

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2021**

**TOMÁŠ  
KRIŽANÍK**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Křižaník** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **495488**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Průmysl 4.0**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace procesu výroby**

Název diplomové práce anglicky:

**Production Process Optimization**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše problematiky optimalizace výrobních procesů
- 2) Analýza vybraného procesu výroby
- 3) Návrh optimalizačních řešení
- 4) Technicko-ekonomické zhodnocení navržených variant

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Kyncl, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **28.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.  
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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně za použití literárních zdrojů uvedených v seznamu citované literatury a dále za přispění odborných konzultací svého vedoucího práce Ing. Jiřího Kyncla, Ph.D.

Dne .....

Podpis .....

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a trpělivost při zpracování. Dále děkuji i Ing. Tomášovi Kellnerovi za konzultační pomoc, připomínky a věnovaný čas při zpracování praktické části diplomové práce. V neposlední řadě patří díky mé rodině za podporu během studia.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je vytvoření návrhu úchopného prvku, který umožní manipulaci celého sloupce keramických komínových vložek. Úvodní kapitoly diplomové práce jsou zaměřeny na optimalizaci výrobních procesů a automatizaci. V dalších částech jsou představeny průmyslové roboty a manipulátory, základní charakteristiky pracovních hlavic a jsou zde také popsány pohony používané ve strojírenských aplikacích. Nechybí ani analýza vybraného výrobního procesu, na kterou navazuje návrh optimalizačních řešení. V samotném závěru diplomové práce je technické a ekonomické zhodnocení optimalizační varianty.

**Klíčová slova: Průmysl 4.0; Automatizace; Průmyslový robot; Keramické komínové vložky; Úchopné hlavice**

## **Abstract**

The main goal of this diploma thesis is to design a gripping element that allows manipulation of the entire column of ceramic chimney liners. The first chapters of the diploma thesis are focused on optimization of production processes and automation. In the next sections there is a description of industrial robots and manipulators, characteristic of the end effectors and drives used in engineering applications. Part of the diploma thesis is the analysis of a selected production process, followed by design of optimization solutions. At the end of the diploma thesis, the technical and economic evaluation of the optimization variant is presented.

**Key words: Industry 4.0; Automation; Industrial robot; Ceramic chimney liners; Gripper end effectors**

# Obsah

Úvod.....	8
1. Optimalizace výrobních procesů.....	9
1.1. Výrobní proces.....	9
1.1.1. Rozdělení výrobních procesů.....	10
1.2. Technická příprava výroby .....	10
1.3. Přístupy k optimalizaci procesů.....	11
1.4. Závěr .....	12
2. Automatizace .....	13
2.1. Důvody pro zavádění automatizace .....	14
2.1.1. Vynucené důvody.....	14
2.1.2. Ekonomické důvody.....	15
2.1.3. Jiné důvody.....	15
2.2. Závěr .....	15
3. Průmyslové roboty a manipulátory .....	16
3.1. Kinematická stavba.....	16
3.2. Rozdělení .....	18
3.2.1. Rozdělení podle provedení a úrovně řízení.....	19
3.2.2. Rozdělení podle kinematické struktury .....	22
3.3. Závěr .....	28
4. Pracovní hlavice.....	29
4.1. Struktura pracovních hlavic .....	30
4.2. Rozdělení .....	31
4.2.1. Úchopné hlavice.....	32
4.2.2. Technologické hlavice.....	37
4.3. Závěr .....	39
5. Pohony .....	40
5.1. Rozdělení .....	41
5.1.1. Hydraulické .....	42
5.1.2. Pneumatické .....	43
5.1.3. Elektrické.....	43

