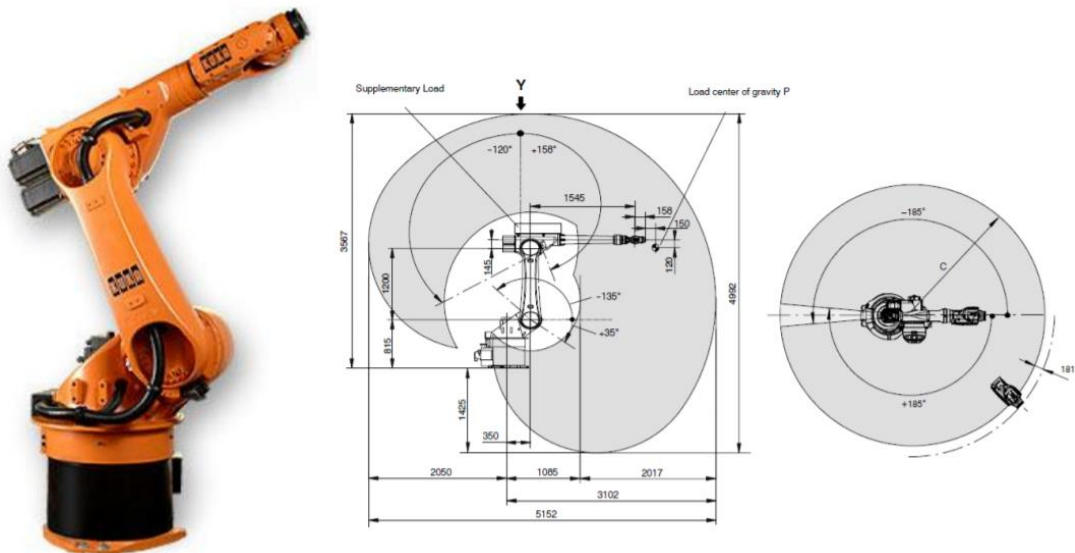
Průmyslové roboty (dále také PR) lze klasifikovat podle několika kritérií, která podmiňují jejich následnou aplikaci ve výrobním procesu. V této kapitole je definováno 5 kritérií, která rozhodují o volbě typu robotu. Tato kritéria lze vidět na Obr. 18 a jsou specifikována v další části kapitoly. [22]



Obr. 18: Kritéria klasifikace robotů

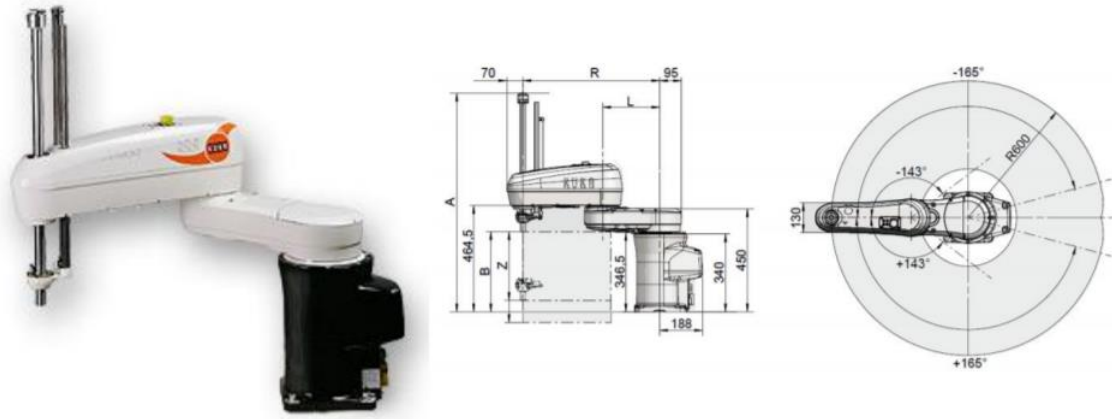
Počet stupňů volnosti

- Univerzální robot je robot se 6 ti stupni volnosti, které jsou jednoznačně vymezeny v kartézském souřadnicovém systému. Univerzální robot včetně schématu pracovního prostoru lze vidět na Obr. 19. [22]



Obr. 19: Univerzální robot KR30 od firmy Kuka včetně schématu dosažitelného pracovního prostoru [23]

- Deficitní robot je robot s méně než 6 ti stupni volnosti, nejčastěji se jedná o Scara roboty, které provádějí montáž prvků v rovině. Scara robot je na Obr. 20. [22]



Obr. 20: SCARA robot od firmy Kuka včetně schématu konstrukce a dosažitelného pracovního prostoru [23]

- Redundantní robot je robot s více než 6 stupni volnosti, který využívá vyšší počet stupňů volnosti k obcházení překážek ve stísněném prostoru. [22]

Kinematická struktura

- Sériové roboty s otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru.
- Paralelní roboty s uzavřeným kinematickým řetězcem manipulátoru.
- Hybridní roboty, které kombinují oba typy řetězců. [22]

Typ pohonu

- PR s elektrickým pohonem, které jsou v současnosti převažující.
- PR s hydraulickým pohonem.
- PR s pneumatickým pohonem. [22]

Oblast vykonávaných činností a nasazení

- Průmyslové roboty, které se využívají v aplikacích spojených s výrobou.
- Servisní roboty, které se využívají hlavně pro obslužné činnosti, jako např. údržba, stavebnictví, nebo zdravotnictví, případně domácí práce. [22]

Kompaktnost konstrukce a autonomnost pohybových jednotek

- Univerzální, které lze nasadit na velké množství úloh nebo jako sestavu na sobě závislých pohybových jednotek.

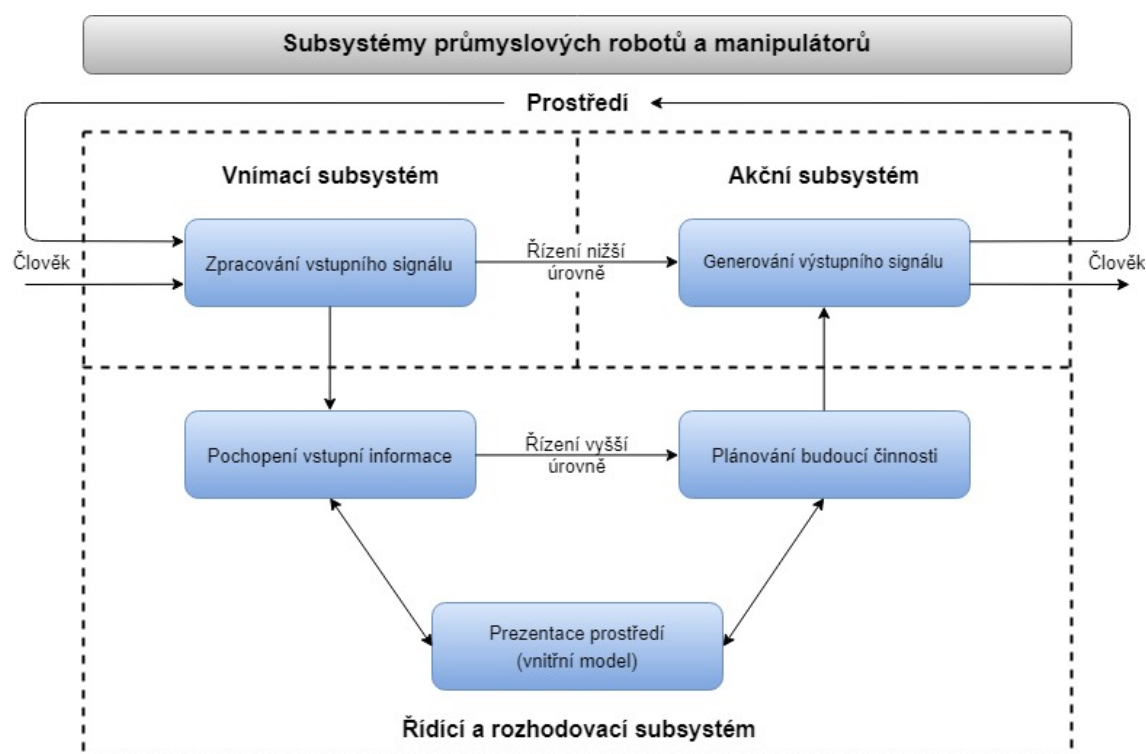
- Modulární neboli stavebnicové, které jsou navrženy jako stavebnice typově rozměrových polohovacích jednotek (modulů), které mohou fungovat samostatně, nebo být sestaveny v jeden funkční celek. [22]

4.2 Struktura průmyslových robotů

Průmyslový robot je mechatronický systém, který se dále skládá z dílčích členů (subsystémů) realizující jeho funkce. Obecně obsahuje každý PR tři subsystémy. [22]

- Akční subsystém
- Řídící subsystém
- Vnímací (senzorický subsystém)

Jednotlivé funkce dílčího subsystému a vzájemnou provázanost těchto subsystémů včetně načrtnutí informačního toku lze pozorovat na Obr. 21. [22]



Obr. 21: Základní subsystémy PRM [22]

Akční subsystém průmyslového robotu je také označován jako subsystém mechanický a slouží k realizaci pohybů robotu. Podle rozsahu jsou pohyby robotu členěny na tři skupiny. [22]

- **Globální pohyby**, které jsou realizovány prostřednictvím pojezdových ústrojí.
- **Regionální pohyby**, které jsou realizovány prostřednictvím polohovacího ústrojí.
- **Lokální pohyby**, které jsou realizovány prostřednictvím orientačního ústrojí, přičemž do této kategorie lze zařadit i uchopovací pohyby koncového efektoru. [22]

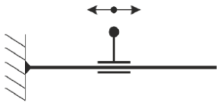
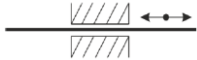
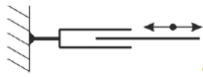
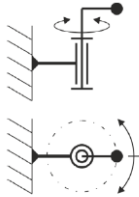
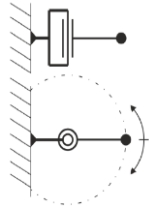
4.3 Kinematika robotů

Kinematika robotu je realizována prostřednictvím akčního členu, viz. kap. 4.2. Robota charakterizuje jeho kinematická struktura, jejímž článkem je kinematický řetězec, který lze definovat jako seskupení jednotlivých členů a vazeb (kinematických dvojic) a dělí se na řetězce otevřené a uzavřené, případně smíšené. Otevřenost, či uzavřenost řetězce je definována připojením funkčních členů robotu k rámu. Kinematické dvojice se dělí na dva základní typy: [10] [22]

- Posuvné (translační) kinematické dvojice
- Rotační kinematické dvojice

Uspořádání a popis funkce jednotlivých kinematických dvojic je uveden v Tab. 1. Zároveň je tabulka doplněna o schematické náčrty ilustrující uspořádání jednotlivých kinematických dvojic. [20]

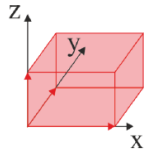
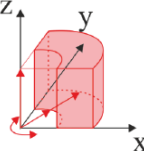
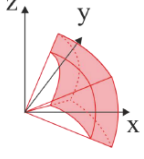
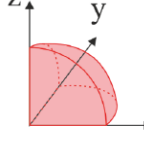
Tab. 1: Základní kinematické dvojice robotů užívané k tvorbě kinematických řetězců [20]

| Základní kinematické dvojice robotů | | | |
|-------------------------------------|------------|--|---|
| | Název | Popis | Schématický náčrt |
| Posuvné kinematické dvojice | Supportové | Po delším vedení je posouváno kratší těleso. |  |
| | Smykadlové | V kratším vedení se posouvá delší těleso. |  |
| | Výsuvné | teleskopické |  |
| Rotační kinematické dvojice | Otočné | Úhel otáčení není omezen. |  |
| | Kyvné | Úhel otáčení je omezen |  |

Kinematické dvojice uvedené v Tab. 1. jsou oproti reálnému konstrukčnímu provedení robotů velmi jednoduché. Současné průmyslové roboty disponují obvykle 6 ti stupni volnosti, a pro každý jednotlivý stupeň může být pohyb rotační nebo posuvný. Zároveň lze jak posuvný, tak i rotační pohyb vztáhnout do tří os x , y , z . [10] [22]

V praxi se u PRM rozšířily čtyři základní typy kinematických struktur, jejichž spojením je určen i pracovní prostor robotu. Pracovní prostor je oblast, kterou obsáhne koncový bod ramene robotu. Základní kinematické struktury a výsledné pracovní prostory jsou znázorněny v Tab. 2. [10]

Tab. 2: Základní kinematické struktury robotů [20]

| Základní typy kinematických struktur | | | |
|--|---------|------------------|--|
| Popis kinematické struktury | Zkratka | Pracovní prostor | Ilustrační obrázek |
| Tři translační kinematické dvojice | TTT | Kvádr |  |
| Jedna rotační a dvě translační dvojice | RTT | Válcový segment |  |
| Dvě rotační a jedna translační dvojice | RRT | Sférický segment |  |
| Tři rotační dvojice | RRR | Torusový segment |  |

4.4 Hlediska posuzování PRM

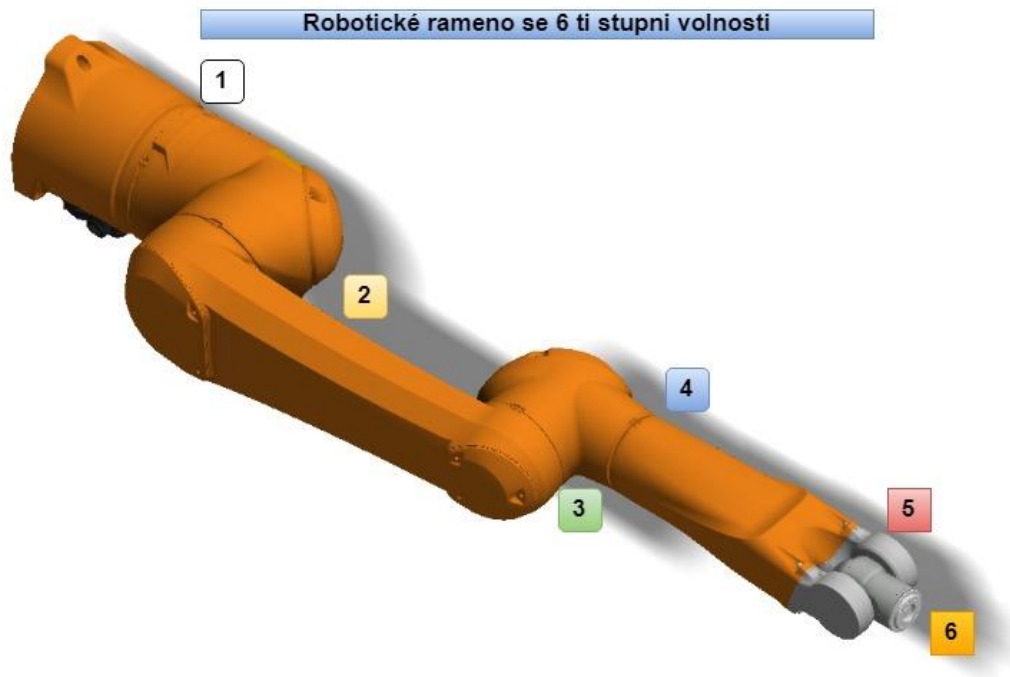
V této kapitole jsou nastíněna kritéria, pomocí nichž se lze řídit při výběru PRM. Samotné zavedení PRM na funkční pracoviště samozřejmě následuje až po detailním rozboru výrobního procesu, na který má být PRM aplikován. Postup pro rozbor výrobního procesu je nastíněn v pak. 3.5. [10]

Manipulační schopnost PRM

Manipulační schopnost PRM je definována druhem, stavbou, a typem použitého zařízení. Závisí na mechanické konstrukci daného PRM a pohyblivosti jeho ramen. Při navrhování robotizovaného pracoviště je třeba na základě výrobní dokumentace (konstrukční dokumentace součásti, technologické a výrobní postupy, situační plán pracoviště) vypracovat kinematické schéma pohybu objektu manipulace, které určí typ robotu. Každý robot je definován dosažitelným pracovním prostorem. Schéma dosažitelného pracovního prostoru lze vidět na Obr. 19 a Obr. 20. [10]

Počet stupňů volnosti

PR nahrazují u výrobního stroje činnost člověka, který plní funkci manipulačního zařízení, prostřednictvím koncového efektoru v podobě lidské ruky. Lidská ruka je definována celkem 27 mi stupni volnosti, čehož v současné době nelze u průmyslového robotu dosáhnout. Robotické rameno se znázorněnými stupni volnosti je na Obr. 22. [10] [20]



Obr. 22: Robotické rameno s vyznačenými stupni volnosti

Manipulační hmotnost břemene

Hmotnost břemene patří k jednomu ze základních kritérií pro výběr vhodného robotu. Do hmotnosti břemene se započítává i hmotnost úchopového mechanismu (koncový efektor). [10]

Přesnost manipulace

Dosahovaná přesnost robotu závisí na konstrukci robotu a použitých prvcích pohonu, odměřování a řízení. Nejpřesnější roboty pracují s přesností desetin milimetrů. V souvislosti s přesností manipulace je třeba zmínit několik veličin. [10] [20]

- **Přesnost polohování** je maximální odchylka mezi požadovanou a skutečnou hodnotou prostorové souřadnice při najetí do konkrétního bodu pracovního prostoru. Přesnost polohování je ovlivněna rychlostí pojezdu, směrem najetí a užitným zatížením.
- **Opakovaná přesnost** bývá vyšší než přesnost polohování, protože je do cílového bodu najeto vždy za stejných podmínek. Tato veličina určuje odchylku mezi jednotlivými nájezdy do bodu prostoru při opakovaném cyklu.
- **Geometrická přesnost** dráhy má význam pouze pro určité aplikace robotů. Určuje odchýlení pracovního bodu robotu, při průjezdu definovanou trajektorií. Tento údaj je důležitý například pro svařovací roboty. [10] [22]

Přesnost, které lze dosáhnout, závisí i na hmotnosti břemene. Výrobci v katalogích udávají přesnost pro určitou hmotnost břemene. Nejpřesněji pracují roboty v systému TTT a nejméně přesné jsou roboty pracující v systému RRR. Výsledná chyba je však závislá i na dalších aspektech, jako například na přesnosti výroby jednotlivých komponent robotu. [10] [20]

4.5 Koncové efekty (grippery)

Následující kapitola se zabývá problematikou konstrukce a volby koncových efektorů robotu neboli gripperů. V kapitole jsou rozebrány jednotlivé typy konstrukce koncových efektorů a jejich využití pro dané průmyslové aplikace.

Koncový efektor je nástroj, který se upevňuje prostřednictvím interface (rozhraní) na konec orientačního ústrojí robotu. Účelem efektoru je realizace úkonů, ke kterým je průmyslový nebo servisní robot konstruován. Efekty lze rozdělit podle jejich účelu. [22]

- Manipulační (úchopové) efekty zajišťují uchopování a manipulaci s materiálem.
- Technologické efekty jsou využívány pro upnutí speciálního přípravku, pomocí něhož je realizována technologická operace, např. svařovací hořák.
- Hybridní efekty jsou kombinací efektorů technologických a manipulačních, např. některé efekty pro montáž.

- Speciální efektor jsou většinou využívány pro speciální aplikace, např. lékařství apod. [22]

V další části kapitoly bude věnována pozornost hlavně manipulačním efektorům, jelikož průmyslový robot, který bude nasazen v rámci návrhu automatizace pracoviště bude určen výhradně pro manipulaci s materiálem. [12] [22]

Manipulační uchopovací efektor lze rozdělit na několik typů z hlediska konstrukce a pohonu. Rozdělení lze vidět v Tab. 3.

Tab. 3: Dělení manipulačních efektorů [20] [22]

| Rozdělení manipulačních koncových efektorů | | |
|--|----------------------|---|
| Typ efektoru | Typ úchopového prvku | Mechanismus úchopového prvku |
| Mechanické | Pasivní | S pevnými a stavitelnými úchopovými prvky |
| | | S pružnými úchopovými prvky |
| | | Speciální (suchý zip, lepidlo...) |
| | Aktivní | Hydromotorem |
| | | Pneumatickým motorem |
| | | Elektromotorem |
| | | Elektromagnetem |
| Magnetické | Pasivní | S permanentními magnety |
| | Aktivní | S elektromagnety |
| Pneumatické | Pasivní | Přísavky |
| | Aktivní | S vývěvou |
| | | S ejektorem |

V následujících podkapitolách je popsána konstrukce mechanických a pneumatických gripperů. Tyto typy koncových efektorů jsou v průmyslu používány pro manipulaci s předměty nejčastěji a mohou být s určitými omezeními využity pro aplikaci v praktické části práce.

4.5.1 Mechanické koncové efektor

Následující kapitola popisuje mechanické úchopové koncové efektor. Popsán je způsob pohonu těchto efektorů a následně jsou nastíněna jednotlivá konstrukční řešení. Důraz je kladen na schematické náčrty mechanismů těchto efektorů a také na způsob jakým lze realizovat sevření čelistí.

Pasivní mechanické úchopové efektor jsou nejjednodušším typem efektorů. Jejich jednoduchá konstrukce a princip je pro některé průmyslové aplikace naprosto

dostačující. Efektor je konstruován na bázi háku, vidlice, nebo jednoduchých čelistí. Přidržení objektu manipulace je zajištěno pomocí gravitačního silového účinku, případně prostřednictvím pružiny. K překonání úchopové síly pro vyjmutí tělesa, které bylo uchopeno je využito pohonu robotu. [20]

Aktivní mechanické úchopové efekory jsou definovány především tvarem a povahou uchopovaného předmětu. Konstrukce samotného efektoru je omezena typem použitého motoru a převody, které realizují sevření a otevření čelistí. Nejčastěji jsou pro pohon koncových efektorů využívány následující typy motorů. [20]

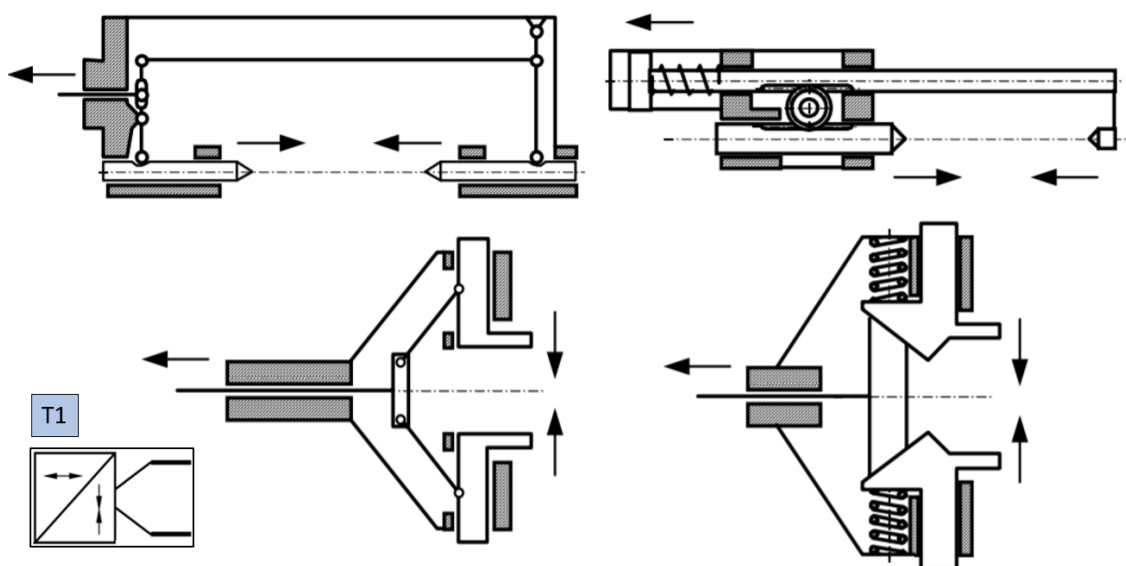
- **Pneumatický motor** je nejčastěji využívaným typem motoru. Tento motor pracuje se stlačeným vzduchem, jehož přívod do koncového efektoru je snadno realizovatelný, a navíc je stlačený vzduch v průmyslových podnicích snadno dostupnou komoditou.
- **Hydraulický motor** je charakteristický vysokým měrným výkonem a rozměry, které se dají snadno minimalizovat. Nevýhodou je potřeba kompletního hydraulického agregátu a složité zajištění rozvodu kapaliny až do koncového efektoru. Navíc při netěsnosti nebo poškození hydraulického vedení hrozí znečištění pracoviště.
- **Elektromotor** je výhodný z hlediska snadného řízení výkonu a dosaženého kroutícího momentu, avšak jejich zástavba do systému efektoru je složitá a značnou nevýhodou je, že výstupem elektromotoru může být pouze rotační pohyb, který je často nutné transformovat na pohyb lineární a redukovat dosažené otáčky. [22]

Z předchozího popisu vyplývá, že pro sevření čelistí u aktivních mechanických úchopových prvků je nutné generovat svěrnou sílu prostřednictvím motoru (pohon) s lineárním nebo rotačním pohybovým výstupem. Pohybový výstup je následně nutné převést do pohybového mechanismu, který realizuje sevření čelistí. Následující tabulka zobrazuje jednotlivé kombinace pohybových výstupů z motoru a pohybového mechanismu, který uskutečňuje sevření čelistí. [22]

Tab. 4: Kombinace pohybů motorů a mechanismu čelistí [22]

| Označení | Motor | Úchopové prvky | Transformace pohybu |
|----------|---------|----------------|---------------------|
| T1 | Posuvný | Posuvné | |
| T2 | Posuvný | Rotační | |
| T3 | Rotační | Posuvné | |
| T4 | Rotační | Rotační | |

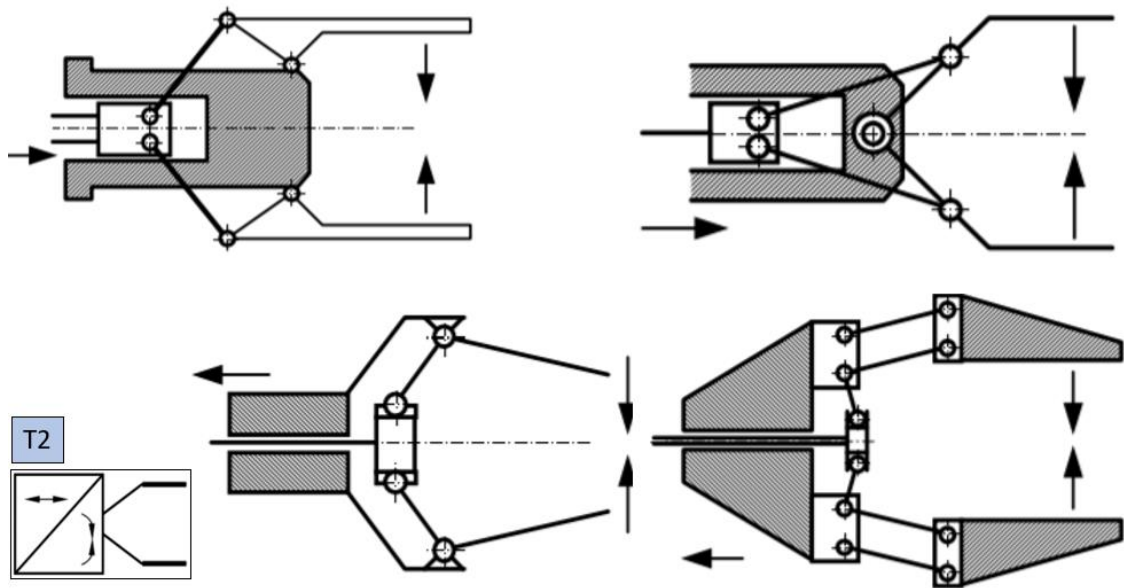
Na Obr. 23 lze vidět konstrukční návrhy koncových efektorů pro kombinaci T1. Tyto koncové efekторы využívají ve většině případů pneumatický pohon a lineární pohybový mechanismus. [22]