5.2.	Závěr .....	44
6.	Analýza vybraného procesu výroby .....	45
6.1.	Představení společnosti .....	45
6.2.	Keramické komínové vložky .....	46
6.3.	Analýza procesu výroby .....	49
6.4.	Podmínky pro optimalizaci .....	51
6.5.	Závěr .....	52
7.	Návrh optimalizačních řešení .....	53
7.1.	Návrh tvaru .....	53
7.2.	Návrh materiálu pro zlepšení úchopu .....	56
7.3.	Návrh pohonu.....	57
7.4.	Návrh rázového zařízení .....	66
7.5.	Návrh senzorů .....	69
7.6.	Finální konstrukční návrh optimalizační varianty .....	71
7.7.	Návrh robota .....	80
7.8.	Závěr .....	86
8.	Technicko-ekonomické zhodnocení .....	87
8.1.	Technické zhodnocení .....	87
8.2.	Ekonomické zhodnocení.....	89
	Závěr .....	92
	Seznam použité literatury .....	94
	Seznam obrázků .....	98
	Seznam tabulek .....	100
	Seznam zkratk .....	100

# Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukčním řešením úchopného prvku, který bude použit pro manipulaci sloupce keramických komínových vložek. Diplomová práce je rozdělena na několik částí.

Úvodní kapitola se věnuje optimalizaci výrobních procesů. Zde je nejprve vysvětlen výrobní proces, jenž je následně rozdělen do příslušných kategorií. Dále jsou popsány činnosti a oblasti, na které se zaměřuje technická příprava výroby. V závěru kapitoly jsou uvedeny základní přístupy k optimalizaci procesů.

Navazuje rešerše z oblasti automatizace, v níž je tento pojem nejprve obecně vysvětlen. Dále jsou uvedeny zásadní důvody pro aplikaci automatizace v průmyslových podnicích a oblasti nejčastějšího použití.

V další kapitole jsou charakterizovány průmyslové roboty a manipulátory. V úvodu je uvedena stručná definice, na kterou je navázáno kinematickou stavbou akčních členů. Následuje rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů podle provedení a stupně řízení a podle uspořádání kinematické struktury.

V úvodu následující kapitoly jsou krátce charakterizovány pracovní hlavice. Kapitola se zabývá rozdělením podle typů aplikací, ke kterým jsou nejčastěji výrobní hlavice ve strojírenských podnicích používány. Dalším typem je rozdělení na konkrétní typy pracovních hlavic.

Obsahem další kapitoly jsou pohony používané nejen pro stavbu průmyslových robotů a manipulátorů, ale i pro určité strojírenské aplikace. Zde je uvedena definice a rozdělení pohonů podle druhu vstupní energie.

Podstatnou částí diplomové práce je analýza vybraného procesu výroby. V úvodu je nejprve představena společnost P-D Refractories CZ a.s. Dále jsou charakterizovány keramické komínové vložky a technologické procesy výroby. V závěru jsou uvedeny podmínky a požadavky, které je nezbytné zohlednit při optimalizačním návrhu.

Následující kapitola je zaměřena na návrh optimalizačních řešení. Na začátku jsou uvedeny návrhy tvarů a zhodnocení jednotlivých variant. Následuje diskuse týkající se materiálů použitých na konstrukci prototypu. Oblast řešení se dále zaměřuje na výběr pohonu a řídicí jednotky, ale také na výběr rázového zařízení a senzorů. Poté je kapitola zaměřena na finální konstrukční návrh optimalizační varianty. V závěru kapitoly je navržen a ověřen robot.

V poslední kapitole diplomové práce je uvedeno zhodnocení navržené optimalizační varianty z technicko-ekonomického hlediska.



# 1. Optimalizace výrobních procesů

V této kapitole jsou uvedeny základní poznatky potřebné k optimalizaci výrobních procesů. Nejprve je definován výrobní proces, který je následně rozdělen podle požadavků technologického projektování. Dále jsou uvedeny činnosti a výstupy technické přípravy výroby. Na závěr jsou zohledněny přístupy k optimalizaci výrobních procesů.