Obr. 23: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T1 [22]

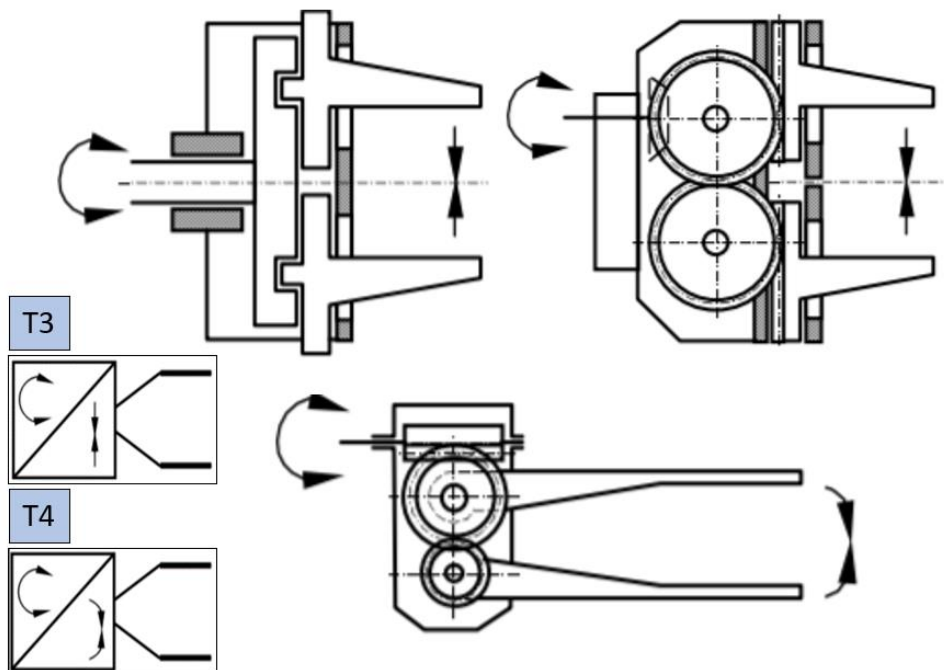
Skupina T2 využívá pro realizaci pohybu čelistí ozubený nebo kloubový mechanismus. Zároveň také poskytují konstantní převod a umožňují i přidání vloženého převodového členu. Vložený převodový člen zajišťuje různou rychlost pohybu čelistí. Kloubové mechanismy mění okamžitý převodový poměr se změnou konfigurace, což

znamená, že pro rozdílné rozměry uchopovaných předmětů je nutné vyšetřit převodovou funkci. Možné konstrukční návrhy lze vidět na Obr. 24. [22]



Obr. 24: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T2 [22]

Skupiny T3 a T4 jsou charakteristické především robustní konstrukcí, proto jsou v průmyslu využívány především pro manipulaci těles s vysokou hmotností. Schematické znázornění možných konstrukčních návrhů je vidět na Obr. 25. [22]



Obr. 25: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T3 a T4 [22]

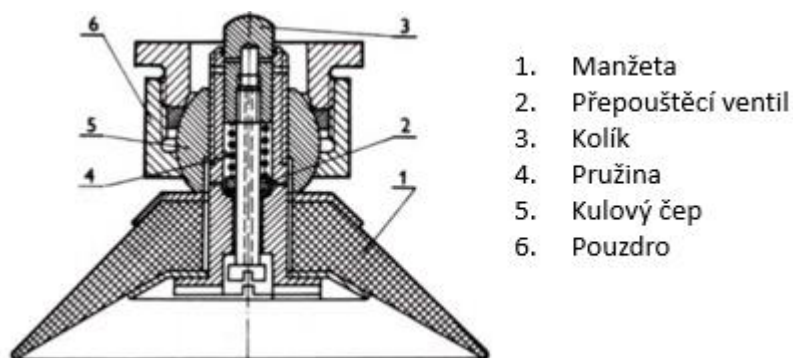
Předchozí popsala pohon a konstrukci mechanických koncových efektorů, které lze využít pro manipulaci s materiálem. Obrázky jednotlivých typů gripperů z hlediska transformace pohybu jsou znázorněny pouze schematicky. Obrázky z průmyslu jsou zobrazeny a popsány v 4.6.

4.5.2 Pneumatické koncové efektor

Tato kapitola popisuje konstrukci pneumatických koncových úchopových efektorů. Jsou popsány jednotlivé typy efektorů a způsob realizace přtlaku mezi efektozem a objektem manipulace. Příklady z průmyslu jsou popsány v kapitole 4.6.

Podobně jako u mechanických koncových úchopových efektorů lze i pneumatické gripperly rozdělit na aktivní a pasivní podle použitých úchopových prvků, viz Tab. 3. Výhodou pro použití pneumatických koncových efektorů je často snadná dostupnost stlačeného vzduchu ve výrobních závodech. [22]

Pasivní přísavky vytvářejí podtlak na základě pohybu ramene robotu, kde je pomocí pohybu směrem k tělesu manipulace deformována elastická manžeta, přičemž je vytlačen vzduch v prostoru mezi manžetou a uchopovaným předmětem. Problémem pasivních pneumatických efektorů je nutnost odstranění nečistot z povrchu uchopovaného tělesa a vysoký požadavek na rovinnost tělesa. Pokud nedojde ke splnění těchto podmínek nedojde k uchopení objektu manipulace. Z praktických důvodů jsou v dnešním průmyslu využívány téměř výhradně úchopové prvky aktivní. [22]

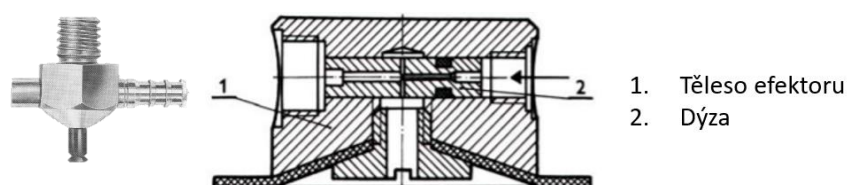


Obr. 26: Schematický náčrt pasivního úchopového prvku [22]

Řešení zobrazené na Obr. 26 umožňuje vytlačit vzduch přepouštěcím ventilem, který je následně uzavřen pružinou. Objekt manipulace je uvolněn stlačením kolíku

a otevřením spojení s vnějším vzduchem prostorem nad kulovým čepem. Kulový čep je schopen realizovat přizpůsobení přísavky ke sklonu povrchu objektu manipulace. [22]

Aktivní úchopové prvky, které bývají využívány častěji, než pasivní úchopové prvky jsou opatřeny ejektory, případně vývěvami (málo časté řešení). Ejektor je zařízení, které využívá průchodu stlačeného vzduchu dýzou, čímž je v nejužším místě vyvolán podtlak, a toto místo je spojeno s prostorem nad manžetou. Princip funkce je vidět na Obr. 27.



Obr. 27: Ejektor a schematický náčrt aktivního pneumatického úchopového prvku opatřeného efektorom [22]

V praxi existují dvě varianty řešení úchopu. První varianta počítá s opatřením každé přísavky ejektorem. Druhá varianta počítá s větším počtem přísavek napojených na jeden ejektor. Přísavka může realizovat přítlak až v okamžiku dotyku s objektem manipulace, což musí být programově ošetřeno. Nejčastěji je použit senzor dotyku, umístěný uvnitř manžety, který vyšle do řídicího systému robotu signál o dotyku. Konstrukci s ejektorem lze rovněž modifikovat pro uchopení objektů s nevodorovným povrchem, prostřednictvím zabudování kulového čepu. Toto řešení je vidět na Obr. 28.



Obr. 28: Schematické znázornění uchopení objektu s nevodorovným povrchem [22]

Pneumatické efektory jsou vhodné pro manipulaci téměř s každým materiálem. V praxi jsou užívány pro manipulaci s ocelovými plechy, plastovými výlisky, dřevěnými výlisky, skleněnými tabulemi apod. Nevýhodami pro použití pneumatických efektorů je nutnost čistého povrchu objektu manipulace a poddajnost úchopových prvků, které souvisí s nižší přesností polohování oproti mechanickým efektorům.

Výběr vhodného koncového efektoru je jedním ze zásadních rozhodnutí, která probíhají při navrhování a realizaci projektu zavedení PRM. Pokud do VP, na který má být robot nasazen vstupují výrobky s různými geometrickými, mechanickými, materiálovými a užitnými charakteristikami, je často nutné vyvinout speciální koncový efektor pro danou aplikaci, případně využívat několik koncových efektorů, které se budou měnit se změnou výrobku.

4.6 Možná řešení v průmyslu

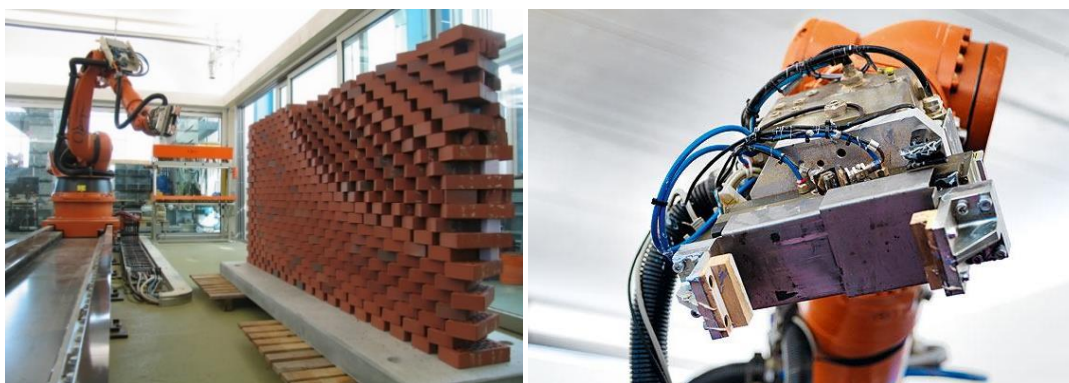
Tato kapitola pojednává o řešeních, která jsou realizována v průmyslu v souvislosti s manipulací cihlářských výrobků. Kapitola se soustředí na popis příkladů jednotlivých řešení.

V současné době se problematice manipulace s cihlovým materiálem, případně využití robotů ve výrobě cihlářských výrobků věnuje mnoho firem. V průmyslu se vyskytují i firmy, které nabízejí design úchopových prvků pro roboty od známých výrobců (Kuka, Fanuc, ABB ...) na míru a specializují se ve využití robotiky pro manipulaci s cihlářskými výrobky. Další hojnou aplikací robotů v cihlářském průmyslu je jejich využití pro pokládání a stavbu zdiva. Níže jsou nastíněna jednotlivá řešení manipulace s cihlářským materiálem.



Obr. 29: Robotický manipulátor se speciálním koncovým efektozem od firmy Titan-machinery a řešení pro rozměrově větší výrobky od Tecauma [24] [25]

Na Obr. 29 vlevo lze vidět robotický manipulátor vybavený speciálním koncovým efektem, vhodným pro uchopení cihel. Efektor je vyroben z titanu, což umožňuje zvýšit hmotnost manipulačního břemene v důsledku snížení hmotnosti koncového efektoru. Zajímavým řešením je integrace více úchopových prvků do jednoho koncového efektoru pro zvýšení počtu břemen, která lze přemístit během jednoho manipulačního cyklu. Na Obr. 29 vpravo lze pozorovat využití robotického manipulátoru s koncovým efektem určeným pro manipulaci rozměrově větších cihlářských výrobků. [24] [25]



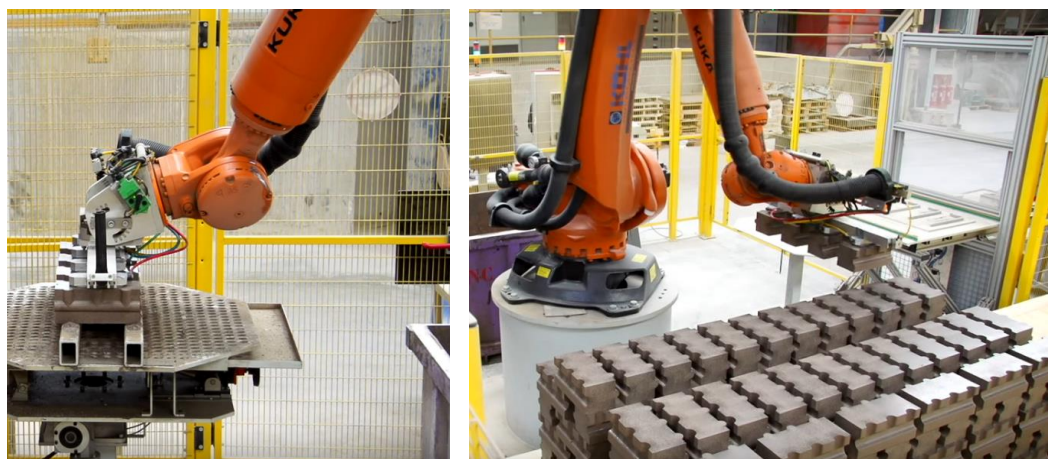
Obr. 30: Robot s vloženým stupněm volnosti a detail na jeho koncový efektor [26]

Na Obr. 30 vlevo lze pozorovat průmyslovou aplikaci robotu s vloženým lineárním stupněm volnosti. Toto řešení umožňuje obsáhnout větší pracovní prostor a zároveň provádět manipulační úkony nakládky a vykládky na více manipulačních jednotkách zároveň. Na Obr. 30 vpravo lze vidět v detailu koncový efektor tohoto robotu využívající pneumatický pohon. [26]



Obr. 31: Manipulační zařízení ve firmě Hanson brick [27]

Na Obr. 31 lze vidět zařízení pro nakládku a vykládku, případně paletování rozměrově větších cihlových výrobků. Manipulátor je zde realizován prostřednictvím mostové konstrukce s pojezdy, které jsou umístěny v kolejničích. Pohon je řešen prostřednictvím elektromotorů. Výhodou tohoto řešení je vysoká nosnost a úspora prostoru, nevýhodou pak malá modularita. [26] [27]



Obr. 32: Robot vybavený pneumatickým efektořem pro uchopení čtyř objektů manipulace [28]

Na Obr. 32 lze vidět robot vybavený pneumatickým koncovým efektořem pro uchopení 4 objektů manipulace najednou. Tento koncový efektoř je vybaven pojezdy pro jednotlivé prvky, aby bylo možno dosáhnout větší variability při ukládání objektů manipulace. Toto řešení je vhodné pro manipulaci s křehkými předměty. [28]

4.7 Závěr

Výběr vhodného typu robotu pro manipulační aplikaci je složitým procesem, do něhož vstupuje mnoho kritérií. Je nutné zvažovat charakteristiky robotu, jako je počet stupňů volnosti, manipulační hmotnost, typ a velikost pracovního prostoru, typy pohonu a kinematických struktur. Nedílnou součástí je nejen výběr a konstrukce koncových efektořů, ale i výběr vhodných dodavatelů. V neposlední řadě je třeba zvažovat prostředí, v němž bude robot lokalizován a vhodně zvolit bezpečnostní prvky, aby nedošlo k nehodě, případně k poranění personálu.

5 Analýza současného stavu

Tato kapitola analyzuje současný stav výroby. Popisuje detailně stávající výrobní proces, materiálový tok, vytvoření layoutu, detailní popis pracovišť lisu 9 a 4 a činností na nich probíhajících, což vede k vytvoření okrajových podmínek určujících technicko-organizační opatření a omezujících automatizaci výše zmíněných pracovišť. Přehled prováděných činností a jejich posloupnost lze vidět na Obr. 33.

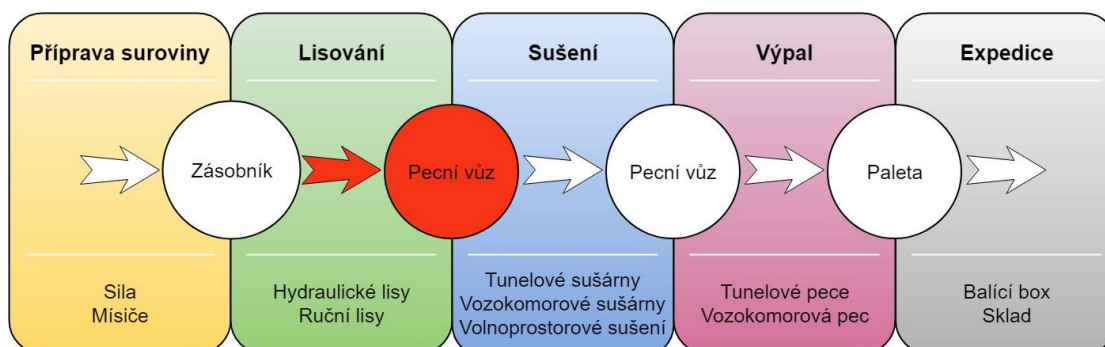


Obr. 33: Postup prováděných činností

Pro analýzu současného stavu byl zvolen jeden z postupů systémového přístupu, a to konkrétně systém „shora-dolů“, viz kap. 3.6, kdy je postupováno od zkoumání a popisu vyšších celků systému k celkům nižším. Jednotlivé kapitoly obsahují dílčí komentáře, které jsou shrnuty v závěru kapitoly.

5.1 Stávající výrobní proces

V této kapitole je popsán stávající výrobní proces. Při popisu VP bude věnována pozornost především procesu výroby tvarovek, jelikož se práce zabývá automatizací pracovišť lisů strojního tváření. Konkrétně se jedná pracoviště 9 a pracoviště 4. Simplifikované schéma stávajícího VP lze vidět na Obr. 34 a podrobněji je popsáno ve zbytku kapitoly.



Obr. 34: Výrobní proces tvarovek

Na Obr. 34 jsou popsány jednotlivé výrobní operace, které je nutné provést, v rámci stávajícího VP. V bílých rámečcích je vepsáno zařízení, na kterém se nachází materiál (případně rozpracovaná výroba). Červeně je zvýrazněna oblast VP, kterou se zabývá tato práce. V dolní části rámečků jsou sepsána pracoviště, na kterých je daná část VP realizována.

VP začíná přípravou odležené směsi, která je skladována v silech. Směs potom přechází do mechanických mísičů nebo ručních mísičů, ve kterých směs dávkuje operátoři. Během přípravy směsi dochází k:

- Regulaci vlastností směsi prostřednictvím změny obsahu rozdělovací vody, ostřením, lehčením a dalšími přísadami.
- Homogenizaci směsi prostřednictvím drcení, mísení a mletí, které je realizováno rovněž v mechanických mísičích.

Připravená směs je dopravena prostřednictvím pásových dopravníků k hydraulickým lisům, kde probíhá její lisování. Firma disponuje pracovišti pro strojní lisování a dalšími pracovišti pro lisování ruční. Tvarovky jsou vyráběny pomocí ražení na hydraulických lisech. Po vylisování přemístí vyhazovač hotovou tvarovku na pásový dopravník, který ji posune směrem k pecnímu vozu. Dalším krokem, který provádí obsluha pracoviště, je manuální přemístění tvarovky z pásového dopravníku na pecní vůz.

Po dosažení nakládkové kapacity vozu, následuje přesun pecního vozu do sušárny, neboť je nutné snížit obsah vody ve výrobku, aby nedošlo k jeho porušení při vypalování. Firma rozlišuje dva základní principy sušení:

- Sušení volnoprostorové, při němž jsou pecní vozy naložené tvarovkami ponechány po určenou dobu na sušících kolejích.
- Sušení v sušárnách, při kterém pecní vozy projíždějí sušící pecí a následně jsou odstaveny na odstavných kolejích.

Po ukončení sušení následuje vypalování ve vozokomorových nebo tunelových pecích. Firma v současné době disponuje čtyřmi pecemi tunelovými a jednou pecí vozokomorovou. Vypalování zahrnuje ohřev na potřebnou vypalovací teplotu a

postupné ochlazení tělesa na teplotu okolí. Teplota výpalu se pohybuje v rozmezí 860–1050 °C v závislosti na typu výrobku. Doba procesu vypalování se pohybuje v rozmezí 10 až 30 hodin.

Po ukončení výpalu jsou pecní vozy přemístěny na skladovací koleje, kde dochází k přesunu výrobků na palety, k jejich balení a k uskladnění ve vnitřním nebo venkovním skladu, případně k exportu k odběratelům.

Proces výroby tvarovek je ve zjednodušené podobě znám již řadu let. Celkový detailní popis technologie výroby, včetně jednotlivých parametrů je chráněn interním tajemstvím a není předmětem této práce.

5.2 Materiálový tok v podniku

Kapitola popisuje materiálový tok a interní logistiku v podniku, které jsou realizovány prostřednictvím několika zařízení. V kapitole je popsán celý materiálový tok a také jednotlivá manipulační zařízení a transportní jednotky.

Prvním manipulačním zařízením jsou pásové dopravníky, které zajišťují transport materiálu z mísičů do hydraulických lisů. Dopravníky jsou řešeny pomocí mostové konstrukce, aby pod nimi mohli procházet zaměstnanci a projíždět pecní vozy. Tyto dopravníky jsou zabudovány pevně do konstrukce jednotlivých pracovišť lisů a mísičů.

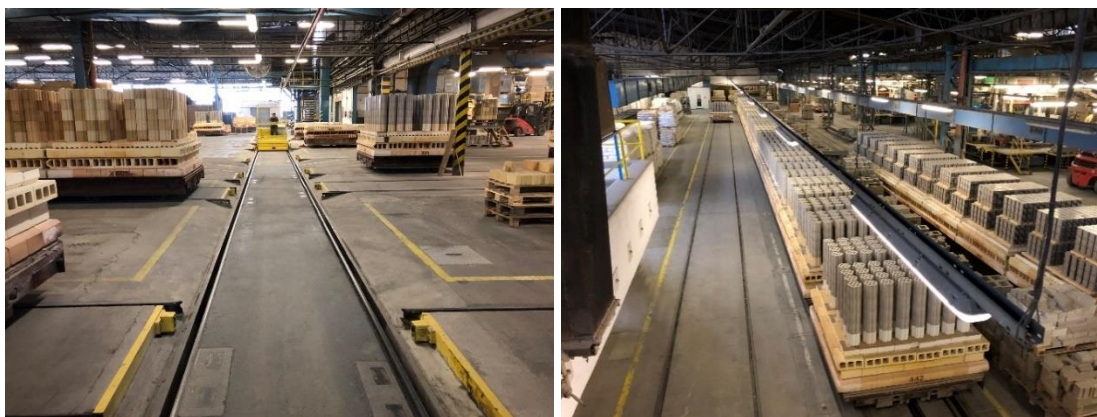
Po lisování na hydraulickém lisu je dokončená tvarovka vysunuta na pásový dopravník prostřednictvím vyhazovače stroje. Pásový dopravník přiřazený ke stroji přesouvá tvarovku/tvarovky blíže k pecnímu vozu, viz. Obr. 35. Zároveň je na tomto dopravníku realizováno odstranění otřepů prostřednictvím smetáku. Jelikož je pracoviště obsluhováno dvěma kolejemi, je pásový dopravník vybaven pravým a levým chodem.



Obr. 35: Pracoviště hydraulického lisu společně s pásovým dopravníkem a transport pecního vozu po průběžné koleji prostřednictvím VZV.

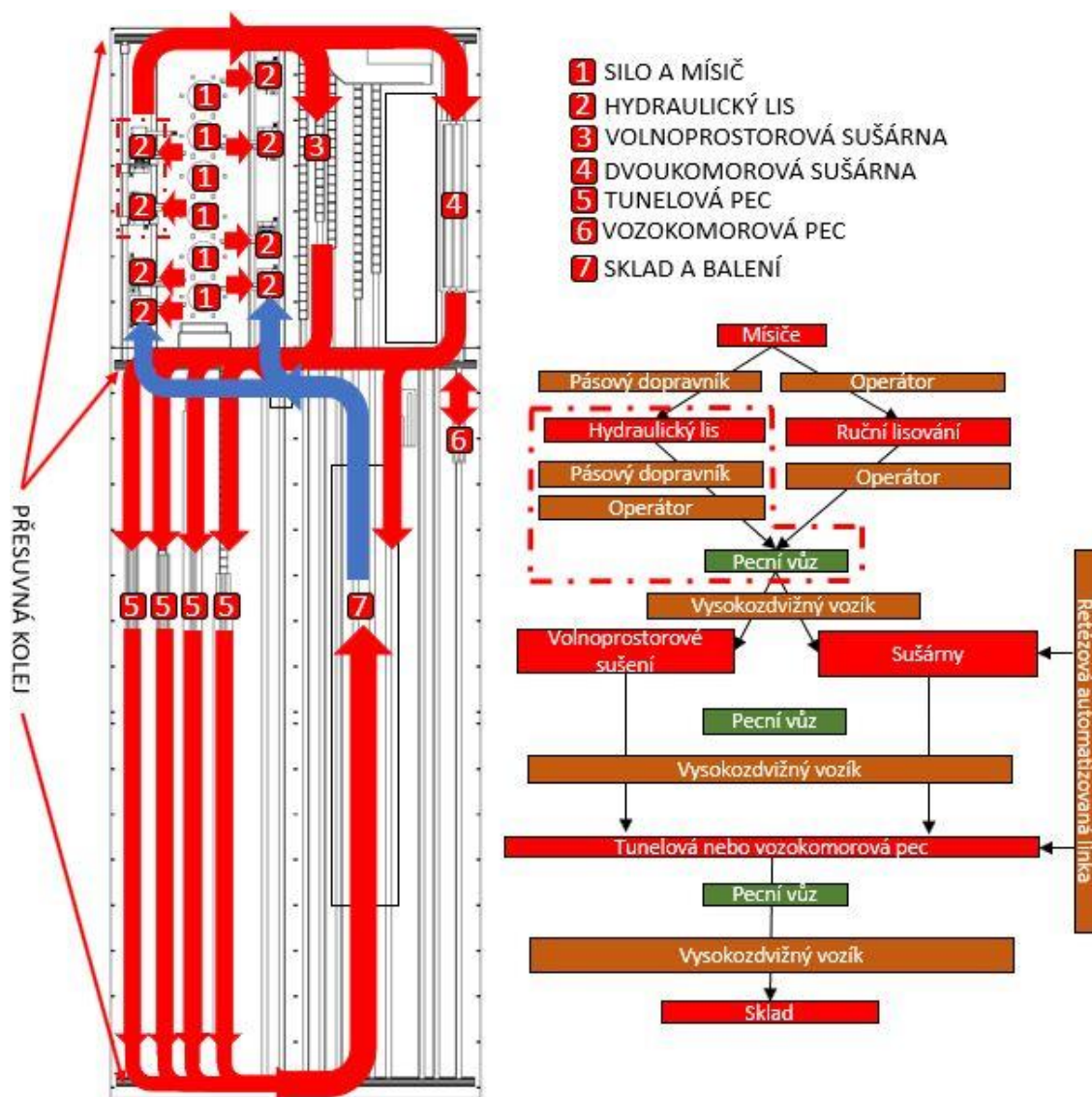
Dopravu rozpracované výroby (vylisované tvarovky) v podniku realizují pecní vozy a soustava kolejiště, které se skládá z kolejí průběžných a tří kolejí přesuvných. Od lisu je naložený pecní vůz transportován na volné sušení, případně do automatické sušárny. Pro dopravu a transport po průběžných kolejích je využit vysokozdvizný vozík (dále také VZV) a při průjezdu tunelovou sušárnou je vůz připojen na automatizovanou řetězovou linku.

Po dokončení sušení následuje transport pecních vozů do tunelových pecí. Transport po kolejišti provádí VZV a průjezd pecí zajišťuje automatizovaná řetězová linka. Po dokončení vypalování v tunelových pecích jsou pecní vozy přesunuty do oblasti skladu a balírny. Zde jsou vypálené tvarovky manuálně přeloženy na palety a následně baleny. Prázdné pecní vozy jsou přesunuty na průběžné koleje, které obsluhují pracoviště lisů, případně na pracoviště sloužící k opravě vyzdívky.