## 1.1. Výrobní proces

Výrobní proces strojírenského podniku je realizován pomocí technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností. Cílem těchto činností je změna tvaru, rozměru, složení jakosti a spojení výchozích materiálů a polotovarů při zohlednění technicko-organizačních požadavků jednotlivých výrobků. Výrobní proces je vykonáván prostřednictvím výrobních systémů. Výrobní systém je soubor technických prostředků obsluhovaných lidmi. Řízení výrobního systému probíhá v rámci určitých metod, postupů a principů s cílem transformovat vstupy na výstupy a splnit tak vize a strategie společnosti. V obecném pojetí lze do výrobního systému začlenit vše, co přeměňuje vstupy na výstupy s určitou přidanou hodnotou. Ve strojírenských podnicích je zpravidla hlavním cílem při výrobě a dodání produktů zákazníkovi zohlednit tři následující kritéria: kvalita, čas a náklady.

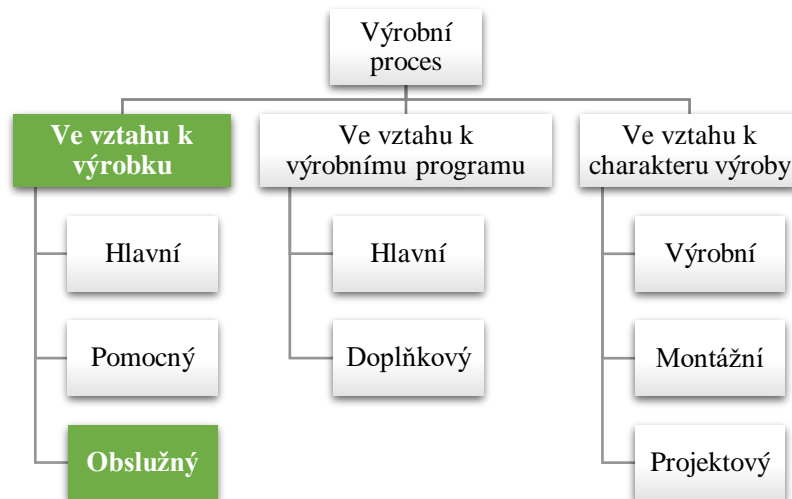
Závislost jednotlivých technicko organizačních úrovní výrobních systémů, zejména jejich specializační struktura, úroveň mechanizace, kooperace a integrace je podmíněna vlivem jednotlivých požadavků. Mezi nejdůležitější požadavky patří následující:

- výrobek (konstrukčně technologická koncepce),
- materiál a polotovary (pracovní předměty),
- stroje a výrobní zařízení (pracovní prostředky),
- technologie (tváření, slévání, obrábění, montáž atd.),
- pracovníci (kvalifikace, odbornost apod.),
- organizace (časová a prostorová struktura).

Důležitými vlastnostmi jsou technicko-ekonomická vyváženost nejdůležitějších částí a provozní podmínky výrobních systémů. Tyto dva faktory mají vliv na celkovou efektivitu výrobního procesu. Efektivita bývá zpravidla závislá na tvůrčí aktivitě člověka. Tato aktivita způsobuje určité změny nebo inovace. Tyto změny jednotlivých částí výrobních systémů se potom projevují efekty např. v produktivitě, výrobních nákladech, objemu výroby apod. [1]

### 1.1.1. Rozdělení výrobních procesů

Výrobní proces strojírenského podniku lze rozdělit podle požadavků technologického projektování na kategorie zobrazených na následujícím obrázku.