Obr. 36: Přesuvná kolej, společně se speciálním zařízením a průběžné koleje, konkrétně volnoprostorová sušárna

Transport pecních vozů po přesuvných kolejích zajišťuje speciální manipulační zařízení, které lze vidět na Obr. 36. Toto manipulační zařízení dokáže přesunout pouze jeden pecní vůz. Pecní vozy zajišťují transport materiálu pouze ve výrobní hale a nevyjíždějí z haly ven.



Obr. 37: Schéma materiálového toku

Celkové schéma interní logistiky, které popisuje materiálový tok a zařízení, která vstupují do interní logistiky je znázorněno na Obr. 37. Červeně jsou vyznačena jednotlivá pracoviště, kde dochází k technologickým operacím. Oranžově jsou označena zařízení, která realizují transport materiálu a zeleně jsou označeny pecní vozy, které lze chápat jako transportní jednotku. Červeným rámečkem je označena část logistického procesu, pro kterou je uvažována automatizace, a která je blíže popsána v následujících

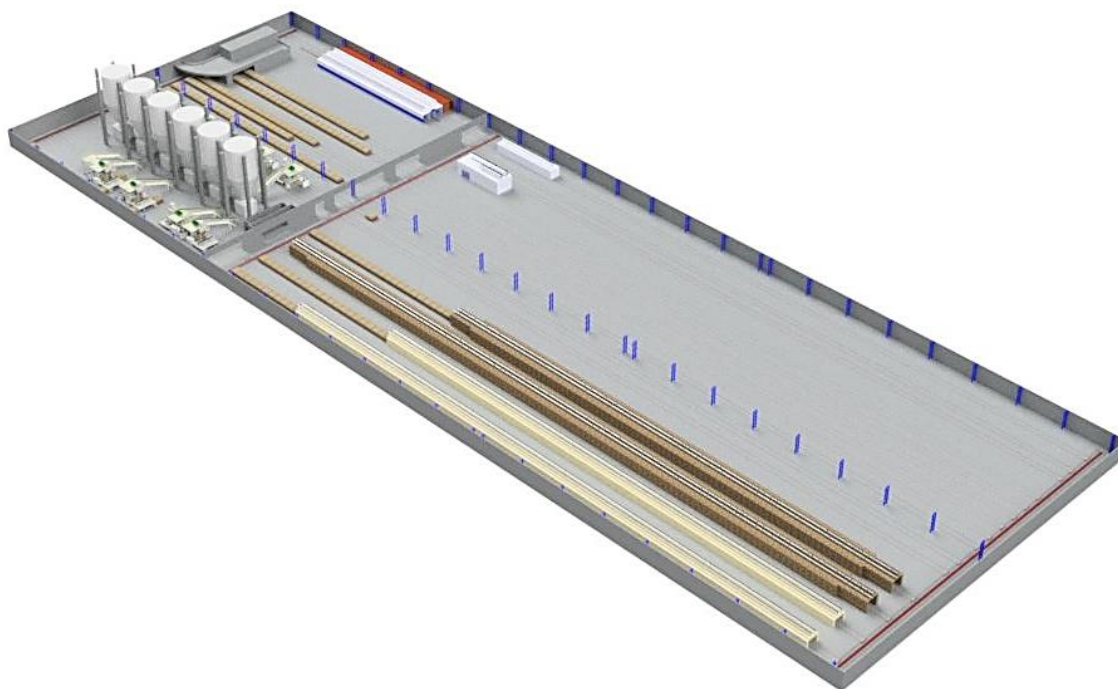
kapitolách. Směr toku materiálu je vyznačen na obrázku layoutu haly pomocí červených šipek. Vracení pecních vozů zpět ke hydraulickým lisům je označeno modrými šipkami.

Kritickým místem pro zavedení automatizace na pracovištích 4 a 9 bude pravděpodobně volná kapacita průběžných kolejí, které obsluhují pracoviště zmíněných lisů. Pro zavedení automatizace je nutné přezkoumat možné kapacity těchto kolejí a zároveň navrhnout systém posunu pecních vozů. Do návrhu systému je nutné zahrnout i pracoviště 8 a 4, o jejichž automatizaci firma zatím neuvažuje.

V předmětné kapitole byl popsán materiálový tok (dále také MT) a interní logistiku (dále také IL) ve výrobní hale. Zároveň byl načrtnut systém interní logistiky a představena manipulační zařízení a transportní jednotky, které MT a IL zajišťují. Kapacitu IL firmy lze předběžně hodnotit jako limitní faktor pro budoucí zvyšování objemu výroby. Důvodem je malé množství přesuvných kolejí, které není vzhledem k současným prostorovým dispozicím možné rozšířit. Celková optimalizace interní logistiky výrobního závodu P-D Refractories Velké Opatovice by mohla být předmětem dalšího výzkumu.

5.3 Tvorba layoutu

Pro pokračování práce na analýze bylo nutné vytvořit nový layout výrobní haly. Firma disponovala starým layoutem, viz. Obr. 38, který nezachycoval všechny změny, k nimž v souvislosti s rozšiřováním a přestavbou výroby v průběhu vývoje firmy došlo. Původní layout byl rozměrově neodpovídající, a pozice jednotlivých strojů, zařízení v něm, neaktuální a nepřesné.

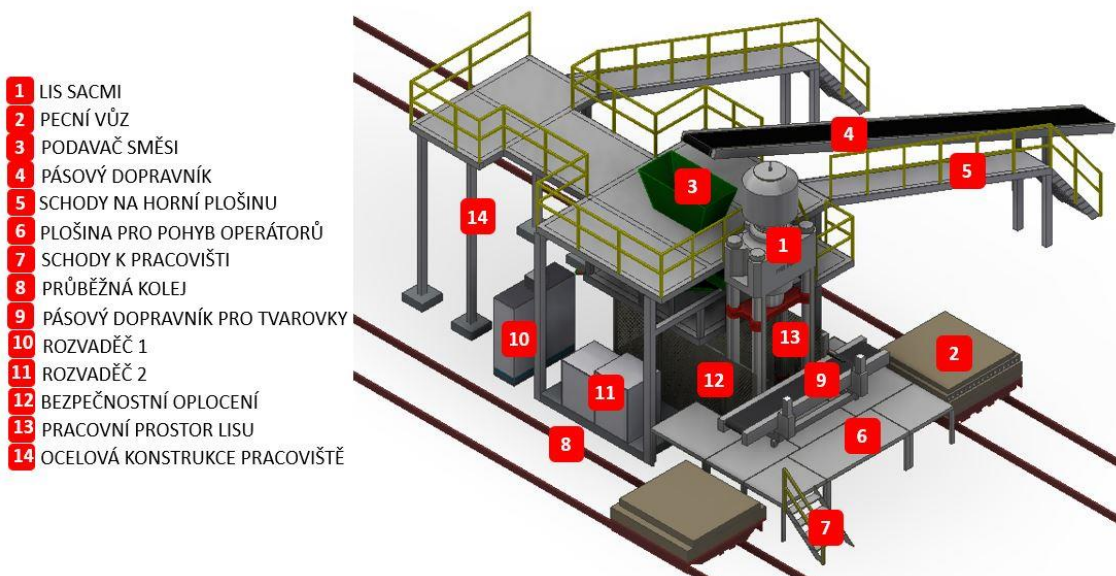


Obr. 39: Nový 3D layout haly

Nový layout umožňuje virtuální kontrolu rozměrů pracovišť a jejich umístění ve výrobních prostorech podniku. Dále je možné prostřednictvím 3D modelu ověřit kapacity kolejiště, případně volné kapacity současného výrobního prostoru. V práci je layout dále použit ve všech dílčích kapitolách.

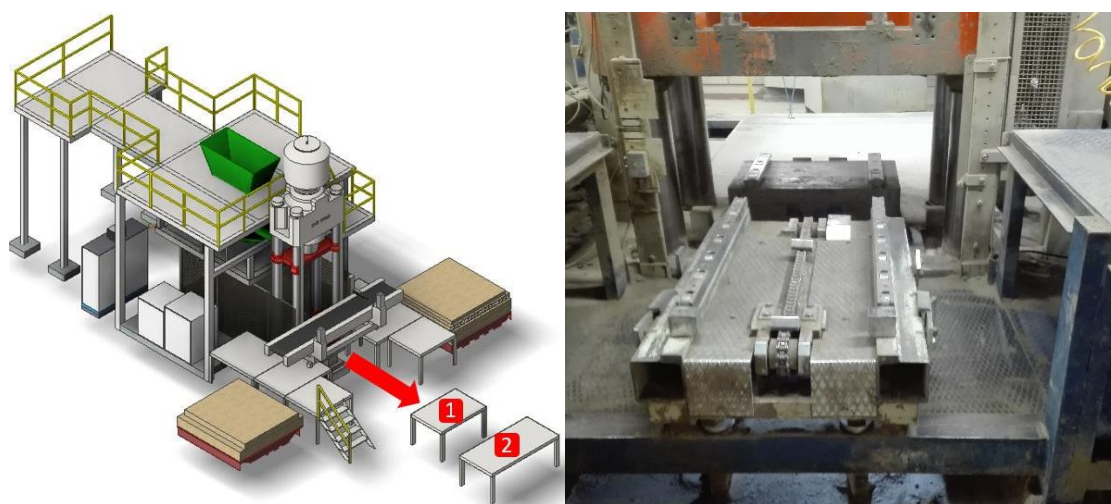
5.4 Popis pracoviště 9 a 4

Kapitola detailně popisuje konfiguraci pracoviště strojního tváření 9, včetně činností, které zde probíhají. Na Obr. 40 lze vidět zjednodušený 3D model pracoviště 9, doplněný o popis jeho jednotlivých částí. Pracoviště 4 a 9 jsou zástavbovými rozměry shodné a probíhající činnosti se rovněž shodují. Z uvedeného důvodu bude popsáno pouze pracoviště 9. Pracoviště se skládá z prvků základní konstrukce (ocelová konstrukce, schody na horná plošinu, lis Sacmi, průběžné koleje...), s nimiž nelze manipulovat, a prvků přídatných (plošiny pro pohyb operátora, schody k pracovišti, pásový dopravník pro vylisované tvarovky...), s nimiž manipulovat lze.



Obr. 40: Dílčí prvky pracoviště 9

Následující část kapitoly popisuje činnosti, které probíhají na pracovišti v průběhu VP tvarovek. Po alokaci zakázky na pracoviště je nutné vložit do pracovního prostoru lisu příslušnou formu. Nejprve jsou vyjmuty dva segmenty plošin, po kterých se pohybuje operátor pracoviště, viz. Obr. 41 vlevo. Forma je na pracoviště přivezena pomocí VZV a následně umístěna na speciální přípravek (Obr. 41 vpravo), pomocí kterého je umístěna do pracovního prostoru lisu.



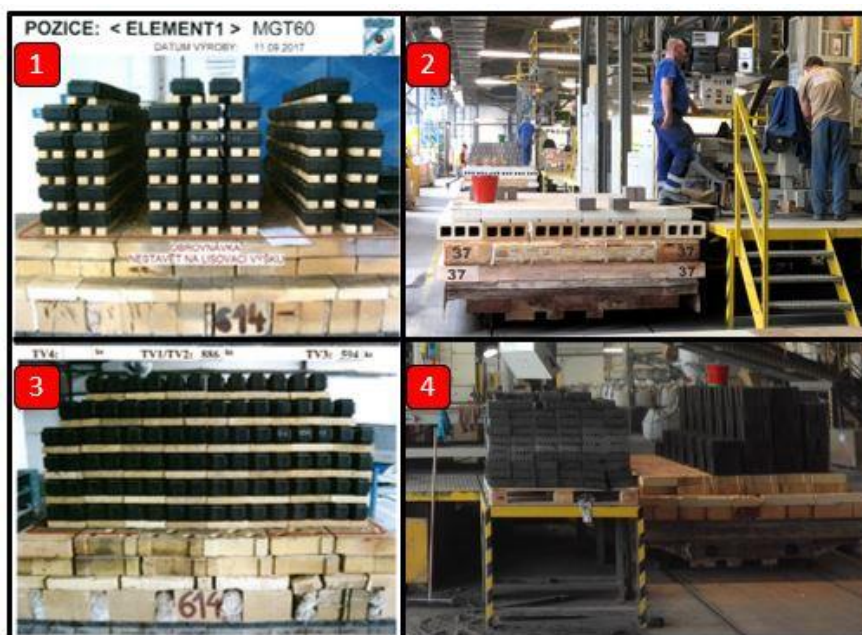
Obr. 41: Vyjmutí příslušných plošin a speciální přípravek pro vložení formy

Po umístění formy do pracovního prostoru lisu zadá operátor prostřednictvím kontrolního panelu lisu příslušný program, včetně určení směru chodu na pásovém dopravníku pro hotové tvarovky. Před spuštěním dopravníku je ještě nutné upevnit

smeták, který realizuje odstranění otřepů na vylisovaných tvarovkách. Pokud není k pracovišti přistaven pecní vůz, nakládají operátoři hotové tvarovky na palety, z nichž jsou po příjezdu pecního vozu přeloženy právě na vůz (Obr. 42).

Po spuštění lisu, do něhož je směs dodávána prostřednictvím pásového dopravníku následuje vylisování tvarovky. Tvarovka je z pracovního prostoru lisu pomocí vyhazovače umístěna na pásový dopravník. Pásový dopravník následně realizuje přesun tvarovky blíže k pecnímu vozu, při jehož průběhu jsou smetákem odstraněny otřepy. Následuje manuální nakládka pecního vozu, kterou provádí operátor pracoviště.

Nakládka jednotlivých typů tvarovek a jejich skladovací pořádek je prováděn podle interních předpisů. Příklad takového předpisu lze vidět na Obr. 42. a základní skládky pro jednotlivé tvarovky lze najít v Tab. 5, v kapitole 5.5. Z Obr. 42 je patrné, že jednotlivá patra skládky je nutné prokládat speciálními cihlami pro zajištění rovnoměrného sušení a vypalování. Prokladové cihly jsou na pracoviště transportovány na paletách pomocí VZV a následně umístěny na plošiny pro pohyb operátorů. Případně je na pracoviště dopravena externí plošina, na kterou se umístí paleta s prokladovými cihlami. Na uvedené palety jsou umístěny i výrobky, které operátor vyhodnotí jako neshodné. Jednotlivá patra skládky jsou zasypávána prosypovou směsí, která je na pracovištích uskladněna v kbelících, viz Obr. 42 sekce 2.



Obr. 42: 1,2) Interní předpis pro skládku tvarovek; 2) Zakládání skládky a prosyp; 3) Skládky výroby na paletě z důvodu nepřítomného volného pecního vozu

Následuje odvoz palet realizovaný prostřednictvím postrku pomocí VZV. Často je postrčeno více pecních vozů najednou, které potom prostřednictvím setrvačnosti dojedou až k přesuvné koleji. Následný VP byl stručně popsán v kapitolách 5.1 a 5.2.

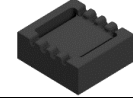

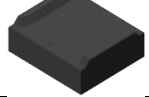
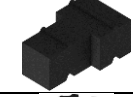

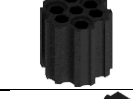

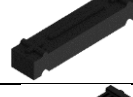

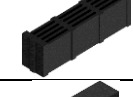


Závěr

Z detailního popisu pracoviště vyplývá, že některé prvky a činnosti na pracovištích 4 a 9 bude nutné zohlednit i při návrhu automatizace. Tyto veličiny lze definovat jako okrajové (omezující) podmínky. Jejich bližšímu stanovení a popisu je věnována kapitola 5.6. Stávající stav činností na pracovištích lze optimalizovat modifikací interní logistiky, případně optimalizací plánování výroby.

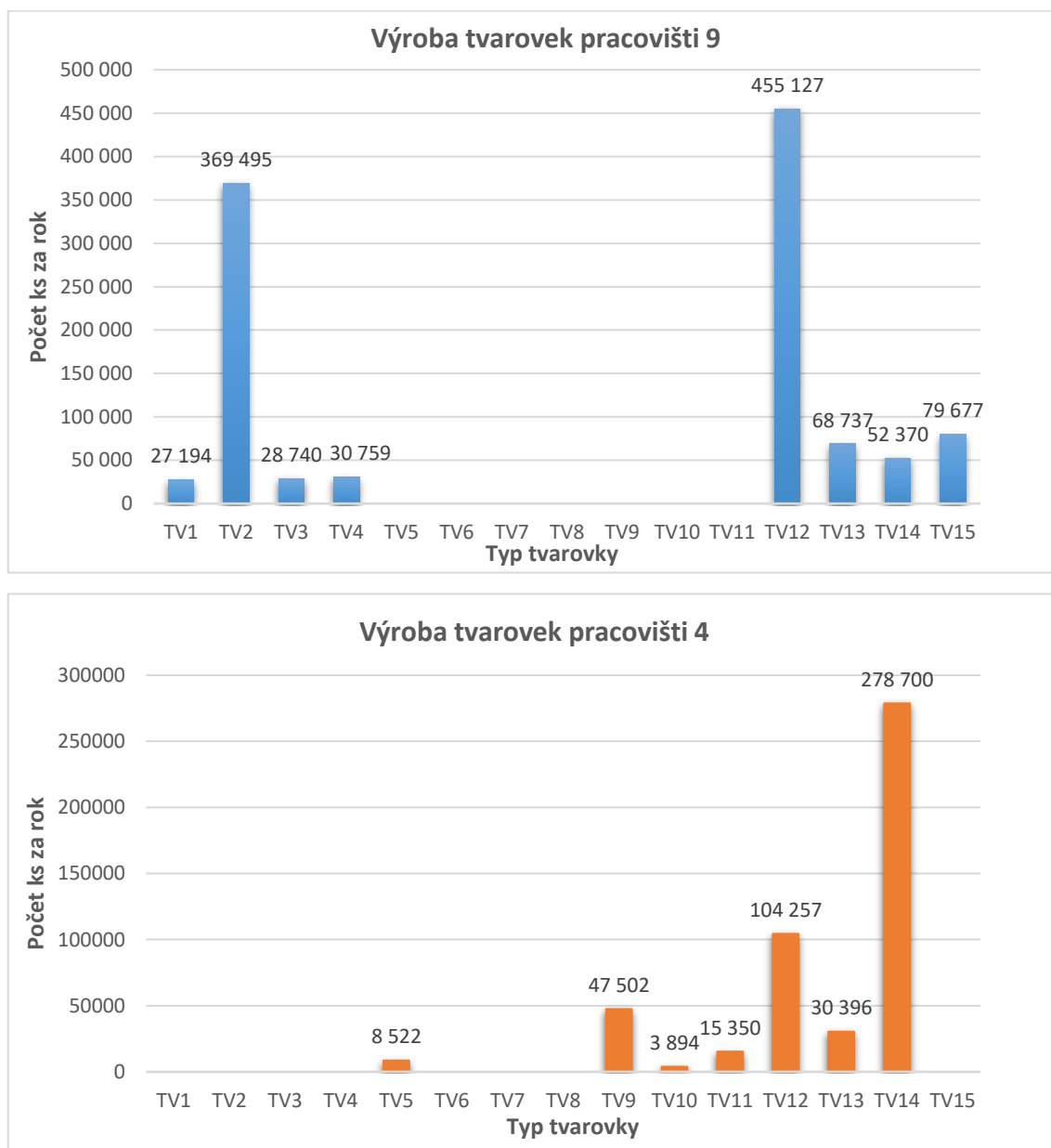
5.5 Portfolio produktů vstupujících na pracoviště 9 a 4

Kapitola pojednává o výrobcích, které jsou vyráběny na pracovištích strojního tváření. Detailní popis jednotlivých výrobků a jejich dalších parametrů jako hmotnost, rozměry, počet tvarovek v jedné formě, cyklový čas atd., jsou znázorněny v Tab. 5.

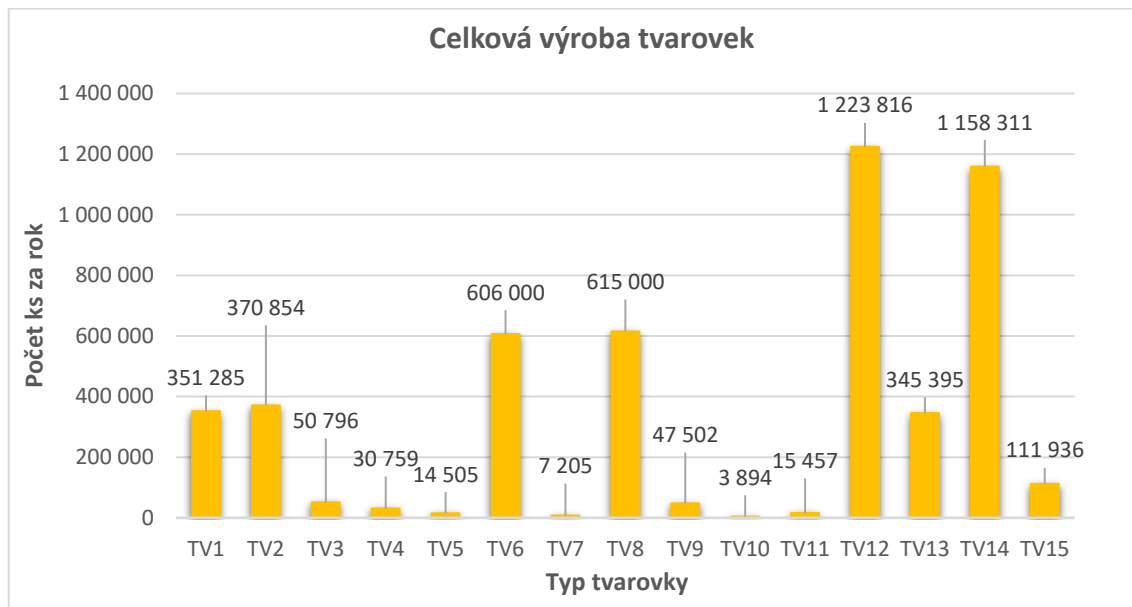
Tab. 5: Výrobky vstupující na pracoviště 4 a 9

| Označení | Hmotnost [Kg] | Čas cyklu [s] | Počet tvarovek ve formě | Charakteristický rozměr | Obrázek | Skládka na pecním voze |
|----------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|--|---|
| TV1 | 5,80 | 28 | 2 | 226×210×35 |  |  |
| TV2 | 7,00 | 14 | 2 | 187,5×174×69,5 |  |  |
| TV3 | 5,00 | 18 | 1 | 180×96×96 |  |  |
| TV4 | 7,10 | 14 | 2 | 203,2×177,8×69,9 |  |  |
| TV5 | 16,04 | 56 | 2 | 350×211×128 |  |  |
| TV6 | 7,20 | 30 | 2 | 196,1×184,6×186 |  |  |
| TV7 | 10,35 | 40 | 1 | 531,9×112,8×74,7 |  |  |
| TV8 | 7,82 | 68 | 2 | 460×110×131 |  |  |
| TV9 | 4,96 | 24 | 3 | 230×152×66 |  |  |
| TV10 | 1,56 | 30 | 5 | 110×60×110 |  |  |
| TV11 | 49,67 | 86 | 1 | 400×380×152 |  |  |
| TV12 | 3,12 | 23 | 4 | 220×110×60 |  |  |
| TV13 | 3,60 | 23 | 4 | 230×114×64 |  |  |
| TV14 | 4,27 | 23 | 4 | 250×124×64 |  |  |
| TV15 | 6,28 | 26 | 2 | 300×150×64 |  |  |

Firma také dodala údaje o množství vyráběných kusů na pracovištích 9 a 4, které lze vidět na Obr. 43. Graf popisuje počty kusů (dále také ks), které jsou vyrobeny za rok a také alokaci tvarovek na jednotlivé stroje. Celkový počet vyrobených ks za rok lze vidět na Obr. 44. U některých normalizovaných tvarovek (TV12, TV14) je patrné, že celkový počet vyrobených ks za rok výrazně přesahuje počty ks, které byly vyrobeny na pracovištích 4 a 9.



Obr. 43: Počet ks tvarovek vyrobených na pracovištích 9 a 4 za rok



Obr. 44: Celkový počet vyrobených ks jednotlivých tvarovek za rok

Po detailním prostudování Tab. 5, Obr. 43 a Obr. 44 lze pozorovat, že výrobky vykazují značné odlišnosti ve všech zmíněných charakteristikách v Tab. 5.

Počet vyrobených ks a jejich alokace na jednotlivá pracoviště

Z Obr. 43 a Obr. 44 lze pozorovat, že se počty vyrobených ks jednotlivých tvarovek značně liší. Nejvyšší počty vyrobených ks ročně vykazují TV12 a TV14, konkrétně více než 1 milion ks. Výroba těchto tvarovek však není alokována pouze na pracovištích 4 a 9. Dalšími výrobky, které vykazují velký objem výroby jsou TV6 a TV8, přičemž jejich výroba je alokována na další pracoviště strojního tváření. V rámci zamýšlené automatizace by bylo příhodné alokovat zakázky s nejvyšším objemem výroby na automatizovaná pracoviště.

Firma v současné době pro alokaci zakázek na pracoviště využívá systém SAP. Po zavedení automatizace bude nutné systém a alokaci zakázek upravit, případně do odhadu zahrnout, že některé výrobky budou muset být alokovány na automatizovaných pracovištích.

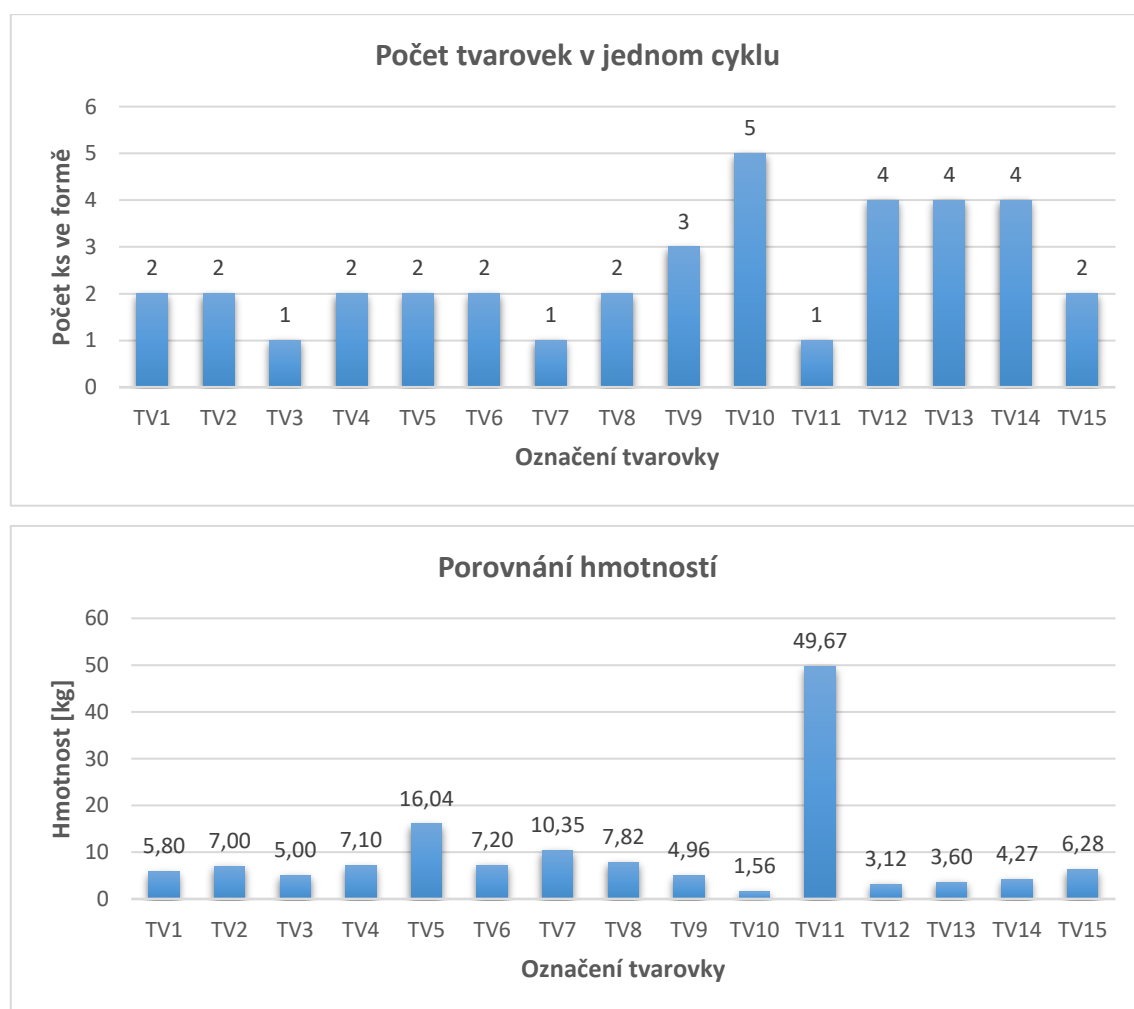
Geometrická podobnost

Lze pozorovat, že výrobky TV 9 až TV 15 vykazují tvarovou podobnost. Jedná se o kvádry s různými rozměrech, bez složitějších geometrických charakteristik. Zbývající

výrobky vykazují základní tvar kvádrů, jsou však na nich výstupky, případně dutiny. Specifickým případem je TV6, který nevykazuje tvar kvádrů, ale je složen z několika šestiúhelníků, opatřených dutinami a výstupky.

Hmotnost a počet tvarovek ve formě

Na Obr. 45 je znázorněno porovnání hmotností pro jednotlivé výrobky. Výraznější odchylky vykazují výrobky TV5, TV7 a TV11. Ostatní výrobky mají podobnou hmotnost. Počty tvarovek ve formě se pohybují od 1 do 5 ti kusů. Tento údaj závisí především na tvarové složitosti výrobků, jejich rozměrech, hmotnosti a také typu lisovacího stroje.

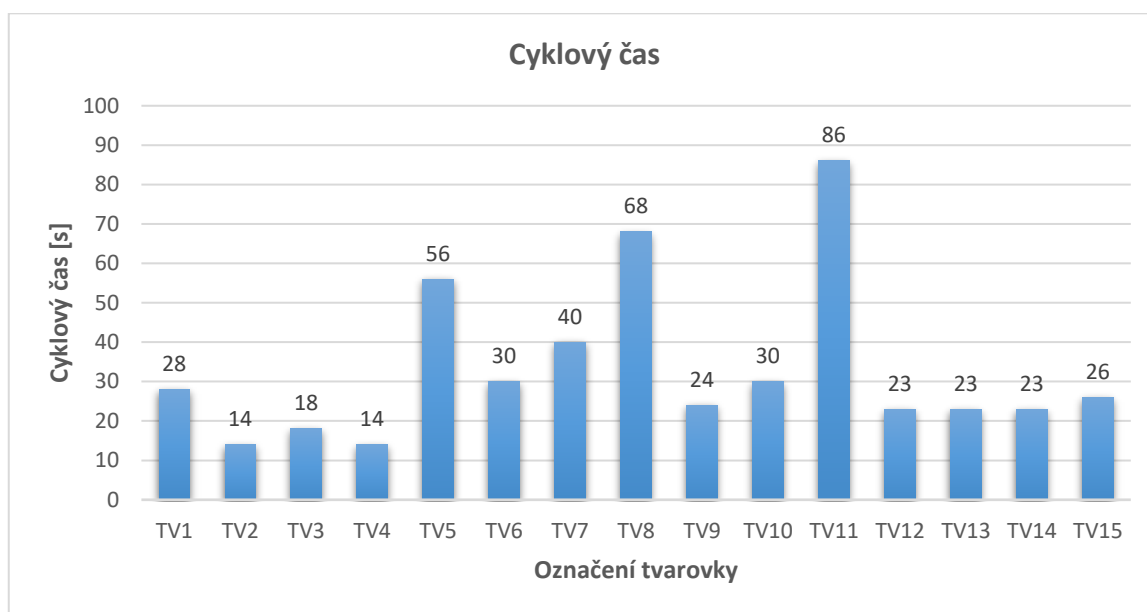


Obr. 45: Porovnání hmotností a počtu tvarovek ve formě

Analýza hmotnosti a počtu tvarovek ve formě je důležitá především pro volbu koncového efektoru robotického ramene. Je možné uvažovat o uchopení více tvarovek najednou v rámci jednoho gripperu, viz. kap. 4.6.

Cyklový čas

Dalším důležitým parametrem je cyklový čas. Schematické porovnání cyklových časů pro jednotlivé výrobky lze vidět na Obr. 46.



Obr. 46: Porovnání cyklových časů pro jednotlivé tvarovky

Při porovnání Obr. 45 a Obr. 46 je patrná závislost mezi hmotností výrobku a jeho cyklovým časem. Jedná se o logický důsledek, protože se předpokládá, že výrobky s většími rozměry a hmotností se budou vyrábět déle. Nejvyšší cyklový čas vykazuje nejtěžší výrobek TV11, dále pak výrobky TV5 a TV8. Z hlediska porovnání vykazují příznivé vlastnosti výrobky TV12 až 14, které mají shodné cyklové časy.

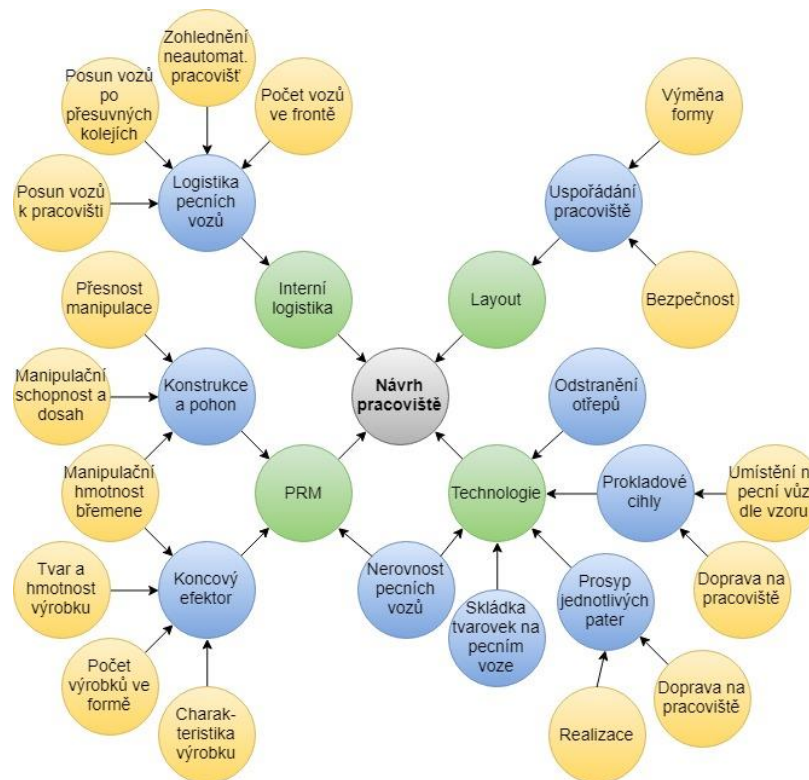
Závěr

Z výše popsaných údajů a charakteristik vyplývá, že pro automatizaci bude nevhodnější zvolit výrobky TV12 a TV14, případně TV13. Tyto výrobky vykazují geometrickou podobnost, podobnou hmotnost, stejný cyklový čas a nejvyšší objem výroby, která je zatím alokována na pracovištích 9 a 4 pouze částí svého objemu výroby. Po zavedení automatizace by bylo dobré vhodné výrobu kompletně alokovat na

automatizovaná pracoviště. Zmíněné výrobky se vyrábějí po čtyřech kusech na jeden cyklus, což umožňuje využití víceprvkového koncového efektoru, viz kap. 4.5 a 4.6.

5.6 Určení a definice okrajových podmínek

V kapitolách výše zmíněných byl popsán stávající VP, materiálový tok a interní logistika. Detailně bylo popsáno pracoviště 9 a činnosti na něm probíhající. V neposlední řadě bylo analyzováno portfolio výrobků vstupujících na pracoviště strojního tváření. Předchozí analýza přináší poznatky o současném stavu výroby, které budou využity pro volbu okrajových podmínek v této kapitole. Okrajové podmínky jsou schematicky načrtnuty na Obr. 47.



Obr. 47: Schematické znázornění okrajových podmínek pro návrh automatizace prostřednictvím PRM

Zeleně jsou zobrazeny čtyři hlavní kritéria stávající výroby, jejichž dílčí veličiny je nutné v souvislosti se zavedením PRM zohlednit, případně změnit. Modře jsou zobrazeny jednotlivé okrajové podmínky, které vstupují do procesu návrhu automatizace. Oranžově jsou znázorněny další dílčí okrajové podmínky, případně činnosti, které je nutné zvážit. Zohlednění podmínek uvedených na Obr. 47. je základním

předpokladem pro návrh technicko-organizačních opatření a automatizovaného pracoviště. Níže jsou rozvedena čtyři hlavní kritéria a jejich dílčí veličiny.

Layout

V rámci návrhu umístění PRM a přestavby pracoviště, včetně dalších zástavbových prvků, je nutné při návrhu zohlednit stávající layout závodu a pracoviště. Tyto layouty byly popsány v dílčích částech kap. 5. Hlavní okrajovou podmínkou bude umístění dílčích prvků pracoviště tak, aby mohla být realizována výměna formy, která je uskutečněna prostřednictvím VZV a speciálního přípravku umístěného pod plošinami pro pohyb operátora, blíže popsáno v kap. 5.4. Zároveň je nutné zajistit volný průjezd pecních vozů a umístit bezpečnostní prvky pracoviště tak, aby je bylo možné odejmout, případně přesunout.

Technologie

V rámci zachování současné technologie výroby a dosažení potřebné kvality je nutné zohlednit několik okrajových podmínek, které jsou popsány níže. Dodržení těchto podmínek bude nejsložitějším krokem v průběhu návrhu pracoviště.

- První z nich je odstranění otřepů, které v současné době provádí smeták umístěný na automatickém pásovém dopravníku.
- Dalším faktorem je nutnost umístění prokladových cihel do skládky na pecním voze. Proklad zajišťuje rovnoměrnější proudění vzduchu při vysušování a tím i dosažení lepší rovnoměrnosti a kvality vypalování.
- Dle technologického postupu je nutné prosypávat jednotlivá patra skládky prostřednictvím písku. Díky prosypání pískem k sobě při výpalu jednotlivá patra skládky nepřilnou. V současné době ho realizuje operátor pracoviště prostřednictvím kbelíku.
- Pro dodržení technologického postupu výroby a dosažení potřebné kvality je nutné skladovat tvarovky na pecní vozy podle interních předpisů firmy. Tyto předpisy vycházejí ze zkušeností a interního knowhow.

- Poslední omezující podmínkou je fakt, že povrch pecního vozu není rovný. Nerovnost povrchu je zapříčiněna vyzdívkou pecního vozu, která je tvořena cihlami a je vrstvena manuálně.

Interní logistika

Hlavní část interní logistiky je realizována prostřednictvím pecních vozů posouvaných pomocí VZV, více v kap. 5.2 a 5.4. Hlavním problémem bude zajistit dostatečný přísun pecních vozů pro pracoviště 9, 4 a zohlednit přitom pracoviště 8, 6, která budou nadále obsluhována operátory a s pracovišti 9,4 sdílejí průběžné koleje.

PRM

Zásadními podmínkami omezujícími typ a nasazení PRM jsou jeho konstrukce, pohon. Dalším podmínkou je typ a konstrukce koncového efektoru. Pohon a konstrukce robotu omezuje další veličiny, jako např. dosažitelný pracovní prostor, hmotnost manipulačního břemene, opakovatelná přesnost atd., více v kap. 4.1.1. Další omezující podmínkou je konstrukce a výběr vhodného gripperu. Ten se odvíjí především podle manipulační schopnosti robotu, typu robotu a charakteristik manipulovaného předmětu.

Vzhledem k nasazení robotu do cihlářského závodu bude dalším parametrem výběru garantovaná prachu-vzdornost a krytování. Posledním důležitou podmínkou bude výběr a realizace vhodné bezpečnostní ochrany, aby nedošlo k úrazům.

Kapitola definuje okrajové podmínky, s nimiž je nutné počítat při návrhu technicko-organizačních opatření a návrhu automatizovaného pracoviště. Byla stanovena 4 hlavní kritéria, do nichž vstupuje devět okrajových podmínek a následně další dílčí okrajové podmínky. Ty bude nutné respektovat při návrhu dalších částí práce.

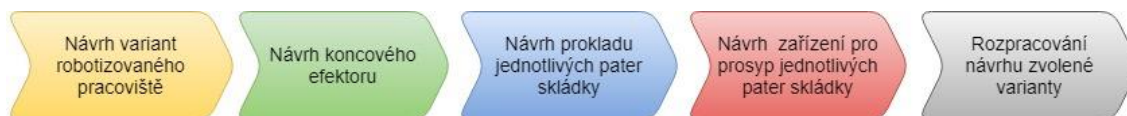
5.7 Závěr

V kapitole 5 byla provedena detailní analýza současného stavu výroby v závodu P-D Refractories Velké Opatovice. Byla provedena analýza produktů, které vstupují na pracoviště strojního tváření, materiálového toku a pracovišť určených k automatizaci, aby byly určeny okrajové podmínky, které bude nutné respektovat v další části práce. Zároveň byl vytvořen 3D layout závodu, který zohledňuje skutečné rozměry pracovišť a současný stav výroby. Pro analýzu byl zvolen systémový přístup, konkrétně metoda „shora-dolů“ popsaná v rešeršní části práce a poznatky získané při zpracování kap. 3.

Firma se v současném stavu nachází před 3. fází migrace automatizace, kdy se se přechází z automatizovaných pracovišť s manuálním transportem na pracoviště s transportem automatizovaným. Z hlediska simplifikace a zlepšování VP je aktuální proces na pracovištích 9 a 4 obtížné simplifikovat, protože do něho vstupuje mnoho okrajových podmínek popsanych v kap. 5.6.

6 Návrh vlastní automatizace výroby

Následující kapitola popisuje návrh automatizovaného pracoviště pro strojní lisování tvarovek. Jednotlivé kapitoly na sebe navazují s cílem navrhnout kompletní automatizované pracoviště, včetně jeho dílčích prvků. Schéma postupu návrhu je patrné z Obr. 48.



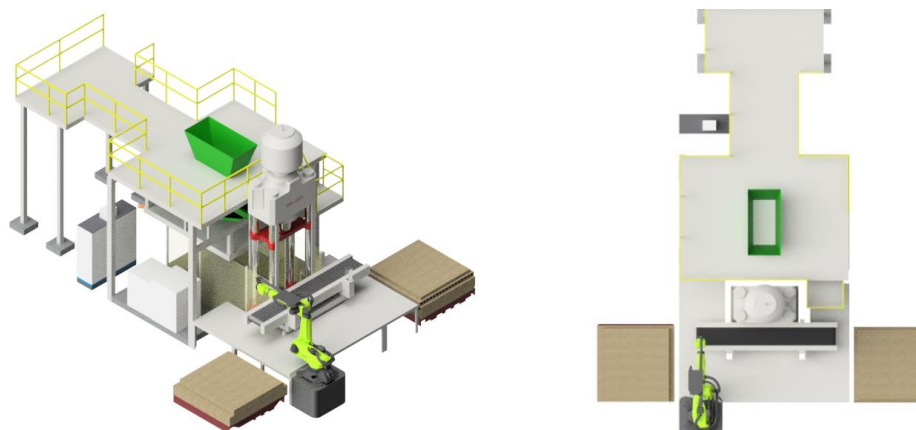
Obr. 48: Postup návrhu automatizovaného pracoviště

Kapitola nejprve navrhuje 5 variant automatizovaného pracoviště, které se liší z hlediska typu PRM, jeho konstrukce a umístění. Z těchto variant je na základě definovaných kritérií zvolena varianta, které bude dále rozpracována. Pro zvolenou variantu jsou navrženy koncové efekторы, zařízení pro prosyp jednotlivých pater skládky, zařízení pro realizaci prokladu jednotlivých pater, a v závěru kapitoly je popsán layout zvolené varianty.

6.1 Návrh variant robotizovaného pracoviště

Následující kapitola popisuje návrhy řešení robotizace pro lis číslo 9. V návrhu je popsáno pouze pracoviště 9, protože pracoviště 4 je z hlediska rozměrů manipulačního prostoru a konfigurace stejné. Studie počítá primárně s využitím robotu, který tvarovky přemístí na pecní vůz. Níže jsou nastíněné jednotlivé varianty řešení a 3D modely, které umožňují bližší představu o fungování pracoviště po realizaci automatizace.

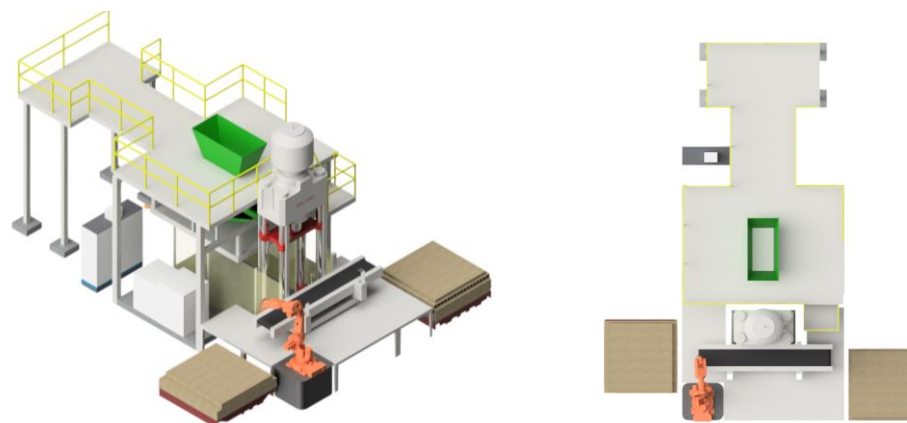
Varianta 1



Obr. 49: Varianta 1: grafický návrh

Varianta 1 počítá s umístěním robotu KUKA KR 120/R3500, který by obsluhoval pouze jednu kolej. Druhá kolej zůstane volná pro stávající výrobu, která probíhá na pracovištích 6 a 8. Robot bude na pracovištích 4 a 9 umístěn tak, aby obsluhoval kolej blíže ke stěně. Varianta počítá se zachováním stávajícího pracoviště téměř beze změn. Umožňuje tedy v případě problému, či odstávky robotu plynule přepnout na manuální manipulaci materiálu. Prostor pro výměnu formy zůstává beze změn, tudíž je možno formy měnit dosavadním způsobem (pomocí VZV). Varianta uvažuje použít stávající pásový dopravník od firmy Bevini, který je k pracovišti přiřazen. Varianta počítá s umístěním robotu na stejném místě jak pro lis 9, tak pro lis 4. Na Obr. 49 lze vidět náhled navrhovaného řešení pro lis 9.

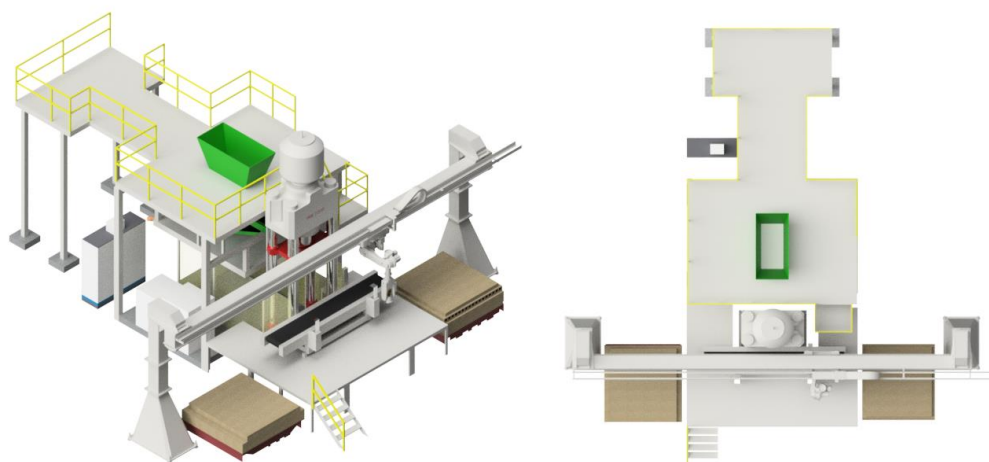
Varianta 2



Obr. 50: Varianta 2: grafický návrh

Varianta 2 počítá s jiným umístěním robotu blíže k pásovému dopravníku. To umožní využití robotu s menší vzdáleností dosahu a menší nosností. Předpokladem je opět zachování jedné koleje pro pracoviště 6 a 8, která nebudou v rámci projektu automatizována. Zachován bude i pásový dopravník Bevini, který bude sloužit k dopravě tvarovek od lisu k robotu. Navrhované řešení nezasahuje do prostoru pro výměnu formy a umožňuje plynulé přepnutí z robotické manipulace na manipulaci manuální, v případě odstávky robotu. Pro vizualizaci byl použit robot od firmy ABB IRB 6620 s možností dosahů horního ramene 2,2 m, případně lze použít alternativu ABB IRB 6640 s dosahy 2,55 – 3,2 m. Nosnost robotu je 150 kg a více, záleží na jednotlivém provedení.

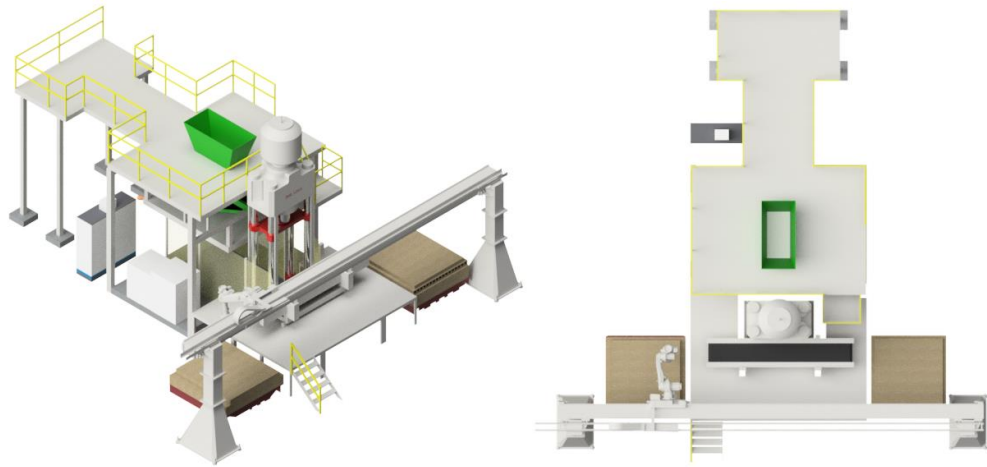
Varianta 3



Obr. 51: Varianta 3: grafický návrh

Varianta 3 počítá s využitím robotu IRB 6620 s vloženou osou, který je umístěn na mostové konstrukci, a který by směrem dolů obsluhoval obě koleje. Pásový dopravník Bevini je opět zachován. Tato konfigurace umožňuje volné přepnutí na manuální obsluhu pracoviště. Prostor pro výměnu forem je beze změn, což umožňuje zachování stávající technologie výměny formy. Pro vizualizaci pracoviště byla použita konstrukce robotu IRB 6620 LX od firmy ABB. Společnost ABB dodává tyto konstrukce v délce až 30 m a ve výšce do 5 m podle požadavků zákazníka. Na mostové konstrukci je umístěn robot s dosahem 2,5m, který je schopen obsáhnout celý pecní vůz a dosáhnout až na povrch železných plošin.

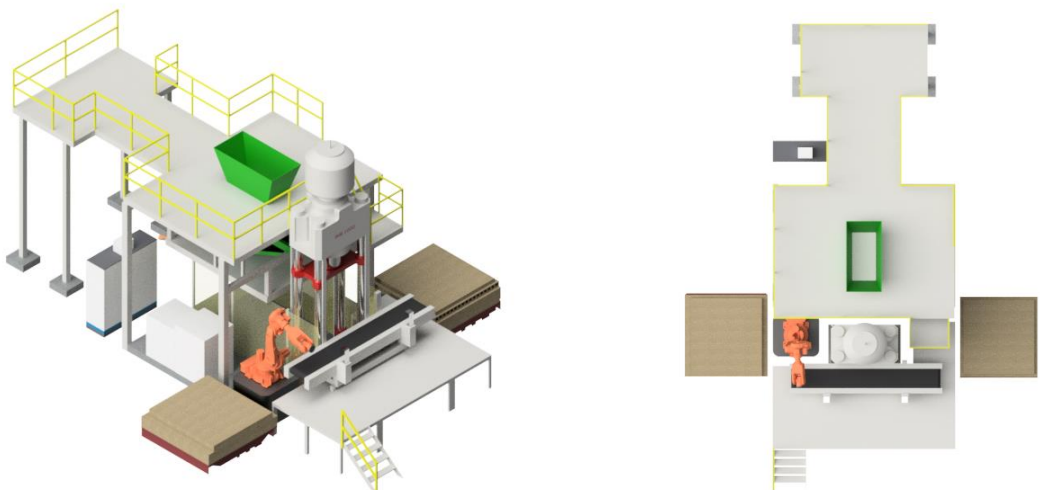
Varianta 4



Obr. 52: Varianta 4: grafický návrh

Varianta 4 je modifikací varianty 3. Opět je využita mostová konstrukce s robotem IRB 6620 od firmy ABB. Mostová konstrukce je tentokrát orientována jiným směrem a robot je umístěn na levém boku nosníku. Varianta opět počítá s výměnou formy stávajícím způsobem a s manipulací včetně nakládky tvarovek na oba pecní vozy. Opět je možné v případě odstávky, nebo problému plynule přepnout na manuální výrobu odstavením robotu.

Varianta 5



Obr. 53: Varianta 5: grafický návrh

Varianta 5 počítá s umístěním robotu, který by obsluhoval jednu kolej vedle lisu. Robotické rameno na podstavci by mělo mít dostatečný manipulační prostor, avšak musely by být softwarově omezeny jeho pohybové možnosti, aby nedošlo ke kolizi se zástavbou nebo lisem. Opět je zachován prostor pro výměnu forem a pásový dopravník Bevini. Umožněno je také přepnutí pracoviště na manuální způsob nakládky.

6.2 Výběr vhodné varianty pracoviště

Předchozí část kapitoly 6.1 popisuje 5 variant zavedení robotu na stávající pracoviště strojního lisování. Nyní je nutné zvolit jednu variantu, která bude dále rozpracována. Při analýze je využit postup eliminace, kdy jsou podle jednotlivých hodnotících kritérií eliminována nevyhovující řešení. Jednotlivá kritéria jsou uvedena níže:

- Náročnost instalace
- Respektování interní logistiky
- Cena
- Prostorové uspořádání pracoviště

Z hlediska náročnosti instalace se jeví lépe varianty, které využívají stacionárního robotu umístěného na podstavci, protože instalace robotu s mostovou konstrukcí je složitější a znamenala by větší stavební úpravy v závodu.

Z hlediska logistiky a zásobování pracovišť je nutné uvažovat o řešení, které je nejlepší vzhledem k pracovištím 8 a 4, která budou obsluhována manuálně. Jedinou možnou variantou je ponechání jedné průběžné koleje pro obsluhu pracoviště neautomatizovaných lisů. Varianty s mostovou konstrukcí lze vyloučit. Vzhledem k tomu, že nedojde (vyšší cena oproti stacionární konstrukci), kterou jsou roboty vybaveny je zbytečné o jejich zavedení uvažovat.

Cena robotu je dalším důležitým kritériem, o které je nutné zohlednit. Varianty 1-5 byly zaslány do firemního oddělení investic. Odborníci z firmy provedli cenový odhad. Jedná se pouze o hrubý rozpočet. Odhad ceny jednotlivých variant společně s prvky, které budou muset být instalovány na pracoviště lze vidět v Tab. 6.

Tab. 6: Přibližný odhad rozpočtu pro jednotlivé varianty automatizovaného pracoviště

| Varianta 1 | | Varianta 2 a 5 | |
|--|---------------------|--|---------------------|
| Položka | Cena | Položka | Cena |
| Robot KUKA KR 120/R3500 | 3 000 000 Kč | Robot ABB IRB 6640 | 2 800 000 Kč |
| Koncový efektor | 250 000 Kč | Koncový efektor | 250 000 Kč |
| Prosypové zařízení | 150 000 Kč | Prosypové zařízení | 150 000 Kč |
| Kontejner pro sklad prosypu s automatickým doplněním | 100 000 Kč | Kontejner pro sklad prosypu s automatickým doplněním | 100 000 Kč |
| Senzorika | 300 000 Kč | Senzorika | 300 000 Kč |
| Bezpečnostní prvky (oplocení, senzory pohybu) | 200 000 Kč | Bezpečnostní prvky (oplocení, senzory pohybu) | 200 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 1 700 000 Kč | Instalace a montáž + elektro | 1 700 000 Kč |
| Suma | 5 700 000 Kč | Suma | 5 500 000 Kč |
| Varianta 3 | | Varianta 4 | |
| Položka | Cena | Položka | Cena |
| Robot ABB IRB 6620 | 4 000 000 Kč | Robot ABB IRB 6620 | 4 000 000 Kč |
| Koncový efektor | 250 000 Kč | Koncový efektor | 250 000 Kč |
| Prosypové zařízení | 150 000 Kč | Prosypové zařízení | 150 000 Kč |
| Kontejner pro sklad prosypu s automatickým doplněním | 100 000 Kč | Kontejner pro sklad prosypu s automatickým doplněním | 100 000 Kč |
| Senzorika | 400 000 Kč | Senzorika | 400 000 Kč |
| Bezpečnostní prvky (oplocení, senzory pohybu) | 300 000 Kč | Bezpečnostní prvky (oplocení, senzory pohybu) | 300 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 2 100 000 Kč | Instalace a montáž + elektro | 2 100 000 Kč |
| Suma | 7 300 000 Kč | Suma | 7 300 000 Kč |

Po prostudování Tab. 6. je patrné, že varianty nevyužívající mostovou konstrukci jsou o 1,8 mil Kč, resp. 1,6 mil Kč v případě levnější. Z hlediska ceny jsou tedy výhodnější Varianty 1, 2 a 5.

Z hlediska prostorového uspořádání budoucího pracoviště je nutné vyhodnotit Varianty 1, 2 a 5, které byly zvoleny na základě finanční náročnosti a uvažovaného systému interní logistiky. Pro správnou funkci automatizovaného pracoviště je roboty nutné vybavit koncovým efektozem, prosypovým zařízením, kontejnerem pro sklad prosypu. Pracoviště je nutné doplnit prokladovými cihlami, které vstupují mezi jednotlivá patra skládky. Je třeba počítat se všemi okrajovými podmínkami zmíněnými v kap. 5.6. Variantu 5 lze vyloučit, protože její prostorové uspořádání neumožňuje umístění palet s prokladovými cihlami a kontejneru s prosypem tak, aby byly lokalizovány v pracovním prostoru robotu.

Po eliminaci podle zvolených kritérií zbývají pouze varianty 1 a 2, přičemž variantu 1 lze vyloučit. Vzhledem k tomu, že použitý robot je na pracovišti umístěn nevhodně, je nutné použít větší a dražší typ robotu. Po provedení rozhodovací analýzy

je zvolena Varianta 2. Tato varianta je nejvýhodnější z hlediska všech výše hodnocených kritérií. Návrh dílčího zařízení pro variantu 2 a také finální návrh pracovišť je popsán v následujících částech kap. 6.

6.3 Návrh koncového efektoru

Po výběru nejvhodnější varianty pracoviště následuje návrh dílčích prvků a zařízení, které budou na pracoviště instalovány.

Tato kapitola popisuje návrh dvou variant koncového efektoru pro manipulaci s tvarovkami z pásového dopravníku na pecní vůz. Vzhledem k základním charakteristikám uchopovaných tvarovek je nutné přemýšlet o návrhu vhodného uchopovacího zařízení. Toto zařízení musí zohlednit řadu parametrů, které tvarovky vykazují. Omezující parametry neboli okrajové podmínky, byly definovány v kap. 5.6. Přehled okrajových podmínek, které je nutné zohlednit při návrhu, lze vidět na Obr. 54.

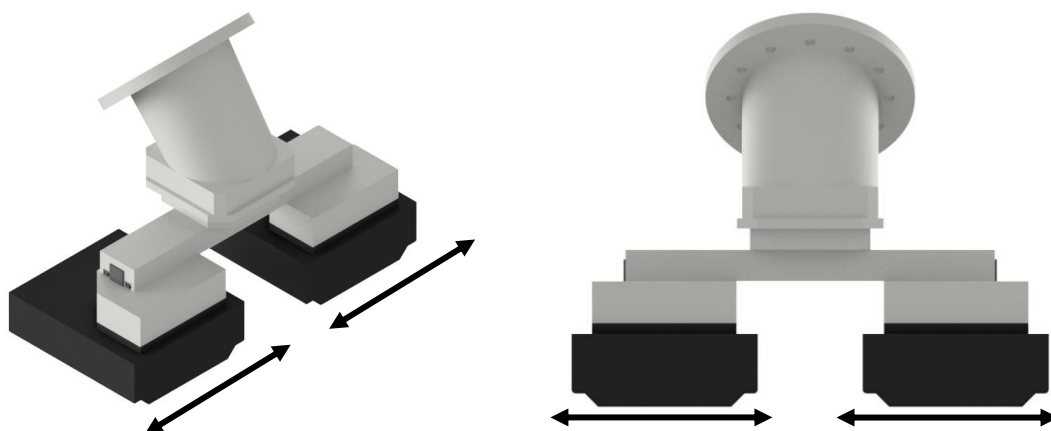


Obr. 54: Okrajové podmínky pro návrh koncového efektoru

Pro ukázkou byly navrženy dva koncové efektoru, které slouží pro uchopení tvarovky z pásového dopravníku a její umístění na skladovací pozici na pecním voze. Tyto efektoru jsou pneumatické, což znamená, že využívají podtlakového úchopu. Podtlakový typ úchopu byl zvolen především kvůli materiálu objektu manipulace a jeho mechanickým vlastnostem. Před vysušením a vypálením jsou tvarovky velmi křehké, proto by bylo nasazení mechanického gripperu velmi složité.

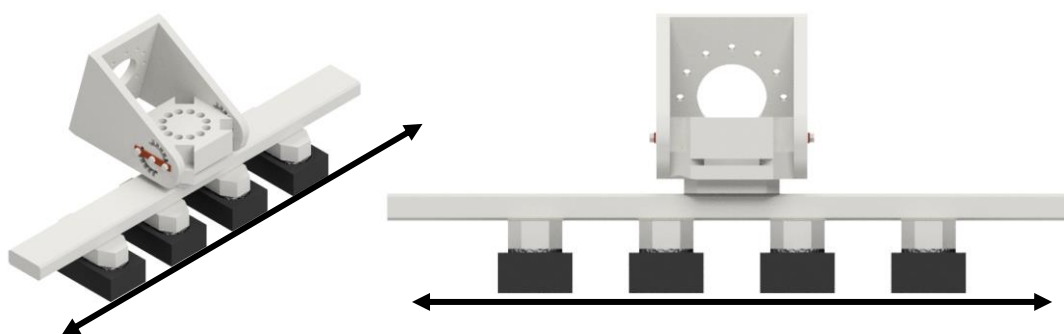
První navrhovaný koncový efektor, společně s výrobkem TV4 je vidět na Obr. 55. Tento efektor je určen primárně pro výrobky, které se lisují po dvou kusech ve formě. Uchopení výrobku probíhá za plochý povrch. Výhodou navrhovaného řešení je vložená osa posunu. Ta umožní lepší manipulaci a zároveň přesnější uložení na skládku vozu. Zároveň je umožněno uchopovat více typů tvarovek, protože vzdálenost mezi chapadly

Ize měnit. Efektor bude k ramenu robotu upevněn prostřednictvím šroubového spojení. Dílčí řídicí prvky a přívod vzduchu budou upevněny na konstrukci efektoru.



Obr. 55: Koncový efektor: Typ 1

Druhý navrhovaný efektor je určen pro manipulaci s menšími objekty, které se lisují po čtyřech kusech v jedné formě. Konstrukce gripperu umožňuje manuální přestavení sklonu uchopovacích chapadel vůči ramenu robotu. Vzdálenost mezi chapadly je možné přestavit manuálně, případně uvažovat o využití vložené pojezdové osy, poháněné mechanicky. Dílčí řídicí prvky budou upevněny na konstrukci efektoru. Druhý navrhovaný efektor lze vidět na Obr. 56.

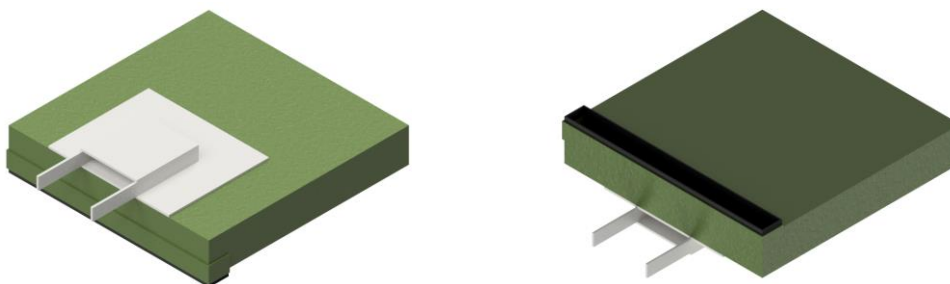


Obr. 56: Koncový efektor: Typ 2

Při návrhu koncových efektorů je nutné respektovat řadu okrajových podmínek. Kapitola navrhla dva univerzální koncové efekty, které bude možné využít po realizaci automatizace. Pro některé tvarově specifické výrobky, například TV6 bude nutné navrhnout speciální koncový efektor. Výše popsané efekty se dají s drobnými modifikacemi použít i pro výrobky, kdy se ve formě vyrábí pouze 1 kus a pro manipulaci s prokladovými cihlami, které vstupují do skládky některých výrobků.

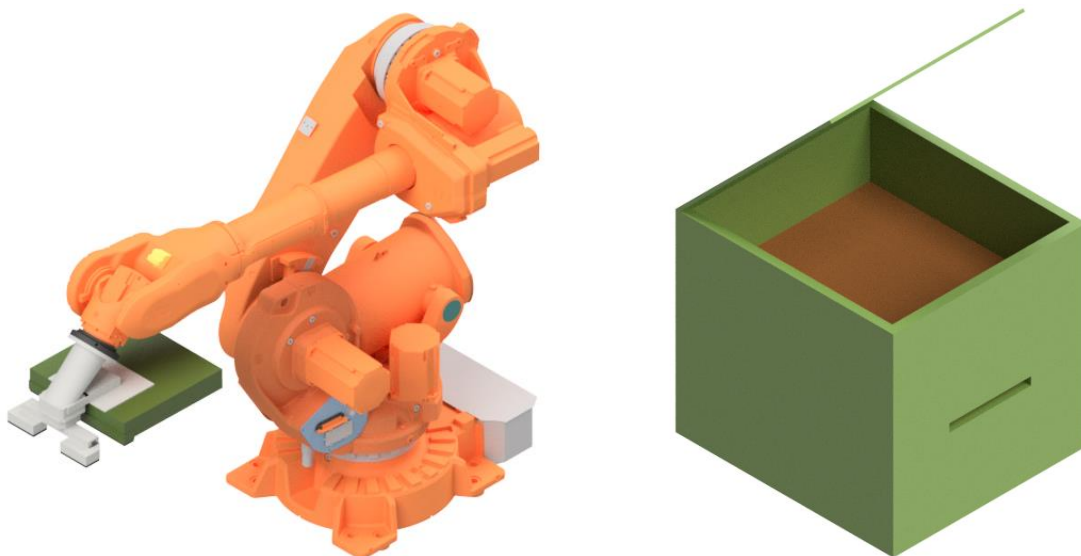
6.4 Návrh zařízení pro prosyp jednotlivých pater skládky

V předchozích kapitolách bylo zmíněno, že jednotlivá patra skládky je nutné prosypávat pískem, aby bylo dosaženo vyšší kvality výpalu a nedošlo ke slepení jednotlivých tvarovek. Pro tento účel je nutné navrhnout přípravek, který bude umístěn na rameni robotu, gripperu, případně jako samostatné zařízení a po naložení jednoho patra skládky pecního vozu provede prosyp. Na Obr. 57 lze vidět model zařízení, které bude realizovat prosyp jednotlivých pater skládky.



Obr. 57: Model zařízení pro prosyp jednotlivých pater skládky

Zařízení je vybaveno zásobníkem písku a prosyp je realizován prostřednictvím štěrbin (Obr. 57 vpravo), která je umístěna poblíž uchycení ke koncovému efektoru robotu, aby byl zajištěn co největší dosah zařízení. Písek je do zařízení doplňován prostřednictvím speciálního kontejneru, v němž je na pracovišti skladován a jeho doplnění do přípravku probíhá automaticky. Toto zařízení lze vidět, společně s modelem robotu, vybaveným zařízením pro prosyp na Obr. 58. Písek v kontejneru doplňuje operátor prostřednictvím VZV.

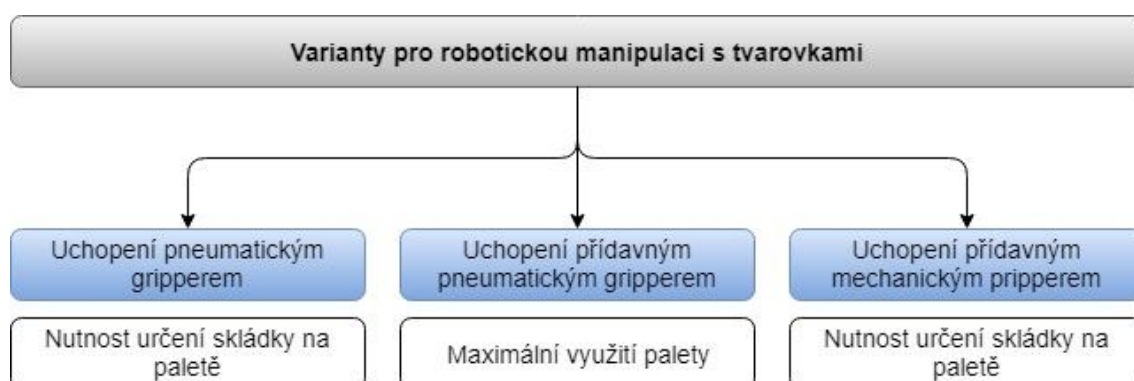


Obr. 58: Robot vybavený zařízením pro prosyp a kontejner pro sklad písku

Řešení se zařízením pro prosyp upevněným na koncovém efektoru je ideální z hlediska dosahu robotu. Navíc operace skládky a prosypu je možné provádět společně, čímž dojde k ušetření nutných pohybů a zároveň se zkrátí čas nakládky. Použití kontejneru, který automaticky doplňuje písek do přípravku umožní organizovat dosypání písku společně s výměnou formy, případně údržbou pracoviště.

6.5 Návrh realizace prokladu jednotlivých pater skládky

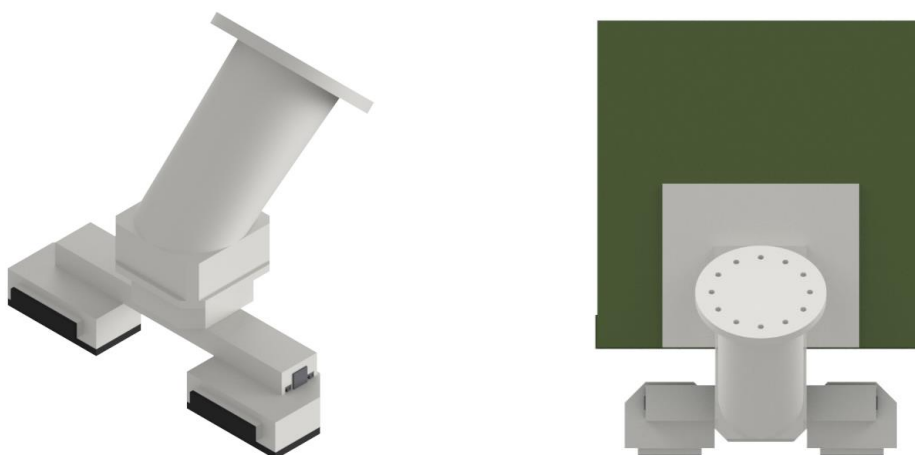
Kapitola popisuje návrh realizace prokladu jednotlivých pater skládky pecního vozu. Sklad prokladových cihel je další dílčí částí automatizovaného pracoviště. Jednotlivé varianty manipulace s prokladovými cihlami lze vidět na Obr. 59.



Obr. 59: Varianty robotické manipulace s prokladovými cihlami

Úvodem je nutno říci, že prokladové cihly, které budou vstupovat na automatizované pracoviště je nutné standardizovat. Tyto cihly musí mít přesně definované rozměry a skladovací pořádek na paletě. Uchopení prokladových cihel prostřednictvím koncových efektorů navržených v kap. 6.3 je při maximálním využití palety nerealizovatelné, neboť změřená prokladová cihla má rozměry 200×60×40 mm.

Proto je nutné uvažovat o zařazení přídavného gripperu (mechanický, pneumatický), který by realizoval uchopení prokladové cihly, případně upravit skladovací pořádek těchto cihel na paletě Schematické znázornění detailu gripperu s přídavnými savkami pro manipulaci s prokladovými cihlami a kompletní sestavu gripperu včetně zařízení pro prosyp a přídavných savek v pracovní poloze lze vidět na Obr. 60.



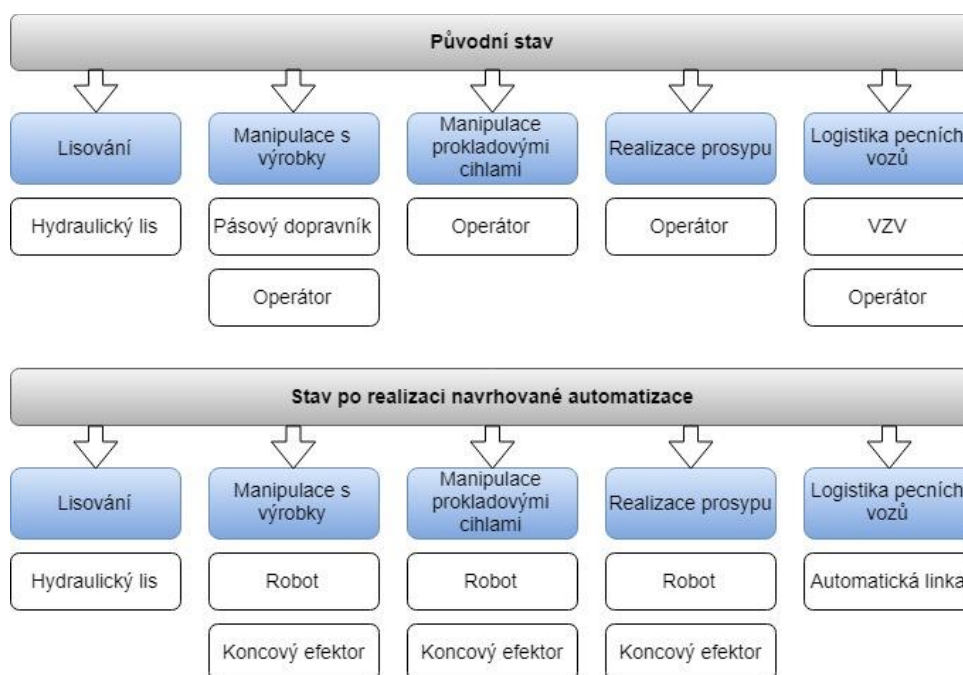
Obr. 60: Detail gripperu opatřeného přídavnými savkami a kompletní sestava gripperu v pracovní pozici

Výhodou modifikace gripperu viditelné na Obr. 60. je, že chapadla jsou opatřena vloženou osou, která umožňuje jejich lineární pohyb. Tím získává koncový efektor značnou variabilitu, nejenom pro manipulaci s tvarovkami, ale také pro manipulaci s prokladovými cihlami.

Palety jsou na pracoviště zaváženy prostřednictvím VZV. Tyto palety musí mít definovanou pozici na pracovišti, aby se prokladová cihla při realizaci nakládky nacházela vždy v definované poloze.

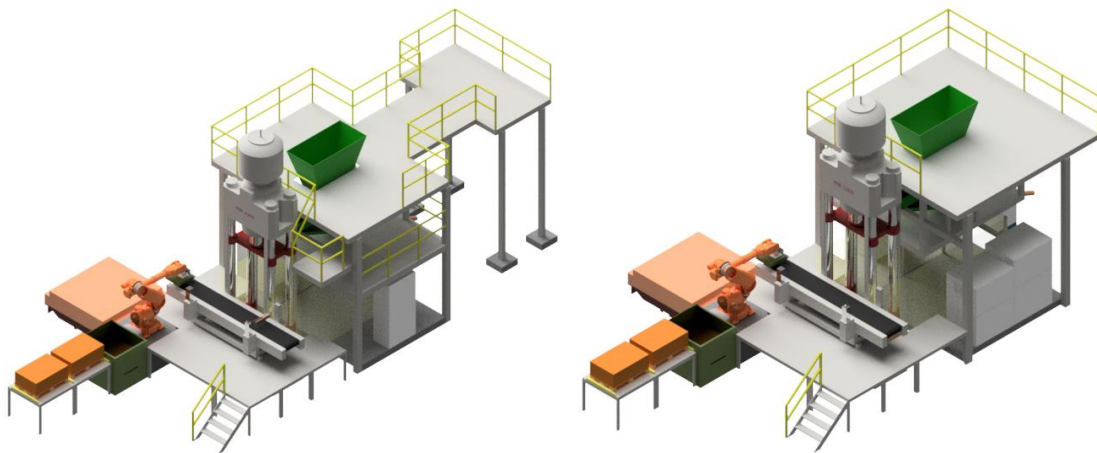
6.6 Konfigurace pracoviště

Následující kapitola popisuje konfiguraci a rozmístění jednotlivých prvků na vybrané variantě 2 automatizovaného pracoviště, jehož prvotním návrhem se zabývala kap. 6.1. V předchozích podkapitolách kap. 6 byly navrženy přípravky a zařízení, které je nutné na pracoviště instalovat, aby byl zajištěn automatizovaný chod, a které respektují okrajové podmínky definované v kap. 5.6. Diagram, který popisuje uvažované změny zařízení a rovněž změny technicko-organizační (více rozvedeny v kap. 7), lze vidět na Obr. 61. V modrých rámečcích jsou znázorněny činnosti, které při výrobě a nkládce tvarovek na pracovišti probíhají a v bílých rámečcích jsou znázorněni činitelé, kteří tyto činnosti realizují.



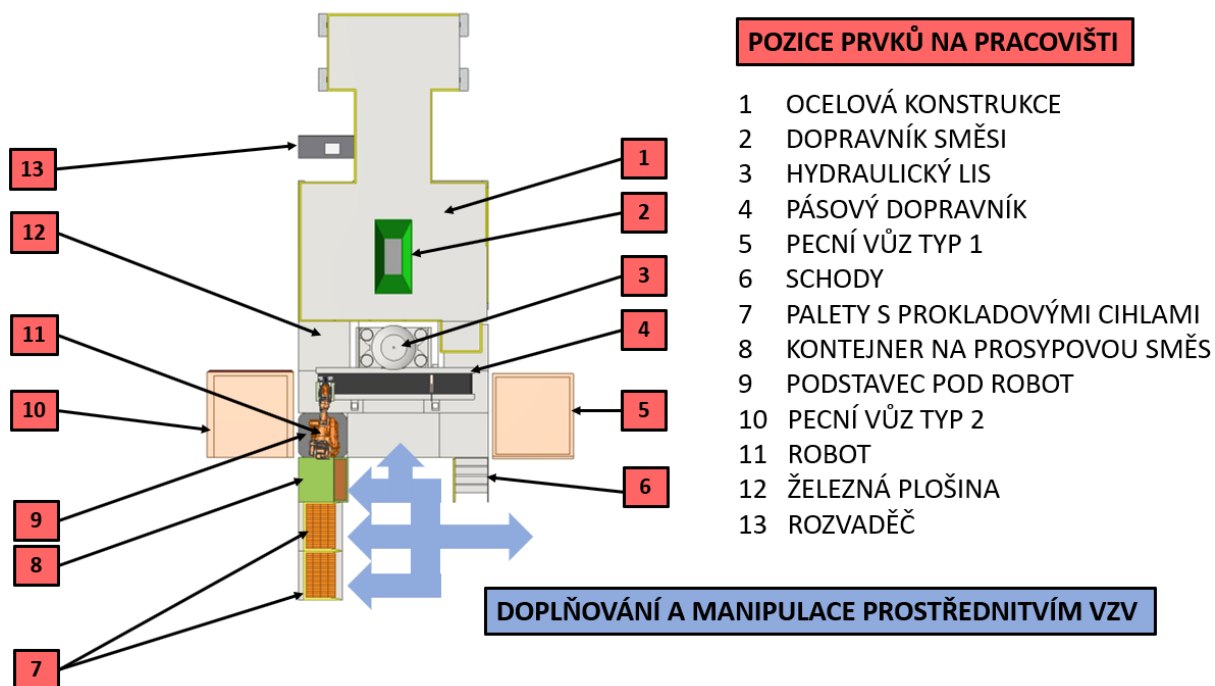
Obr. 61: Technicko-organizační změny na pracovišti

Oproti původním pracovištím přináší zavedení automatizace změny v organizaci a prostorovém rozložení jednotlivých prvků na pracovišti. Další zásadní modifikací je vyloučení operátora, jehož přítomnost není na automatizovaných pracovištích nutná. Schematické modely obou automatizovaných pracovišť jsou vidět na Obr. 62.



Obr. 62: Schematický model automatizovaného pracoviště 9 a 4

Z obrázků je patrné, že k nejvýraznějším změnám došlo v prostoru, který byl původně navržen pro pohyb operátora po pracovišti. Na pracoviště je umístěn robot 6640 LX od společnosti ABB, který je dodáván ve variantách s dosahem 1,3 – 3,2 m. Robot realizuje prostřednictvím koncového efektoru nakládku tvarovek, manipulaci s prokladovými cihlami a prosyp jednotlivých pater skládky na pecním voze. Dále je pracoviště doplněno o kontejner, v němž je skladován písek pro prosyp, s automatickým doplněním do přípravku na efektoru a palety s prokladovými cihlami. Tyto palety jsou umístěny na železných plošinách, které byly z původního pracoviště vyjmuty tak aby, bylo využito původní vybavení. Na plošinách pro uskladnění palet s prokladovými cihlami se nacházejí dorazy, které definují pozici palety na pracovišti. Pro možný přechod na manuální nakládku tvarovek, např. při údržbě robotu, jsou na pracovišti 9 přemístěny schody, které byly původně lokalizovány v prostoru podstavce robotu. Nové uspořádání pracoviště 9 lze vidět na Obr. 63. Obrázek nového uspořádání pro pracoviště 4 není uveden, protože manipulační prostor obou pracovišť má shodnou konfiguraci.



Obr. 63: Uspořádání pracoviště 9

Jednotlivé prvky pracoviště jsou znázorněny pomocí červené barvy a doplněny popisky. Konfigurace pracoviště je uzpůsobena tak, aby byla možná výměna formy prostřednictvím VZV. Pro doplnění palet s prokladovými cihlami a prosypového písku do kontejneru je možné doplňovat rovněž pomocí VZV.

6.7 Závěr

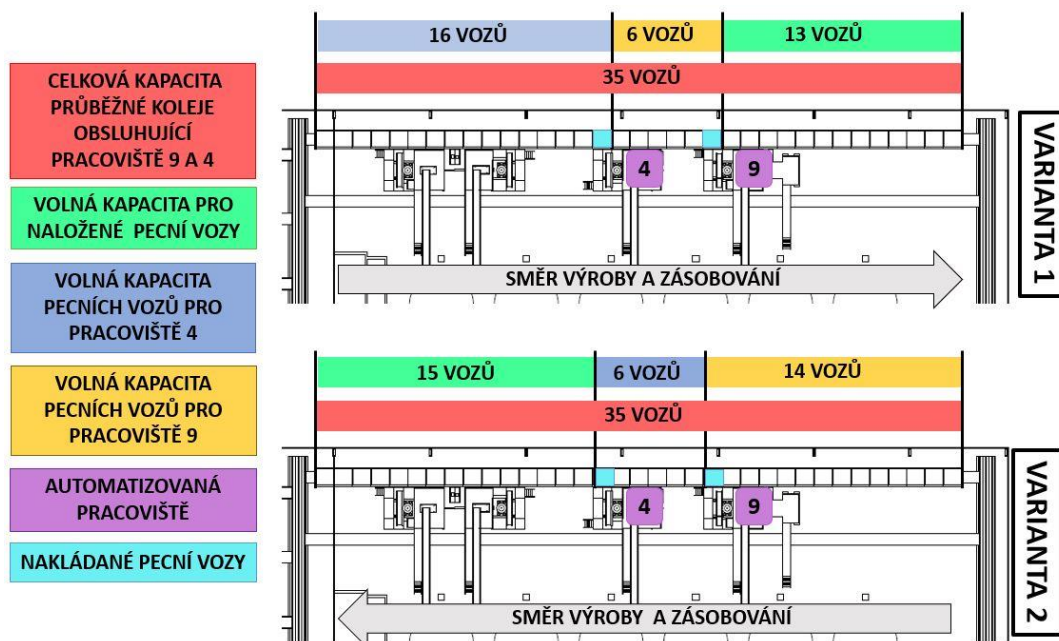
Kapitola navrhla jednotlivé varianty automatizovaného pracoviště, které byly detailně popsány. Následně byla vybrána varianta automatizovaného pracoviště rozpracována a byly navrženy jeho dílčí části. Jednalo se o způsob manipulace s tvarovkami prostřednictvím koncového efektoru robotu, návrh koncového efektoru, a návrh přípravků. Rovněž byl navržen prostor pro manipulaci s prokladovými cihlami a zařízení, které realizuje prosyp jednotlivých pater skládky. Dílčí poznatky jsou v krátkosti okomentovány na konci podkapitol. Další okrajové podmínky, které byly definovány v kap. 5.6, jsou řešeny v následující kapitole 7.

7 Návrh technicko-organizačních opatření

Následující kapitola pojednává o technicko-organizačních opatřeních, které bude nutné realizovat v souvislosti se zavedením automatizace na pracovištích 9 a 4. Pozornost je věnována především návrhu automatického posunu pecních vozů, dále jsou v kapitole nastíněna další technicko-organizační opatření, jako návrh přestavby pecních vozů a kapacitní propočty pro automatizovanou linku.

7.1 Určení kapacity disponibilních pecních vozů pro 1 průběžnou kolej

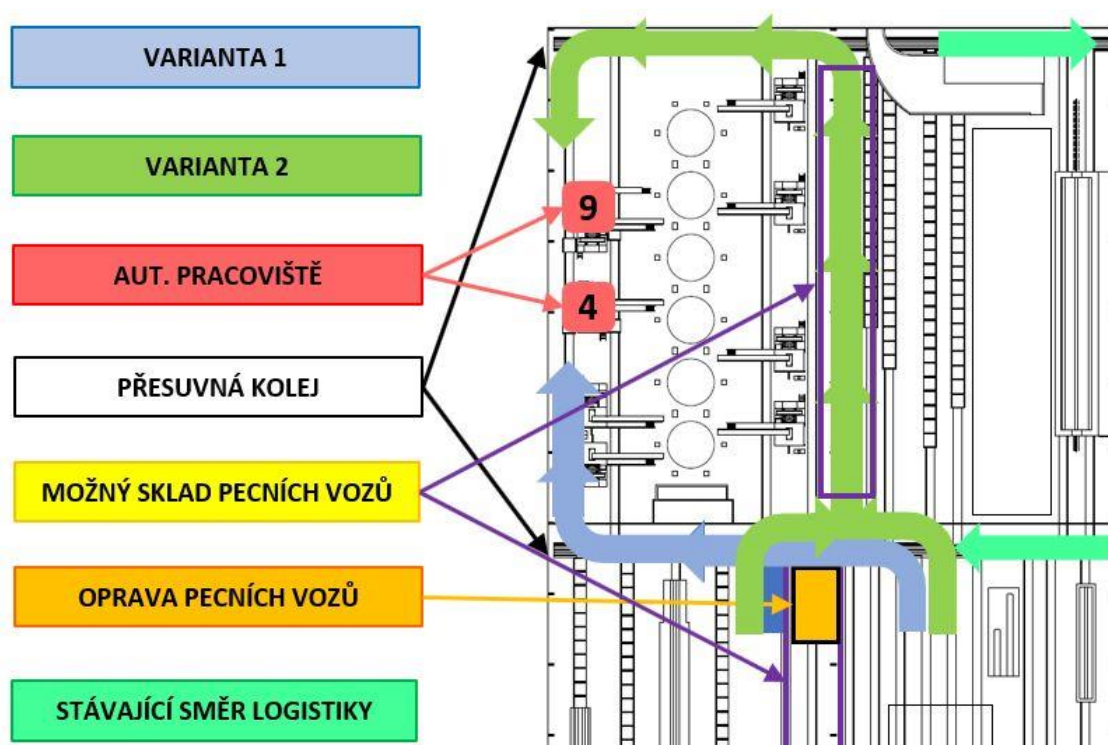
Následující kapitola se zabývá návrhem systému interní logistiky. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2, v současné výrobě je posun pecních vozů po průběžných kolejích realizován pomocí VZV. Pro zamýšlenou automatizaci s nasazením PRM je nutné určit kapacity průběžných kolejí obsluhujících pracoviště 9 a 4. Vzhledem k velmi obtížné realizaci obsluhy automatizovaných pracovišť prostřednictvím obou průběžných kolejí bylo rozhodnuto o využití jedné průběžné koleje pro automatizovaná pracoviště a druhé koleje pro pracoviště 8 a 6, která automatizována nebudou. Schematické znázornění layoutu společně s disponibilním počtem pecních vozů lze vidět na Obr. 64.



Obr. 64: Disponibilní kapacita pecních vozů

Z Obr. 64 je patrné, že průběžná kolej obsluhující AP pojme celkem 35 pecních vozů při maximálním využití její kapacity. Na Obr. 64 jsou zobrazeny dvě varianty rozlišené dle směru logistiky. Pro obě varianty platí, že lze naložit maximálně 6 pecních vozů pro jedno pracoviště, jelikož více vozů nelze mezi AP umístit. Je patrné, že směr výroby a zásobování nemá vliv na kapacitu. Limitním faktorem je tedy kapacita 6 ti vozů, které lze postavit do fronty mezi pracovišti.

Pro zásobování pracovišť prostřednictvím pecních vozů se nabízejí dvě varianty vycházející z Obr. 64, kap. 5.2, a které lze vidět na Obr. 65.



Obr. 65: Varianty zásobování pracovišť pecními vozy

Varianta 1 počítá se zachováním stávajícího směru interní logistiky a zásobováním průběžné koleje u lisu prostřednictvím přesuvné koleje lokalizované níže. Výhodou je, že toto řešení respektuje stávající směr interní logistiky v závodu.

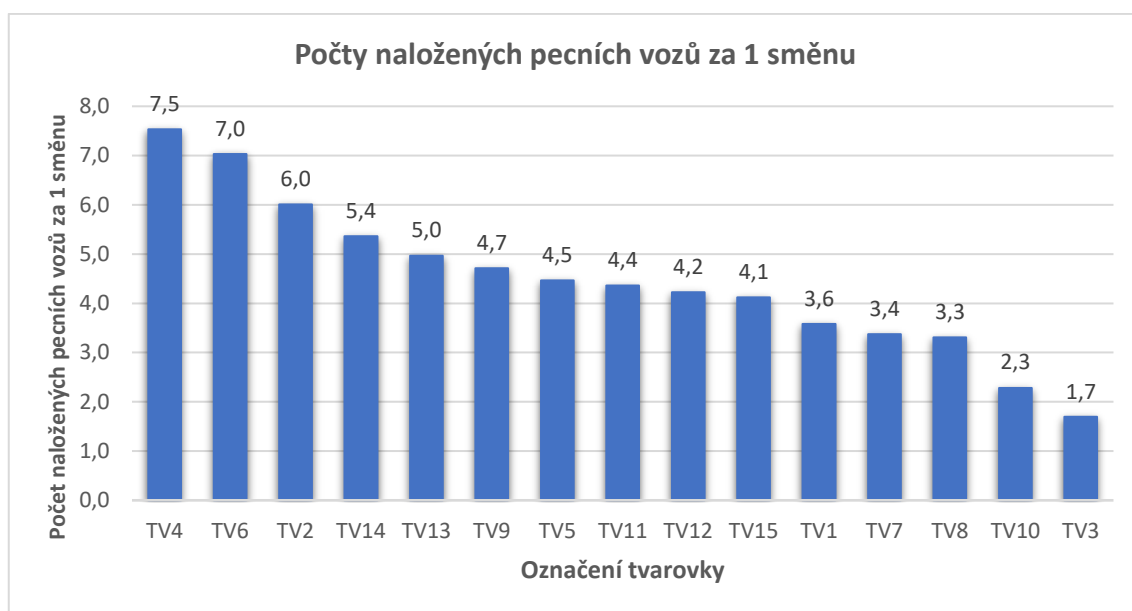
Varianta 2 počítá se zavedením zásobovací koleje, která by vznikla z jedné z kolejí určených k volnoprostorovému sušení. Při použití Varianty 2 by bylo možné řadit prázdné pecní vozy na jednu z kolejí pro volnoprostorové sušení. Tyto pecní vozy by následně byly prostřednictvím horní přesuvné koleje převezeny na průběžnou kolej příslušící k automatizovaným pracovištím. Varianta 2 nerespektuje současný směr

interní logistiky a případná celková organizace výroby bude při použití tohoto řešení složitá.

Vzhledem ke stávajícímu stavu interní logistiky ve firmě a snaze o zachování stávajícího směru dopravy pecních vozů na průběžné koleje obsluhující pracoviště, byla zvolena Varianta 1. Tato varianta je rozpracována v dalších částech kapitoly.

7.2 Určení taktu nakládky pro jednotlivé výrobky

Tato kapitola se zabývá určením taktu nakládky pecních vozů pro jednotlivé výrobky. Z údajů poskytnutých firmou (cyklové časy, počet tvarovek ve formě, počet tvarovek pro skládku na pecním voze) byly provedeny kapacitní výpočty pro jednu směnu v délce 450 min. Výsledkem bylo určení počtu pecních vozů, které by PRM naložil za 450 min pro jednotlivé výrobky, které lze vidět na Obr. 66.



Obr. 66: Počet naložených pecních vozů za 1 směnu (450 min) pro jednotlivé tvarovky

Z grafu na Obr. 66. lze formulovat několik závěrů. Maximální možný počet naložených pecních vozů za jednu směnu bude 16 při alokaci výrobků TV4 na obou pracovištích. Naopak minimální možný počet naložených pecních vozů bude 4 pro jednu směnu při výrobě TV3.

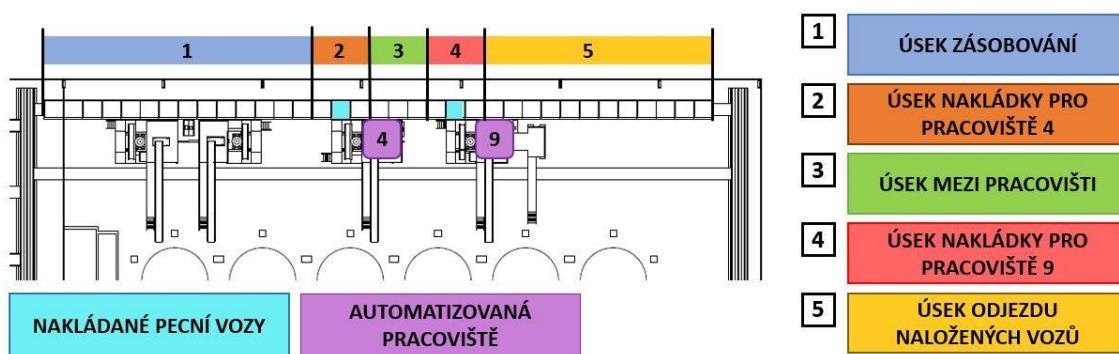
Po určení počtu naložených vozů za 1 směnu, směru zásobování a kapacity průběžné koleje zásobující pracoviště, je možné přistoupit k návrhu automatického

posunu pecních vozů. Jednotlivé varianty návrhu automatického posunu pecních vozů počítají s nejméně příznivou situací, tedy kombinací výrobků (TV4 a TV3) alokovaných na automatizovaných pracovištích. Při zavedení jiných produktů na pracoviště bude nutné umístit výrobek s menším taktem nakládky na pracoviště 9.

7.3 Návrh variant automatického posunu pecních vozů

Kapitola popisuje návrh jednotlivých variant posunu pecních vozů pro zásobování automatizovaných pracovišť. V rámci kapitoly jsou navrženy 3 varianty transportu pecních vozů po průběžné koleji příslušící k automatizovaným pracovištím (dále také AP). Tyto varianty jsou podrobně rozvedeny, včetně popisu sensoriky, kterou bude nutné linku vybavit.

Pro návrh automatického posunu byla průběžná kolej rozdělena na 5 pásem, mezi nimiž je nutné navrhnut transportní zařízení, které bude zajišťovat pohyb pecních vozů. Rozdělení průběžné koleje do jednotlivých úseků lze vidět na Obr. 67, na němž je vysvětlena i symbolika značení, použitá v následujícím textu. V textu jsou jednotlivá pásma značena jako „Úsek 1-5“.

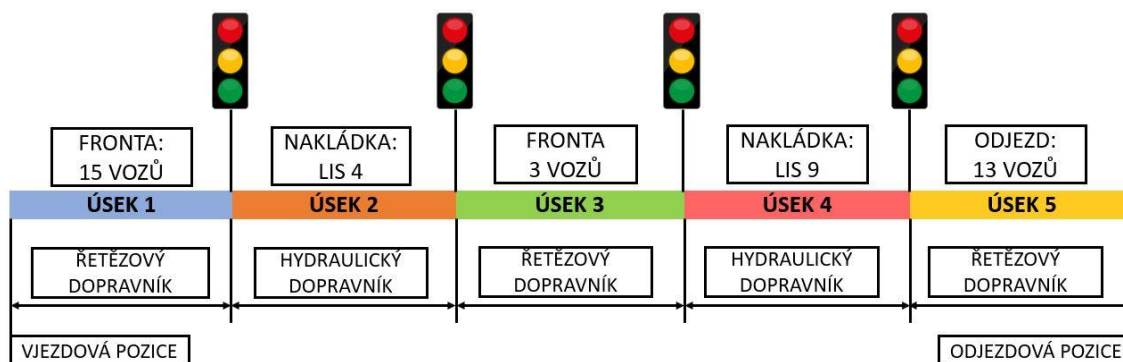


Obr. 67: Rozdělení průběžné koleje do jednotlivých pásem

Při návrhu jednotlivých variant automatického posunu jsou využity pouze schematické náčrty, protože kompletní konstrukční návrhy včetně realizace provádí dodavatelská firma. Jednotlivé varianty a návrh logistiky na průběžné koleji příslušné k automatizovaným pracovištím jsou popsány níže.

Varianta 1

Varianta 1 počítá se zavedením dvou typů dopravníků: hydraulického pro přesný transport na nakládkové pozice a řetězového pro přesun po skladovacích pozicích. Schematické znázornění varianty 1 lze vidět na Obr. 68. Transport pecních vozů na lince je plně automatický a hraniční oblasti, které bude nutné opatřit kontrolními prvky jsou označeny semaforami.



Obr. 68: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 1

Do automatické linky je pecní vůz zaveden prostřednictvím zařízení na přesuvné koleji. Varianta počítá s maximálním využitím kapacity úseku 1, tedy 14 ti vozy ve frontě. Dopravník bude posouvat posledním vozem ve frontě, tím pádem bude posunuta celá fronta 14 ti vozů a vozy dosednou za narážkové plochy, dojde tedy k určení definované pozice odjezdu v úseku 1.

Po uvolnění prostoru v úseku 2 (nakládka: lis 4) je první vůz přesunut hydraulickým dopravníkem na pozici k nakládce, případně čekací pozici ve frontě k lisu 9. Pracoviště 4 je prostřednictvím signálu zastaveno. Dualita je způsobena rozdílnými časy nakládky a optimální počet vozů, které budou čekat před pracovištěm 9 bude muset být určen prostřednictvím kapacitního plánování provozu. Tímto problémem se zabývá kapitola Kapacitní propočty pro logistiku pecních vozů v úseku 37.5. Úsek 2 bude vybaven senzorem výšky pecního vozu a senzorem, který určí, zdali je pecní vůz naložen.

Po naložení pecního vozu v úseku 2 je vyslán signál pro jeho transport do úseku 3, který realizuje hydraulický dopravník z úseku 2. Vůz je připraven na odjezdové pozici úseku 2, kde je zachycen řetězovým dopravníkem, příslušným k úseku 3 a přesunut do výstupní pozice z úseku. Maximální počet vozů v úseku 3 jsou 3 vozy, které jsou

prázdné (čekání pro pracoviště 9) případně plné (naloženy na pracovišti 4). Úsek 3 bude vybaven senzorem čítajícím počet vozů ve frontě, případně bude tento problém ošetřen programově. Pokud je skladovací kapacita zaplněna, v úseku 2 neprobíhá nakládka, protože úsek 2 čeká na uvolnění úseku 3.

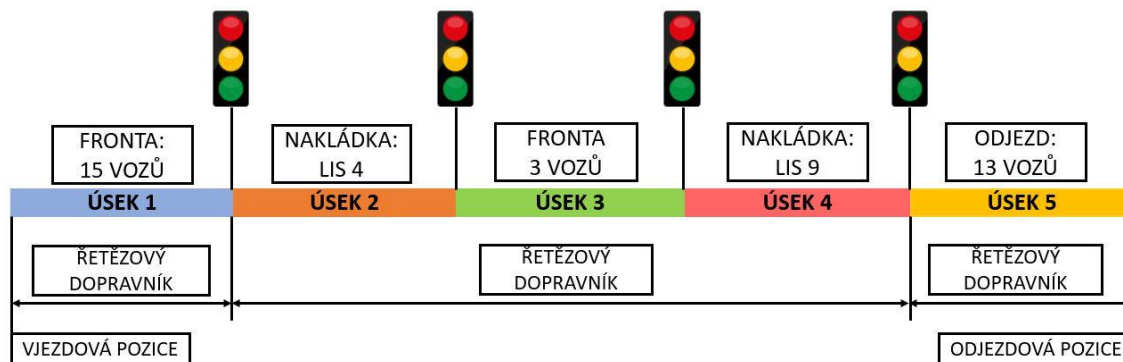
Transport z úseku 3 na úsek 4 je realizován prostřednictvím hydraulického dopravníku (dosažení přesné pozice pro nakládku). Úsek 4 bude rovněž vybaven senzory pro určení výšky pecního vozu a určení, jestli je vůz naložen, nebo je prázdný. V případě, že je pecní vůz, který byl přesunut do úseku 4 naložen, dojde k jeho přesunu na vjezdovou pozici úseku 5. Pokud je do úseku 4 přesunut prázdný vůz, dojde k jeho nakládce. Při průjezdech pecních vozů skrz úsek 4 je pracoviště 9 pozastaveno.

Po ukončení nakládky je pecní vůz z nakládkové pozice úseku 4 přesunut hydraulickým dopravníkem do odjezdové pozice úseku 4, to samé se stane, pokud již naložený pecní vůz úsekem 4 pouze projíždí. Následně je pecní vůz zachycen řetězovým dopravníkem a transportován na odjezdovou pozici úseku 5. Z odjezdové pozice v úseku 5 jsou pecní vozy transportovány po přesuvných kolejích k dalším technologickým operacím.

Výše popsaná varianta automatické linky pro posun pecních vozů poskytuje plně automatizovaný provoz, společně s přesným polohováním pecních vozů. Je vybavena senzory a PLC kontroléry pro plnou integraci s veškerými prvky automatizovaných pracovišť. Nevýhodou tohoto řešení budou vysoké pořizovací náklady, jelikož je vybaveno celkem 5 ti dopravníky a dalšími dílčími řídicími prvky.

Varianta 2

Varianta 2 počítá s využitím celkem tří řetězových dopravníků pro transport mezi jednotlivými úseky, přičemž některé úseky budou sdruženy a obsluhovány jedním dopravníkem. Varianta 2, stejně jako Varianta 1, nabízí plně automatizovaný posun pecních vozů po průběžné koleji. Schematické znázornění této varianty lze vidět na Obr. 69.



Obr. 69: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 2

Do automatické linky použité v této variantě bude pecní vůz opět zaveden prostřednictvím obslužného zařízení na přesuvné koleji. Vůz bude umístěn do vjezdové pozice úseku 1, kde bude zachycen do linky. Opět se počítá, že je úsek 1 zaplněn na plnou kapacitu, tj. 14 ks pecních vozů. Řetězový dopravník provede posun celé řady 14 ti vozů tak, aby byl poslední vůz v úseku 1 umístěn do odjezdové pozice.

Posun do úseku 2 bude realizovat řetězový dopravník, který sdružuje úseky 2, 3 a 4. Z odjezdové pozice úseku 1 bude prázdný pecní vůz přesunut do úseku 2. Zde nastávají dvě možnosti posunu vozu. První možností je posun vozu do úseku 2, ve kterém dojde k nakládce vozu. Druhou možností je posun prázdného vozu do fronty mezi pracovišti (úsek 3). Toto rozhodnutí bude opět podmíněno kapacitními propočty pro automatickou linku, které budou nastíněny v kap. 7.5. Pracoviště 4 musí být vybaveno dorazovými prvky, které zajistí přesnou pozici pecního vozu určeného k nakládce. Úsek 2 je opatřen sensorikou pro sledování výšky pecního vozu a senzorem, který podává informace o naložení.

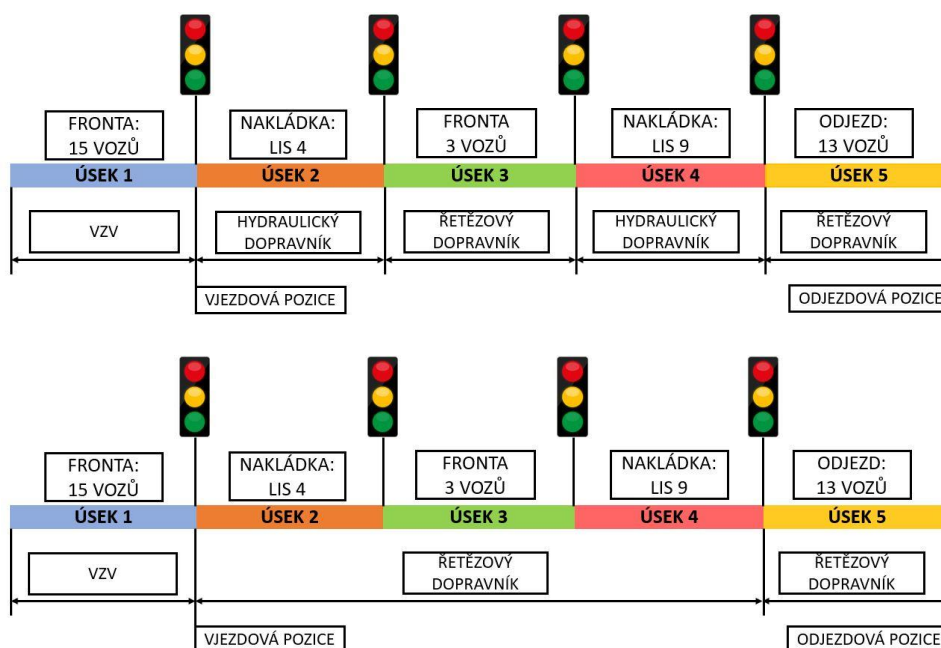
Naložený pecní vůz z úseku 2 je přesunut řetězovými dopravníky do úseku 3. Zde je umístěn do fronty pecních vozů, které čekají na průjezd úsekem 4. Jednotlivé pozice čekajících pecních vozů budou muset být ošetřeny programově, případně sensorikou, aby došlo k jejich přesnému polohování. Odjezdová pozice z úseku 3 bude vybavena mechanickým dorazem tak, aby byla zvýšena přesnost polohování vozu a bylo zajištěno, že vůz neposune pecní vůz, který je nakládán v úseku 4. Zároveň bude nutné úsek opatřit sensorikou pro detekci nakládky, aby nebyl při odjezdu již naložený pecní vůz přesunut na úsek 4 k nakládce.

Úsek 4 realizuje nakládku pecních vozů na pracovišti 9. Tento úsek je opět vybaven senzory pro určení výšky pecního vozu. Úsek 4 je spojen se sensorikou v úseku 3. Pokud je detekován prázdný pecní vůz, je přistaven do úseku 4 k nakládce. Pokud je detekován naložený pecní vůz, je posunut do vstupní pozice úseku 5. Po nakládce pecního vozu v úseku 4, je realizován odjezd vozu do vstupní pozice úseku 5. Úsek 4 opět musí být opatřen mechanickými dorazy, které určí přesnou polohu pecního vozu pro nakládku.

Posun pecního vozu v úseku 5 je realizován třetím řetězovým dopravníkem. Při detekci vozu ve vjezdové pozici je pecní vůz přesunut do pozice odjezdové, případně na konec fronty. Z odjezdové pozice úseku 5 je pecní vůz transportován po přesuvné koleji do další části výrobního závodu k následujícím technologickým operacím.

Varianta 3

Varianta 3 je modifikací předchozích variant. Jedná se o poloautomatickou linku, kde bude posun v prvním úseku realizován prostřednictvím VZV. Předpokladem pro tuto variantu je, že první řetězový dopravník, který realizuje posun pecních vozů úsekem 1, bude nahrazen stávajícím posunem prostřednictvím VZV. Schematický náčrt varianty 3.1, resp. 3.2 lze vidět na Obr. 70.



Obr. 70: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 3

Do úseku 1 bude pecní vůz zaveden pomocí obslužného zařízení průběžné koleje. Následně bude pecní vůz, respektive jejich fronta posunuta pomocí VZV do odjezdové pozice úseku 1. Odjezdová pozice úseku 1 bude muset být vybavena mechanickým dorazem, aby došlo k přesné definici odjezdové pozice. Následný průběh logistiky pecních vozů se shoduje s Variantou 1 resp. Variantou 2.

Úsek 1 bude muset být vybaven senzorem pro detekci pecních vozů a jejich pozice, protože v důsledku transportu pomocí VZV může dojít k nepřistavení pecního vozu (Linka musí být zastavena), případně nepřesunutí až na pozici dorazu. Tato varianta je zároveň omezena nutností přítomnosti operátora VZV v průběhu celé směny a jeho koordinací s operátorem zařízení na přesuvné koleji. Jelikož linka poběží v automatickém taktu, je možné uvažovat o najmutí dalšího operátora VZV, protože bude nutné dopravovat pecní vozy pravidelně.

Varianta 3 přináší úsporu z hlediska vynechání jednoho řetězového dopravníku z konstrukce linky, avšak za cenu zvýšených nároků na operátory, kteří budou zajišťovat přísun vozů na konec úseku 1 prostřednictvím VZV. Další možností je nutnost najmutí jednoho operátora navíc, který by se specializoval pouze na obsluhu poloautomatické linky.

7.4 Volba vhodné varianty

V kapitole 7.3 byla nastíněna čtyři řešení automatické linky pro posun pecních vozů. Následující kapitola se zabývá vyhodnocením jednotlivých variant a výběrem vhodné varianty. Využit je princip eliminace, kdy jsou na základě stanovených kritérií eliminována nevhodná řešení. Stanovená kritéria jsou uvedena níže:

- Plynulost logistiky
- Cena
- Náročnost navrhovaného systému
- Budoucí automatizace

Z hlediska plynulosti logistiky lze vyloučit varianty 3.1 a 3.2, protože by realizace logistiky pecních vozů v úseku 1 prostřednictvím VZV byla nepravidelná a byly by kladeny zvýšené nároky na přesnost časového rozložení práce operátora VZV.

Dalším důležitým kritériem pro rozhodování je cena. Jednotlivé varianty byly naceněny odborníky z oddělení investic společnosti P-D Refractories CZ. Je nutné zmínit, že se jedná o hrubý odhad nákladů, jelikož samotné řešení linky bude v budoucnu provádět dodavatelská firma. Rozpočet pro jednotlivé varianty lze vidět v Tab. 7.

Tab. 7: Přibližný odhad rozpočtu pro jednotlivé varianty automatizované linky pro dopravu pecních vozů

| Varianta 1 | | Varianta 2 | |
|--|---------------------|--|---------------------|
| Položka | Cena | Položka | Cena |
| Řetězový dopravník 3 ks | 900 000 Kč | Řetězový dopravník 3 ks | 1 000 000 Kč |
| Hydraulický dopravník 2 ks | 800 000 Kč | Instalace a montáž + elektro | 1 200 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 1 200 000 Kč | Bezpečnostní oplocení a další bezpečnostní prvky | 600 000 Kč |
| Bezpečnostní oplocení a další bezpečnostní prvky | 600 000 Kč | Senzorika | 300 000 Kč |
| Senzorika | 300 000 Kč | | |
| Suma | 3 800 000 Kč | Suma | 3 100 000 Kč |
| Varianta 3.1 | | Varianta 3.2 | |
| Položka | Cena | Položka | Cena |
| Řetězový dopravník 2 ks | 600 000 Kč | Řetězový dopravník 3 ks | 600 000 Kč |
| Hydraulický dopravník 2 ks | 800 000 Kč | Instalace a montáž + elektro | 800 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 800 000 Kč | Bezpečnostní oplocení a další bezpečnostní prvky | 400 000 Kč |
| Bezpečnostní oplocení a další bezpečnostní prvky | 400 000 Kč | Senzorika | 300 000 Kč |
| Senzorika | 300 000 Kč | | |
| Suma | 2 900 000 Kč | Suma | 2 100 000 Kč |

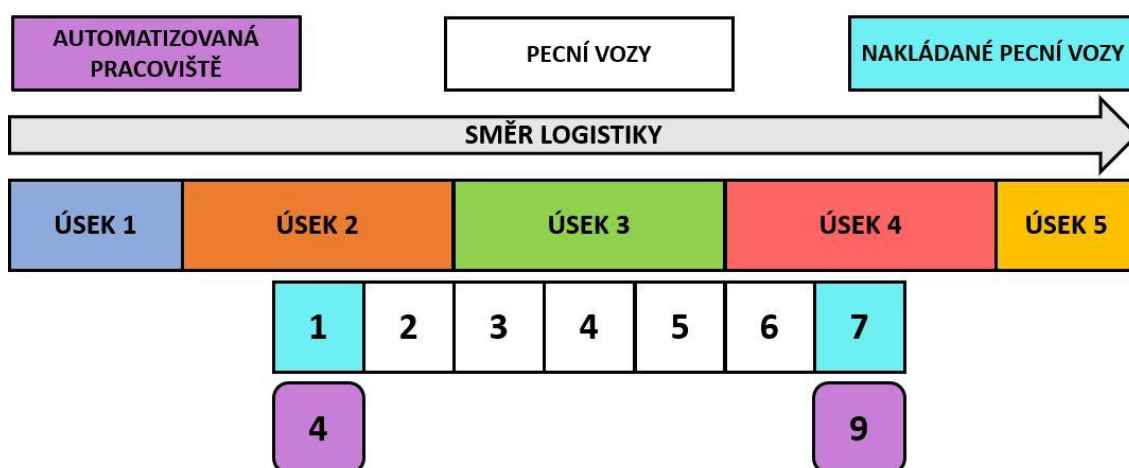
Varianty 3.1 a 3.2 byly vyloučeny v předchozím odstavci. Tyto varianty vycházejí cenově nejlevněji, avšak rozpočet v Tab. 7 zahrnuje pouze nákupní cenu jednotlivých komponent linky, nebere v potaz nutnost přítomnosti operátora VZV a pravděpodobný nákup jednoho kusu VZV navíc pro obsluhu pracovišť.

Vzhledem k náročnosti navrhovaného systému logistiky na průběžné koleji obsluhující pracoviště 9 a 4 je vhodné tuto kolej rozdělit do celkem 5 ti úseků, aby bylo dosaženo co nejvyšší plynulosti a regulovatelnosti linky. Vzhledem k tomuto faktu je vhodné zvolit variantu 1, která je sice nejdražší, avšak pravděpodobně poskytne řadu

výhod pro případné budoucí přestavby dalších pracovišť, která zvolená průběžná kolej v současnosti obsluhuje.

7.5 Kapacitní propočty pro logistiku pecních vozů v úseku 3

Pro využití maximální kapacity automatické linky a pro minimalizaci čekacích časů pracovišť bude nutné provést kapacitní propočty. Tyto propočty pomohou určit minimální čekací časy pro logistiku pecních vozů. Jak již bylo popsáno v kap. 5.6 a dílčích částech kap. 7, je hlavním limitním faktorem pro co nejplynulejší provoz linky s jejím maximálním využitím skladovací kapacita vozů mezi pracovišti. Grafické znázornění problému lze vidět na Obr. 71.



Obr. 71: Grafické znázornění kapacitního problému

Při alokaci výrobků na jednotlivá pracoviště je předpokládáno, že výrobek s vyšším časem nakládky pecního vozu bude alokovan na pracovišti 9 (úsek 4). Ke stanovení minimálních čekacích časů mezi pracovišti je nutné učit počet prázdných vozů, které budou na začátku automatického cyklu přistaveny do fronty v úseku 3 (pro úsek 4). V průběhu cyklu bude probíhat nakládka na obou pracovištích, a naložené vozy z úseku 2 budou přesouvány na volná místa v úseku 3. Celý cyklus bude ukončen průjezdem naložených z úseku 3 do úseku 5 a následným posunem prázdných pecních vozů pro novou nakládku. Popsanou úlohu lze definovat jako lineární problém v následujícím znění:

$$x * p - y * q = |MIN| \quad (5)$$

Kde: x ... čas nakládky pecního vozu na pracovišti 4 (úsek 2)

y ... čas nakládky na pracovišti 9 (úsek 4)

p ... počet pecních vozů naložených na pracovišti 4

q ... počet pecních vozů naložených na pracovišti 9

S následujícími omezujícími podmínkami:

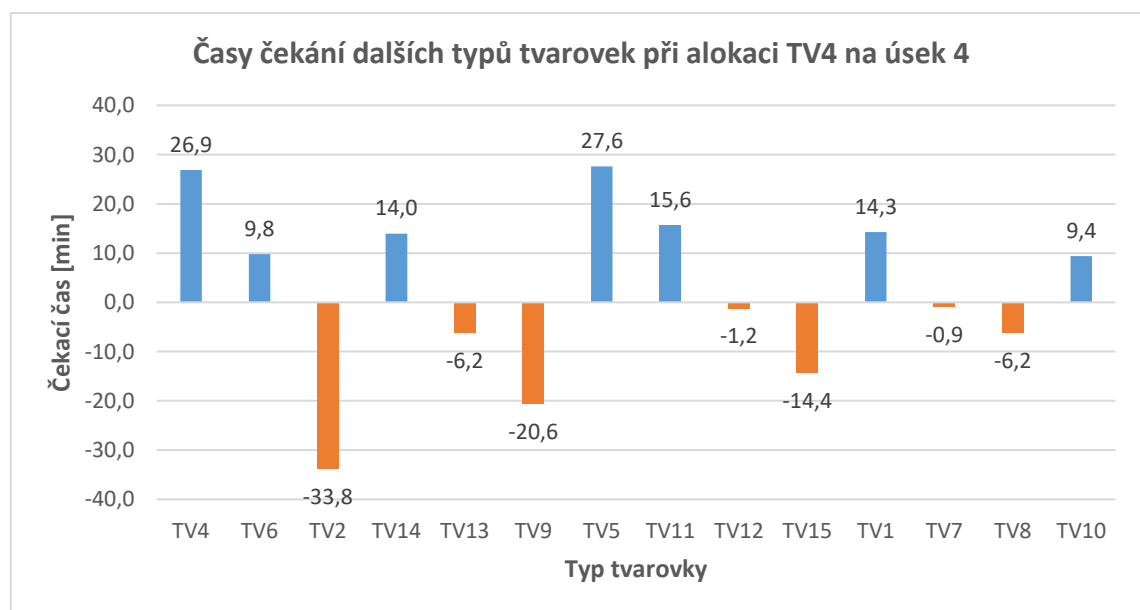
$$p + q = 7$$

$$x \leq y$$

$$p, q \in N$$

Vzhledem k portfoliu výrobků, které firma dodala (15 tvarovek), by bylo nutné vyřešit v rámci výše popsaného lineárního problému celkem 210 možných kombinací. Celkové portfolio firmy však čítá cca 130 výrobků, které mohou být na pracoviště alokovány náhodně, tedy 16 770 kombinací. Pro řešení takto komplexního lineárního problému by bylo nutné využít speciální software.

V rámci ukázky řešení a demonstrace problému kapacitního plánování automatické linky byl problém vyřešen pro kombinaci výrobku TV3 (alokace na pracoviště 9), který vykazoval nejvyšší čas nakládky a ostatních tvarovek (alokace na pracoviště 4). Graficky zpracované řešení lze vidět na Obr. 72.



Obr. 72: Řešení lineárního problému pro TV 4 alokovanou na pracoviště 9

Oranžově vyznačené hodnoty zobrazují výrobky, při jejichž nakládce čeká pracoviště 9 na nakládku vozu na pracovišti 4, zatímco modře zobrazené hodnoty ukazují případ, kdy se čeká na naložení vozu na pracovišti 9. Komplexně výsledky jsou shrnuty v Tab. 8.

Tab. 8: Řešení lineárního problému pro TV 4 alokovanou na pracoviště 9

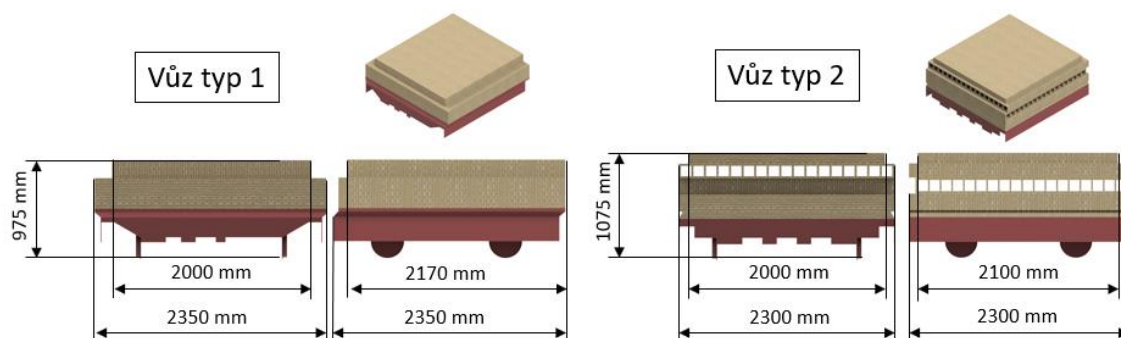
| Označení tvarovky | Čas nakládky 1 vozu | $x \times p$ | $y \times q$ | p | q |
|-------------------|---------------------|--------------|--------------|-----|-----|
| TV4 | 59,7 | 238,9 | 265,8 | 4 | 1 |
| TV6 | 64,0 | 256,0 | 265,8 | 4 | 1 |
| TV2 | 74,9 | 299,6 | 265,8 | 4 | 1 |
| TV14 | 84,0 | 251,9 | 265,8 | 3 | 1 |
| TV13 | 90,7 | 272,0 | 265,8 | 3 | 1 |
| TV9 | 95,5 | 286,4 | 265,8 | 3 | 1 |
| TV5 | 100,8 | 504,0 | 531,6 | 3 | 2 |
| TV11 | 103,2 | 516,0 | 531,6 | 5 | 2 |
| TV12 | 106,6 | 532,8 | 531,6 | 5 | 2 |
| TV15 | 109,2 | 546,0 | 531,6 | 5 | 2 |
| TV1 | 125,8 | 251,5 | 265,8 | 2 | 1 |
| TV7 | 133,3 | 266,7 | 265,8 | 2 | 1 |
| TV8 | 136,0 | 272,0 | 265,8 | 2 | 1 |
| TV10 | 197,0 | 788,0 | 797,4 | 4 | 3 |
| TV3 | 265,8 | | | | |

Problematika plánování a alokace jednotlivých výrobků je dalším technicko-organizačním opatřením, které je nutné zohlednit pro správné fungování automatizovaných pracovišť. Kapitola formulovala lineární problém a provedla ukázkou jeho výpočtu. Je nutné zmínit, že výpočet vychází z cyklových časů dodaných firmou. Ty mohou být v důsledku automatizace pozměněny, případně do nich mohou vstoupit další proměnné. Výsledky tedy nelze brát jako závazné. V budoucnu bude nutné provést tento výpočet pro všechny tvarovky, které budou alokovány na pracoviště 4 a 9, aby bylo dosaženo minimálních čekacích časů.

7.6 Úprava pecních vozů

Následující kapitola popisuje návrh úpravy povrchu pecních vozů. Jedná se o jednu z okrajových podmínek, která byla určena v kap. 5.6. Firma v současné době disponuje dvěma druhy pecních vozů, které se liší nakládkovou výškou od země. Pro potřeby projektu automatizace pracovišť byly pecní vozy změřeny a byly vytvořeny

simplifikované modely v CAD. Tyto modely lze společně s charakteristickými rozměry vozů vidět na Obr. 73.



Obr. 73: CAD model prvního a druhého typu pecních vozů

Pecní vůz je tvořen kovovým rámem opatřeným koly a kovovými bočnicemi. Prostor nad kovovou podlahou vozu je vylit betonem, na který jsou postaveny jednotlivé vrstvy vyzdívky vozu. Při nakládce pecního vozu, případně při vypalování výrobků, dochází k mechanickému a teplotnímu opotřebení vyzdívky vozu, kterou je nutno průběžně opravovat. V důsledku ruční výroby vyzdívky jsou jednotlivé vozy mírně odlišné charakteristickými rozměry. Zásadním problémem pro zavedení automatizace je nerovnost nákladové plochy pecních vozů, kterou lze vidět na Obr. 74.



Obr. 74: Pecní vůz typu 1 (vlevo) a Pecní vůz typu 2 (vpravo)

Pro zavedení automatizované nakládky výrobků na pecní vůz bude nutné provést renovaci stávajících pecních vozů tak, aby byla nákladová plocha vodorovná a bylo možné prostřednictvím senzoru, případně naprogramováním robotu, definovat rovinu, která bude tvořit základnu pro nakládku.

7.7 Závěr

Kapitola 7 provedla návrh a rozbor technicko-organizačních opatření ve výrobě, které je nutné provést pro bezproblémové fungování automatizace, která bude v rámci projektu nasazena. Podrobně zde byla analyzována logistika, která bude probíhat na průběžné koleji obsluhující pracoviště 9 a 4. Po analýze bylo navrženo několik řešení logistiky automatické linky, která byla zhodnocena, okomentována a následně bylo zvoleno jedno řešení. V další části kapitoly byl definován lineární problém, který vzniká v rámci omezené kapacity v úseku 3 automatizované linky a bylo provedeno jeho řešení pro jednu tvarovku. V poslední části je zmíněn problém nerovnosti nákladové plochy pecního vozu, který bude pro nasazení automatizace nutné vyřešit.

8 Technicko-ekonomické hodnocení

Následující kapitola se zabývá technicko-ekonomickým hodnocením navrhované automatizace. Technická část se zabývá určením objemu výroby po zavedení automatizace a jeho porovnáním vzhledem k předchozímu stavu za rok 2018. Dále se zaměřuje na určení vhodných výrobků, které budou alokovány na automatizovaná pracoviště a výpočet jejich časového fondu výroby vzhledem k ročním časovým kapacitám.

Ekonomická část provádí souhrn a rozbor investičních nákladů pro zavedení automatizace. Následně jsou vypočteny roční provozní náklady a vyhodnocena návratnost investice.

8.1 Technická část

Tato kapitola se zabývá určením budoucího objemu výroby po zavedení automatizace a jeho porovnáním se stávající situací. Postup analýzy a hodnocení lze vidět na Obr. 75.



Obr. 75: Postup technické analýzy a hodnocení

Technická část technicko-ekonomického hodnocení by se měla také zabývat výběrem vhodné varianty automatizace pro vybraná pracoviště. Tento krok byl však proveden v kap. 6.2 a 7.4. K rozhodnutí o výběru vhodné varianty bylo použito kritériální analýzy.

Prvním krokem pro predikci budoucího objemu výroby je analýza stávajících dat o počtu vyrobených ks na pracovištích 9 a 4, která dodala firma. Pro budoucí výpočet je nutné tyto údaje vyjádřit ve vhodných ekvivalenčních jednotkách. Firma udává ve výročních zprávách objem výroby v tunách, proto budou tuny využity i pro výpočet nárůstu objemu výroby. Data o stávajícím objemu výroby na pracovištích 9 a 4 lze vidět v Tab. 9.

Tab. 9: Objem výroby na pracovištích 9 a 4 za rok 2018 pro vybrané výrobky

| Bilance objemu výroby za rok 2018 (pracoviště 9 a 4) | | | |
|--|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Označení tvarovky | Počet ks vyrobených na pracovišti 9 a 4 | Celková objem výroby [t] | Vyjádření hmotnostního podílu [%] |
| TV1 | 27 194 | 157,7 | 1,9 % |
| TV2 | 369 495 | 2 586,5 | 31,3 % |
| TV3 | 28 740 | 143,7 | 1,7 % |
| TV4 | 30 759 | 218,4 | 2,6 % |
| TV5 | 8 522 | 136,7 | 1,7 % |
| TV6 | 0 | 0,0 | 0,0 % |
| TV7 | 0 | 0,0 | 0,0 % |
| TV8 | 0 | 0,0 | 0,0 % |
| TV9 | 47 502 | 235,6 | 2,9 % |
| TV10 | 3 894 | 6,1 | 0,1 % |
| TV11 | 15 350 | 762,4 | 9,2 % |
| TV12 | 559 384 | 1 745,3 | 21,1 % |
| TV13 | 99 133 | 356,9 | 4,3 % |
| TV14 | 331 070 | 1 413,7 | 17,1 % |
| TV15 | 79 677 | 500,4 | 6,1 % |
| Suma | 1 600 720 | 8 263,3 | 100,0 % |

*Řádky s hodnotou 0 vyjadřují, že se daná tvarovka na pracovištích 9 a 4 momentálně nevyrábí.

Výpočet objemu výroby pro pracoviště 9 a 4 po zavedení automatizace vychází z cyklových časů výroby jednotlivých tvarovek a dat uvedených v Tab. 9. Vzorec výpočtu je uveden níže:

$$V_{výroby} = n_{v_sm} * n_{prac} * k_{t\ sm} * n_{dní} * n_{sm} * x_v [t] \quad (6)$$

Kde: n_{v_sm} ... Počet naložených pecních vozů za směnu v [t].

n_{prac} ... Počet pracovišť.
(pro výpočet = 2)

$k_{t\ sm}$... Opravný koeficient vyjadřující reálnou část směny, kdy bude probíhat nakládka.
(pro výpočet = 0,5)

$n_{dní}$... Počet pracovních dní v roce.
(pro výpočet = 300)

n_{sm} ... Počet směn za 1 den.
(pro výpočet = 3)

x_v ... Hmotnostní podíl vypočtený z předchozího období jako podíl hmotnostního objemu dané tvarovky ku celkovému hmotnostnímu objemu výroby.
(pro výpočet, viz Tab. 9)

Z cyklových časů je určen počet pecních vozů, které se naloží na jednom pracovišti za 1 směnu. Výsledek je nutné násobit dvojkou, protože budou automatizována dvě pracoviště. Opravný koeficient značí, jakou část směny bude probíhat aktivní nakládka. Pro výpočet byl zvolen koeficient 0,5. Dílčí výsledek je násoben počtem pracovních dnů v roce (300 dnů) a počtem směn v jednom dni (3 směny). Dílčí výsledek je násoben hmotnostním podílem jednotlivého výrobku ku celkovému hmotnostnímu objemu výroby na pracovištích 9 a 4 za rok 2018. Výsledky jsou přehledně shrnuty v Tab. 10.

Tab. 10: Predikovaný objem výroby po zavedení automatizace

| Bilance objemu výroby za 1 rok po zavedení automatizace | | | | | |
|--|---|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| Označení tvarovky | Počet naložených vozů za 1 směnu na 2 pracovištích [ks] | Počet naložených vozů za 1 směnu [t] | Celkový objem výroby [t] | Nárůst objemu výroby [t] | Nárůst objemu výroby oproti původnímu stavu [%] |
| TV1 | 3,6 | 11,19 | 192,16 | 34,43 | 21,8 % |
| TV2 | 6,0 | 27,00 | 7 606,06 | 5 019,60 | 194,1 % |
| TV3 | 1,7 | 7,50 | 117,38 | -26,32 | -18,3 % |
| TV4 | 7,5 | 27,39 | 651,39 | 433,01 | 198,3 % |
| TV5 | 4,5 | 15,47 | 230,27 | 93,58 | 68,5 % |
| TV6 | 7,0 | 12,96 | 0,00 | 0,00 | 0,0 % |
| TV7 | 3,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 % |
| TV8 | 3,3 | 6,21 | 0,00 | 0,00 | 0,0 % |
| TV9 | 4,7 | 16,74 | 429,57 | 193,96 | 82,3 % |
| TV10 | 2,3 | 7,02 | 4,64 | -1,43 | -23,5 % |
| TV11 | 4,4 | 15,59 | 1 294,95 | 532,51 | 69,8 % |
| TV12 | 4,2 | 14,65 | 2 784,87 | 1 039,59 | 59,6 % |
| TV13 | 5,0 | 16,90 | 657,07 | 300,19 | 84,1 % |
| TV14 | 5,4 | 20,05 | 3 087,17 | 1 673,51 | 118,4 % |
| TV15 | 4,1 | 13,04 | 710,82 | 210,45 | 42,1 % |
| Suma | | | 17 766,37 | 9 503,08 | |
| Celkový nárůst objemu výroby vyjádřený v procentech oproti původnímu objemu | | | | | 115,0 % |

Z Tab. 10. vyplývá, že predikovaný objem výroby naroste po zavedení automatizace téměř u všech výrobků s výjimkou TV3 a TV10. Pro dosažení potřebného objemu výroby těchto tvarovek lze využít nadbytečného objemu kteréhokoliv jiného výrobku. Celkový objem výroby na pracovištích vzroste oproti původnímu stavu o cca 115 %, tedy na 2,15násobek původního stavu.

Výše popsané hodnocení však nelze brát za relevantní, protože výrobky, které vykazují vhodné vlastnosti k automatizaci nejsou celým objemem výroby, případně

vůbec alokovány na automatizovaná pracoviště. Výpočet v Tab. 10. je proveden pouze pro demonstraci nárstu výkonosti.

Pro efektivní využití automatizovaného pracoviště je nutné vyjít z omezujících podmínek a počtu vyrobených ks jednotlivých výrobků za rok 2018. Tyto údaje lze vidět v Tab. 11.

Tab. 11: Celkový objem výroby za rok 2018 pro výrobky zadané firmou

| Bilance objemu výroby za rok 2018 | | | | | |
|--|-----------------------------|--|--|------------------------------------|----------------|
| Označení tvarovky | Celkem vyrobeno [ks] | Podíl z celkového objemu výroby [%] | Vyrobeno na pracovišti 9 a 4 [ks] | Počet výrobků ve formě [ks] | Proklad |
| TV12 | 1 223 816 | 24,7 % | 559 384 | 4 | Ne |
| TV14 | 1 158 311 | 23,4 % | 331 070 | 4 | Ne |
| TV8 | 615 000 | 12,4 % | 0 | 2 | Ano |
| TV6 | 606 000 | 12,2 % | 0 | 2 | Ne |
| TV2 | 370 854 | 7,5 % | 369 495 | 2 | Ne |
| TV1 | 351 285 | 7,1 % | 27 194 | 2 | Ano |
| TV13 | 345 395 | 7,0 % | 99 133 | 4 | Ne |
| TV15 | 111 936 | 2,3 % | 79 677 | 2 | Ne |
| TV3 | 50 796 | 1,0 % | 28 740 | 1 | Ano |
| TV9 | 47 502 | 1,0 % | 47 502 | 3 | Ne |
| TV4 | 30 759 | 0,6 % | 30 759 | 2 | Ne |
| TV11 | 15 457 | 0,3 % | 15 350 | 1 | Ano |
| TV5 | 14 505 | 0,3 % | 8 522 | 2 | Ano |
| TV7 | 7 205 | 0,1 % | 0 | 1 | Ano |
| TV10 | 3 894 | 0,1 % | 3 894 | 5 | Ne |
| Suma | 4 952 715 | 100,0 % | 1 600 720 | | |

Prvním předpokladem pro alokaci výrobků na automatizovaná pracoviště je počet vyrobených ks. Logicky by se na automatizovaná pracoviště měly alokovat produkty s největším počtem vyrobených ks. Proto jsou výrobky v Tab. 11. seřazeny dle počtu ks. Dalším předpokladem je zohlednění okrajových podmínek tak, aby došlo k simplifikaci procesu nakládky. Proto jsou zeleně zvýrazněny výrobky, u kterých nemusejí být jednotlivá patra skládky prokládána prokladovými cihlami.

V dalším kroku je nutné vypočítat čas výroby jednotlivých výrobků. Výpočet vychází z cyklových časů výroby jednotlivých produktů, které dodala firma. Vzorec pro výpočet predikované doby výroby jednotlivých výrobků lze vidět níže:

$$T_{\text{výroby}} = \frac{n_{\text{vozu}}}{n_{\text{vsm}} * n_{\text{sm}} * n_{\text{prac}} * k_{t \text{ sm}}} \text{ [dny]} \quad (7)$$

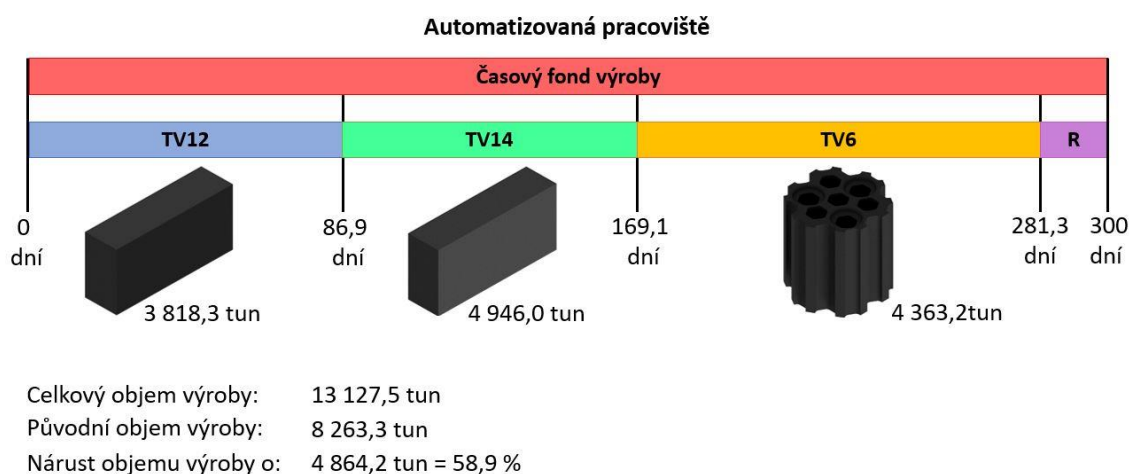
- Kde: n_{vozu} ... Počet pecních vozů, které je nutné naložit.
- n_{prac} ... Počet pracovišť.
(pro výpočet = 2)
- $n_{\text{v_sm}}$... Počet pecních vozů naložených za jednu směnu.
(pro výpočet = 3)
- n_{sm} ... Počet směn.
(pro výpočet = 3)
- $k_{t \text{ sm}}$... Opravný koeficient vyjadřující reálnou část směny, kdy bude probíhat nakládka.
(pro výpočet = 0,5)

Vypočtené údaje jsou znázorněny v Tab. 12. Zeleně jsou zvýrazněny výrobky, které budou alokovány na automatizovaná pracoviště. Splňují podmínky co nejvyššího počtu vyrobených ks a absence nutnosti prokládat jednotlivá patra skládky prokladovými cihlami.

Tab. 12: Výpočet doby výroby pro jednotlivé výrobky

| Výpočet doby výroby po zavedení automatizace | | | | |
|--|-------------------------|--|---|---------------------------------------|
| Označení tvarovky | Celkem vyrobeno [ks] | Podíl z celkového objemu výroby [%] | Doba výroby na automatizovaných pracovištích [dny] | Počet naložených pecních vozů [ks] |
| TV12 | 1 223 816 | 24,7 % | 86,9 | 1 101 |
| TV14 | 1 158 311 | 23,4 % | 82,2 | 1 322 |
| TV8 | 615 000 | 12,4 % | 258,2 | 2 563 |
| TV6 | 606 000 | 12,2 % | 112,2 | 2 367 |
| TV2 | 370 854 | 7,5 % | 32,1 | 578 |
| TV1 | 351 285 | 7,1 % | 60,7 | 652 |
| TV13 | 345 395 | 7,0 % | 24,5 | 365 |
| TV15 | 111 936 | 2,3 % | 18,0 | 222 |
| TV3 | 50 796 | 1,0 % | 11,2 | 57 |
| TV9 | 47 502 | 1,0 % | 4,7 | 66 |
| TV4 | 30 759 | 0,6 % | 2,7 | 60 |
| TV11 | 15 457 | 0,3 % | 16,4 | 215 |
| TV5 | 14 505 | 0,3 % | 5,0 | 67 |
| TV7 | 7 205 | 0,1 % | 3,6 | 36 |
| TV10 | 3 894 | 0,1 % | 0,3 | 2 |
| Suma | 4 952 715 | 100,0 % | 719 | 9 673 |

Podle výpočtu bude výroba vybraných tvarovek (TV12, TV14 a TV6) trvat 281,3 dne. Firmě vzniká rezerva 18,7 dne, kterou lze využít jako rezervní kapacitu, případně k výrobě jiného typu tvarovek. Zajímavým údajem je celková suma pracovních dní, které by byly potřeba k výrobě kompletního portfolia uvedených výrobků, činí 719 dní. Pro výrobu celého portfolia uvedených výrobků by tedy bylo nutné automatizovat více než 4 pracoviště. Grafické znázornění doby výroby vzhledem k ročním časovým kapacitám lze vidět na Obr. 76.



Obr. 76: Schematické znázornění doby výroby pro vybranou zakázku

Z Obr. 76 je patrné, že objem výroby po zavedení automatizace a relokaci výrobků, které splňují zvolené požadavky (vysoký počet ks, absence nutnosti prokládat jednotlivá patra skládky) vzroste o 4 864,2 tun, tedy cca 58,9 %.

Tato kapitola provedla technické hodnocení vybrané varianty automatizace, která byla navržena a zvolena v kapitolách 6 a 7. V první části kapitoly byla provedena analýza stávajících objemů výroby na pracovištích 4 a 9. Následně bylo prostřednictvím výpočtu určeno, jak naroste objem výroby po zavedení automatizace, při stávající alokaci zakázek na pracoviště. Tento výpočet by však byl pro reálný provoz automatizace nepoužitelný. Proto byla provedena relokace vybraných výrobků na automatizovaná pracoviště a proveden nový výpočet.

8.2 Ekonomická část

Tato kapitola se zabývá ekonomickým hodnocením navrhované automatizace. V první části kapitoly jsou určeny investiční náklady pro zavedení automatizace. Následně jsou vypočteny roční provozní náklady a určena doba návratnosti investice.

Prvním nutným předpokladem realizace ekonomického hodnocení projektu je určení investičních nákladů, které provedli odborníci z oddělení investic společnosti P-D Refractories CZ. Investiční náklady spojené se zavedením automatizace jsou přehledně zobrazeny v Tab. 13.

Tab. 13: Investiční náklady pro zavedení automatizace

| Investiční náklady pro realizaci automatizace | |
|--|----------------------|
| Položka | Cena |
| Robotizované pracoviště | |
| Robot ABB IRB 6640 | 2 800 000 Kč |
| Koncový efektor | 250 000 Kč |
| Prosypové zařízení | 150 000 Kč |
| Kontejner pro sklad prosypu s automatickým doplněním | 100 000 Kč |
| Senzorika | 300 000 Kč |
| Bezpečnostní prvky (oplocení, senzory pohybu) | 200 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 1 700 000 Kč |
| Suma | 5 500 000 Kč |
| Suma pro 2 pracoviště | 11 000 000 Kč |
| Automatický dopravník pecních vozů | |
| Řetězový dopravník 3 ks | 900 000 Kč |
| Hydraulický dopravník 2 ks | 800 000 Kč |
| Instalace a montáž + elektro | 1 200 000 Kč |
| Bezpečnostní oplocení a další bezpečnostní prvky | 600 000 Kč |
| Senzorika | 300 000 Kč |
| Suma | 3 800 000 Kč |
| Celkem | 14 800 000 Kč |

Hrubý odhad celkové ceny investice činí cca 14,8 mil. Kč, při garantované střední době bezporuchového provozu robotu 400 000 h. V přepočtu na roky je tedy životnost robotu vyčíslena na minimálně 50 let, při aktivním využití po celý čas provozu. Údaje o životnosti robotu jsou převzaty z webu výrobce ABB. [29]

Dalším krokem pro ekonomickou analýzu projektu je určení ročních provozních nákladů původního a automatizovaného pracoviště. Superhrubá mzda operátorů pracujících v současném provozu je odhadnuta na 500 000 Kč ročně. Tito operátoři nebudou po zavedení automatizace na pracovištích potřeba. Operátory nahradí jeden

technik, který bude řešit případné problémy, a který bude zároveň plnit i funkci programátora. Superhrubá mzda technika je vyčíslena na 600 tisíc Kč ročně.

Další položkou kalkulace, kterou je nutné stanovit je spotřeba elektrické energie. Výrobce ABB uvádí, že spotřeba elektrické energie instalovaných robotů činí 2,7 kW. Tento údaj je násoben počtem aktivních pracovních hodin robotu za jeden rok ($6750/2 = 3375$ h). Cena jedné kWh je stanovena na 2,50 Kč. Stanovené roční provozní náklady znázorněny v Tab. 14

Tab. 14: Roční provozní náklady původních a automatizovaných pracovišť

| Roční provozní náklady | | | |
|---|---------------------|--|---------------------|
| Původní pracoviště | | Automatizované pracoviště | |
| Mzda operátorů (2x3 směny = 6 operátorů) | 3 000 000 Kč | Elektřina Robot ABB 6640LX (2ks) | 40 500 Kč |
| | | Elektřina Automatický dopravník | 84 375 Kč |
| | | Mzda technika/programátora | 600 000 Kč |
| | | Údržba (1 % z ceny hmotného zařízení) | 102 000 Kč |
| Suma | 3 000 000 Kč | Suma | 826 875 Kč |
| Meziroční úspora | | | 2 173 125 Kč |

Z Tab. 14 lze vidět, že meziroční úspora po určení provozních nákladů činí cca 2,17 mil Kč. Údaje pro výpočet provozních nákladů jsou pouze odhadnuty a nevycházejí z dat firmy. Mzdy operátorů i cena, za kterou firma nakupuje elektrickou energii se mohou od výpočtu lišit. Po vypočtení meziroční úspory z provozních nákladů je proveden výpočet doby návratnosti investice, který lze vidět v Tab. 15

Tab. 15: Určení doby návratnosti z ročních provozních nákladů

| Výpočet doby návratnosti | |
|--------------------------|-----------------|
| Investiční náklady | 14 800 000 Kč |
| Meziroční úspora | 2 173 125 Kč |
| Doba návratnosti | 6,81 let |

Doba návratnosti investice byla vyčíslena na 6,81 let. Jedná se velmi optimistický údaj vzhledem k faktu, že podle výrobce je minimální střední doba životnosti robotu stanovena na 50 let. Navíc je současné pracoviště navrženo tak, že jeho dílčí komponenty mohou být vyměněny bez zásadní změny současného výrobního procesu.

Ekonomická část technicko-ekonomického hodnocení provedla odhad investičních a ročních provozních nákladů. Na základě odhadované úspory cca 2,17 mil. Kč byl proveden výpočet doby návratnosti investice. Doba návratnosti investice činí cca 6,81 let.

9 Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo navrhnout automatizaci výroby na vybraných pracovištích strojního lisování ve firmě P-D Refractories CZ a.s. a navrhnout technickoorganizační opatření, která bude nutné v souvislosti se zavedením automatizace uskutečnit.

V úvodu práce byla v krátkosti představena historie, výrobní závody a produktové portfolio společnosti P-D Refractories CZ a.s. V první, teoretické části práce, bylo nutné nastudovat problematiku automatizace a průmyslových robotů a manipulátorů. Proto byly první kapitoly práce věnovány řešerši na tato témata. V první kapitole byl objasněn pojem automatizace, jednotlivé typy automatizace, systémový přístup k automatizaci a modely pro zavádění automatizace. Zároveň byl ze získaných poznatků vytvořen rozhodovací model pro zavádění automatizace v průmyslových podnicích.

Druhá řešeršní kapitola práce byla věnována problematice průmyslových robotů a manipulátorů. Kapitola popsala kritéria, kterými lze PRM charakterizovat, a která jsou důležitá pro výběr PRM. Další část kapitoly se zabývala koncovými efektorů, které tvoří spojující mezičlánek mezi objektem manipulace a robotem. Bylo nastíněno rozdělení koncových efektorů z hlediska konstrukce a byly uvedeny praktické příklady manipulace s materiálem v cihlářském průmyslu.

Další kapitola této práce se zabývala analýzou současného stavu výroby ve společnosti P-D Refractories CZ a.s., konkrétně pak v závodu Nová Šamotka Velké Opatovice. Firma byla několikrát navštívena se záměrem sledování stávající výroby a provedení náměrů pro tvorbu layoutu. Zmíněné návštěvy vedly k vytvoření 3D layoutu závodu, který nahradí původní rozměrově nepřesný layout. V kapitole byl popsán současný stav výroby a interní logistiky, se zaměřením na pracoviště, která se budou automatizovat (lisy 9 a 4). Dále bylo analyzováno současné portfolio produktů vstupujících na pracoviště strojního lisování (15 tvarovek). V závěrečné části kapitoly byly podle analýzy definovány okrajové podmínky, které bylo nutné zohlednit při návrhu

zamýšlené automatizace (nutnost prokladu jednotlivých pater skládky, nutnost prosypu, mechanické vlastnosti tvarovek atd.).

Následující kapitola této práce se zabývala návrhem automatizace výroby na vybraných pracovištích. Nejprve bylo navrženo 5 variant automatizovaných pracovišť s různými konstrukcemi robotů (stacionární robot, mostová konstrukce) pro manipulaci s vylisovanými tvarovkami a různým dispozičním řešením umístění robotu na pracovišti. Následně byla podle zvolených kritérií (cena, interní logistika, situační řešení...) vybrána vhodná varianta 2, která byla dále rozpracována. Další část práce se zabývala návrhem dílčích zařízení pracoviště. Byl navržen pneumatický koncový efektor ve dvou variantách, prosypové zařízení upevněné na koncovém efektoru a kontejner pro sklad písku, který bude realizovat automatické doplnění písku do prosypového zařízení. V závěru kapitoly byla sestavena finální podoba automatizovaného pracoviště včetně jeho dílčích zařízení, která respektovala okrajové podmínky stanovené při analýze.

Další kapitola se zabývala návrhem technickoorganizačních opatření, která bude nutné uskutečnit pro správné fungování navrhované automatizace. Hlavním bodem byl návrh automatické linky, která bude zajišťovat logistiku pecních vozů v okolí pracoviště. Byly navrženy tři varianty této linky využívající řetězových a hydraulických dopravníků, případně VZV, z nichž byla podle definovaných kritérií zvolena varianta nejvhodnější. Byl také nastíněn lineární problém související s logistikou na automatické lince, který byl pro ukázkou vyřešen pro kombinaci výrobků (TV3 a TV4). Poslední část kapitoly poukázala na problém nerovnosti nakládkové plochy pecních vozů, které bude nutné pro zavedení automatizace modernizovat a přestavět jejich vyzdívku.

Poslední část práce provedla technickoekonomické hodnocení navrhované automatizace. V technické části je určen výpočtový vztah pro určení objemu výroby po zavedení automatizace, vycházející z cyklových časů. Bylo zjištěno, že při stávající alokaci výrobků na pracoviště bude predikovaný objem výroby o 115 % vyšší než původní stav. Tento výpočet však nerespektoval potenciál jednotlivých výrobků pro automatizaci. Proto byla provedena relokace vybraných typů tvarovek (TV12, TV14, TV6) na automatizovaná pracoviště. Tyto tvarovky byly v roce 2018 vyráběny v nejvyšším počtu ks. Zároveň není nutné při nakládce těchto výrobků prokládat jednotlivá parta

skládky prokládovými cihlami, což povede ke zjednodušení procesu nakládky. Pro tyto výrobky byl proveden nový výpočet predikce objemu výroby, přičemž bylo vypočteno, že výroba zmíněných tvarovek zabere 281,3 dne a objem výroby vzroste oproti původnímu stavu o 57 %.

Ekonomická část poslední kapitoly provedla odhad investičních nákladů souvisejících se zavedením automatizace na 14,8 mil Kč. Dále byly porovnány roční provozní náklady pro neautomatizované a automatizované pracoviště se stanovením meziroční úspory cca 2,17 mil. Kč. Doba návratnosti investice byla stanovena na cca 6,81 let. Cíle práce byly splněny v požadovaném rozsahu.

10 Seznam použité literatury

- [1] *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. Velké Opatovice: PD Group, 2018 [cit. 2019-06-05]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>

- [2] ŠVARC, Ivan, Miloš ŠEDA a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3491-2.

- [3] *Cambridge Dictionary* [online]. Cambridge: Cambridge University Press, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org>

- [4] *ISA: International Society of Automation* [online]. Eindhoven: ISA, b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.isa.org/about-isa/what-is-automation/>

- [5] PRNKA, Tasilo, František HRONEK a Karel ŠPERLINK. *Inovace v Evropské unii*. 2. aktualiz. vyd. Ostrava: Repronis, 2003. ISBN 80-732-9042-1.

- [6] GROOVER, Mikell. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Fourth edition. Boston: Pearson, 2015. ISBN 978-0-13-349961-2.

- [7] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III* [online]. Praha: MM publishing, 2014 [cit. 2019-05-17]. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/6.1.pdf

- [8] SHAKELY, Andrew. Hard vs. Flexible automation. *Nutec group* [online]. York: Nutec, 2014 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.nutecgroup.com/news/hard-vs-flexible-automation>

- [9] Automation in Production Systems. *Brainkart* [online]. Chennai: Brainkart, 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://www.brainkart.com/article/Automation-in-Production-Systems_6373/
- [10] *Automatizace a automatizační technika*. Praha: Computer Press, 2000. Všechny cesty k informacím. ISBN 80-7226-249-1.
- [11] VAZQUEZ, Enrique. The USA Principle. *CSI Automation* [online]. Illinois: CSI Automation, b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://csiautomation.com/the-usa-principle/>
- [12] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace výrobních procesů II: tváření*. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1990. ISBN 80-214-0221-0.
- [13] LACKO, Branislav. *Doc. Ing. Branislav LACKO, CSc.* [online]. Brno: VUT FSI, b.r. [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <https://lacko.otw.cz/>
- [14] VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-71-2.
- [15] LINDGREN, Olivia a Mattias SÖDERBERG. *A guideline for future automation decisions*. Stockholm, 2014. Master thesis. KTH - Industriell teknik och management.
- [16] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2012-2014. ISBN 978-802-5136-287.
- [17] HUBER, Robert. Twelve Steps to Successful Automated Manufacturing Systems. *Custom Automated Systems Group* [online]. McLean: The Association For Manufacturing Technology, 2019 [cit. 2019-06-11]. Dostupné z: www.amtonline.org/article_download.cfm?article_id=21861

- [18] ŠOBA, Oldřich, Martin ŠIRŮČEK a Roman PTÁČEK. *Finanční matematika v praxi*. Praha: Grada, 2013. Partners. ISBN 978-80-247-4636-4.
- [19] *Oxford learners dictionaries* [online]. Oxford: Oxford university press, 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com>
- [20] ANDRLÍK, Vladimír. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: ČVUT, 2012.
- [21] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace*. Brno, 2003. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf
- [22] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2019-05-19]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [23] *KUKA* [online]. KUKA AG, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [24] *Titan-machinery* [online]. Kharkiv: Titan-machinery, 2019 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://titan-machinery.com/en/>
- [25] *Tecauma* [online]. Les Essarts: Tecauma, 2018 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://www.tecauma.com/en/>
- [26] SIMONDETTI, Alvis. New robots will revolutionise the built environment. *Infrastructure intelligence* [online]. Londýn: Association for Consultancy and Engineering, 2019 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://www.infrastructure-intelligence.com/article/nov-2014/new-robots-will-revolutionise-built-environment>

- [27] BRETT, Martin. The Technology Behind Bricks: Plant automation is making better bricks without raising prices. *Masonry design* [online]. MH Magazine, 2019 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://www.masonrydesignmagazine.com/the-technology-behind-bricks/>
- [28] KÖHL: Robotized refractory brick setting on to kiln car. In: *Youtube* [online]. YouTube, LLC, 2019 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gWwRjzG9qoU>
- [29] ABB [online]. Mannheim: ABB, 2019 [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz>

11 Seznam tabulek

| | |
|---|-----|
| Tab. 1: Základní kinematické dvojice robotů užívané k tvorbě kinematických řetězců [20] | 40 |
| Tab. 2: Základní kinematické struktury robotů [20] | 41 |
| Tab. 3: Dělení manipulačních efektorů [20] [22] | 44 |
| Tab. 4: Kombinace pohybů motorů a mechanismu čelistí [22] | 46 |
| Tab. 5: Výrobky vstupující na pracoviště 4 a 9 | 64 |
| Tab. 6: Přibližný odhad rozpočtu pro jednotlivé varianty automatizovaného pracoviště | 78 |
| Tab. 7: Přibližný odhad rozpočtu pro jednotlivé varianty linky pro dopravu pecních vozů | 96 |
| Tab. 8: Řešení lineárního problému pro TV 4 alokovanou na pracoviště 9 | 99 |
| Tab. 9: Objem výroby na pracovištích 9 a 4 za rok 2018 pro vybrané výrobky | 103 |
| Tab. 10: Predikovaný objem výroby po zavedení automatizace | 104 |
| Tab. 11: Celkový objem výroby za rok 2018 pro výrobky zadané firmou | 105 |
| Tab. 12: Výpočet doby výroby pro jednotlivé výrobky | 106 |
| Tab. 13: Investiční náklady pro zavedení automatizace | 108 |
| Tab. 14: Roční provozní náklady původních a automatizovaných pracovišť | 109 |
| Tab. 15: Určení doby návratnosti z ročních provozních nákladů | 109 |

12 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Ilustrační obrázek: Výrobní závody a příklady produktů vyráběných v P-D Refractories CZ a.s. ... | 12 |
| Obr. 2: Procentuální podíl exportu [1] | 13 |
| Obr. 3: Výrobní závod Velké Opatovice-Nová Šamotka [1] | 13 |
| Obr. 4: Výrobní systém a jeho dílčí jednotky [6] | 16 |
| Obr. 5: Rozdělení výrobních systémů podle míry automatizace [6] | 17 |
| Obr. 6: Dělení automatizace podle [6] a [8] | 18 |
| Obr. 7: Pružný výrobní systém a jeho jednotky | 19 |
| Obr. 8: Tři typy automatizace [6] | 20 |
| Obr. 9: Modely pro zavádění automatizace [11] | 22 |
| Obr. 10: Computer integrated manufacturing [12] | 25 |
| Obr. 11: Zavádění jednotlivých fází automatizace [6] | 26 |
| Obr. 12: Schéma dekompozice a redukce systému [13] | 27 |
| Obr. 13: Hierarchie inovace [14] | 29 |
| Obr. 14: Závislost stupně automatizace na nákladech [15] | 29 |
| Obr. 15: Schéma rozhodovacího procesu při zavádění automatizace z hlediska určení nákladů [18] | 30 |
| Obr. 16: Technický vývoj [16] | 34 |
| Obr. 17: Členění manipulačních zařízení [20] | 34 |
| Obr. 18: Kritéria klasifikace robotů | 36 |
| Obr. 19: Univerzální robot KR30 od firmy Kuka včetně schématu dosažitelného pracovního prostoru [23] | 36 |
| Obr. 20: SCARA robot od firmy Kuka včetně schématu konstrukce a dosažitelného pracovního prostoru [23] | 37 |
| Obr. 21: Základní subsystémy PRM [22] | 38 |
| Obr. 22: Robotické rameno s vyznačenými stupni volnosti | 42 |
| Obr. 23: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T1 [22] | 46 |
| Obr. 24: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T2 [22] | 47 |
| Obr. 25: Schematické návrhy koncových efektorů pro kombinaci T3 a T4 [22] | 47 |
| Obr. 26: Schematický náčrt pasivního úchopového prvku [22] | 48 |
| Obr. 27: Ejektor a schematický náčrt aktivního pneumatického úchopového prvku opatřeného efektozem [22] | 49 |
| Obr. 28: Schematické znázornění uchopení objektu s nevodorovným povrchem [22] | 49 |
| Obr. 29: Robotický manipulátor se speciálním koncovým efektozem od firmy Titan-machinery a řešení pro rozměrově větší výrobky od Tecauma [24] [25] | 50 |
| Obr. 30: Robot s vloženým stupněm volnosti a detail na jeho koncový efektor [26] | 51 |

| | |
|---|----|
| Obr. 31: Manipulační zařízení ve firmě Hanson brick [27]..... | 51 |
| Obr. 32: Robot vybavený pneumatickým efektoem pro uchopení čtyř objektů manipulace [28] | 52 |
| Obr. 33: Postup prováděných činností..... | 53 |
| Obr. 34: Výrobní proces tvarovek | 53 |
| Obr. 35: Pracoviště hydraulického lisu společně s pásovým dopravníkem a transport pecního vozu po průběžné koleji prostřednictvím VZV. | 56 |
| Obr. 36: Přesuvná kolej, společně se speciálním zařízením a průběžné koleje, konkrétně volnoprostorová sušárna..... | 56 |
| Obr. 37: Schéma materiálového toku | 57 |
| Obr. 38: Původní layout | 59 |
| Obr. 39: Nový 3D layout haly | 60 |
| Obr. 40: Dílčí prvky pracoviště 9 | 61 |
| Obr. 41: Vyjmutí příslušných plošin a speciální přípravek pro vložení formy | 61 |
| Obr. 42: 1,2) Interní předpis pro skládku tvarovek; 2) Zakládání skládky a prosyp; 3) Skládka výroby na paletě z důvodu nepřítomného volného pecního vozu | 63 |
| Obr. 43: Počet ks tvarovek vyrobených na pracovištích 9 a 4 za rok..... | 65 |
| Obr. 44: Celkový počet vyrobených ks jednotlivých tvarovek za rok..... | 66 |
| Obr. 45: Porovnání hmotností a počtu tvarovek ve formě | 67 |
| Obr. 46: Porovnání cyklových časů pro jednotlivé tvarovky | 68 |
| Obr. 47: Schematické znázornění okrajových podmínek pro návrh automatizace prostřednictvím PRM | 69 |
| Obr. 48: Postup návrhu automatizovaného pracoviště | 73 |
| Obr. 49: Varianta 1: grafický návrh | 74 |
| Obr. 50: Varianta 2: grafický návrh | 74 |
| Obr. 51: Varianta 3: grafický návrh | 75 |
| Obr. 52: Varianta 4: grafický návrh | 76 |
| Obr. 53: Varianta 5: grafický návrh | 76 |
| Obr. 54: Okrajové podmínky pro návrh koncového efektoru..... | 79 |
| Obr. 55: Koncový efektor: Typ 1 | 80 |
| Obr. 56: Koncový efektor: Typ 2 | 80 |
| Obr. 57: Model zařízení pro prosyp jednotlivých pater skládky | 81 |
| Obr. 58: Robot vybavený zařízením pro prosyp a kontejner pro sklad písku | 82 |
| Obr. 59: Varianty robotické manipulace s prokladovými cihlami | 82 |
| Obr. 60: Detail gripperu opatřeného přidavnými savkami a kompletní sestava gripperu v pracovní pozici | 83 |
| Obr. 61: Technicko-organizační změny na pracovišti | 84 |
| Obr. 62: Schematický model automatizovaného pracoviště 9 a 4 | 85 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 63: Uspořádání pracoviště 9 | 86 |
| Obr. 64: Disponibilní kapacita pecních vozů | 87 |
| Obr. 65: Varianty zásobování pracovišť pecními vozy | 88 |
| Obr. 66: Počet naložených pecních vozů za 1 směnu (450 min) pro jednotlivé tvarovky | 89 |
| Obr. 67: Rozdělení průběžné koleje do jednotlivých pásem | 90 |
| Obr. 68: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 1 | 91 |
| Obr. 69: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 2 | 93 |
| Obr. 70: Logistika pecních vozů po průběžné koleji: Varianta 3 | 94 |
| Obr. 71: Grafické znázornění kapacitního problému | 97 |
| Obr. 72: Řešení lineárního problému pro TV 4 alokovanou na pracoviště 9 | 98 |
| Obr. 73: CAD model prvního a druhého typu pecních vozů | 100 |
| Obr. 74: Pecní vůz typu 1 (vlevo) a Pecní vůz typu 2 (vpravo) | 100 |
| Obr. 75: Postup technické analýzy a hodnocení | 102 |
| Obr. 76: Schematické znázornění doby výroby pro vybranou zakázku | 107 |