Obrázek 1: Rozdělení výrobního procesu [1]

Hlavní výrobní proces je orientován na výrobu finálních výrobků, které jsou určeny k expedici mimo strojírenských podnik. Finální podoba výrobku určuje specializaci výroby. Pomocný výrobní proces se orientuje na výrobu produktů nepřecházejících do finálních výrobků. Mezi tyto produkty patří např. speciální nástroje, přípravky atd. Obslužný výrobní proces jako celek slouží pro zajištění všech potřebných druhů potřebných energií a služeb, mezi které patří např. manipulace s materiálem, skladování, expedice atd. [1]

## 1.2. Technická příprava výroby

Technická příprava výroby je souhrnem činností a opatření technicko-ekonomického charakteru, které se zaměřují na vypracování konstrukční, technologické a projektové dokumentace. Dále je zpracování zaměřeno na dokumentaci pro materiálně technické vybavení výrobních procesů.

Je velice důležité, aby výstupem technologické přípravy výroby bylo takové konstrukční, technické a projektové řešení, které zajistí maximální efektivitu výrobních procesů zpravidla při zohlednění úspor materiálů, energií, pracovní sil, výrobních nákladů, pracnosti, ale i zkrácení průběžné doby výroby. Zkrácení průběžné doby výroby lze realizovat jak pro technickou přípravu výroby, tak i pro výrobu samotnou.

Základní požadavky na technickou přípravu výroby jsou následující:

- úzká spolupráce jednotlivých útvarů,
- týmové zpracování jednotlivých etap technické přípravy výroby,
- strukturalizace projektových týmů,
- uplatnění principu simultánního inženýrství,
- uplatnění principu štíhlé výroby.

V technické přípravě výroby lze procesy optimalizovat na základě např. principů štíhlé výroby v následujících krocích:

- usilovat o zkvalitnění všech činností logistického řetězce (Kaizen),
- koncentrovat pozornost na místa, která jsou rozhodující (Gemba),
- optimalizovat systém materiálových a informačních toků (Strategie 3Mu),
- minimalizovat velikost skladů a zásob (Just in time). [1]

### **1.3.Přístupy k optimalizaci procesů**

Jedním z nejrozšířenějších optimalizačních přístupů ve společnostech je štíhlá výroba neboli lean manufacturing. Štíhlou výrobu lze označit jako filozofii, jejímž cílem je neustálé zvyšování přidané hodnoty všech činností a procesů ve společnosti. Zároveň je kladen důraz na omezení veškerého plýtvání např. finančními prostředky, lidskými zdroji, časem, materiálem, prostorem v pracovním prostředí apod. Při snížení plýtvání určitými zdroji lze docílit zvýšené přidané hodnoty pro společnost nebo snížení nákladů. Tato metodika pochází z Japonska a byla vyvinuta společností Toyota jako Toyoda Production System (TPS). Základní koncepty štíhlého myšlení lze vyjádřit v následujících bodech:

- přidaná hodnota,
- eliminace plýtvání,
- neustálé zlepšování procesů,
- zapojení zaměstnanců.

V rámci přístupu lean manufacturing jsou prosazovány různé metody, mezi které patří např. metoda 5S, Kaizen, Kanban, Just in Time, Poka-Yoke, metoda Total Productive Maintenance apod. Tyto metody jsou používány zejména pro zvýšení efektivity a prosperity v podniku. Dalším využitím metod je odstranění nejčastějších problémů. Metody jsou určeny jak pro zaměstnance, tak i pro vedoucí nebo manažerské pozice. Tato filozofie se postupně rozšířila do celého světa a nachází velice široké uplatnění v nejen strojírenských oblastech. [2]

Dalším přístupem k optimalizaci výrobních procesů ve společnosti je možnost použití automatizační techniky nebo průmyslových robotů a manipulátorů. Automatizaci lze aplikovat pro výrobní i nevýrobní aplikace. Použití automatizace může být v určitých případech velkým zásahem do podnikových procesů. Z toho důvodu je důležité nejprve zpracovat podrobnou analýzu a na základě této analýzy vykonávat příslušná rozhodnutí. V mnoha případech lze určité procesy pouze zjednodušit než se hned rozhodnout pro zapojení automatizace.

#### **1.4.Závěr**

V této kapitole byly obsaženy základní poznatky nezbytné pro optimalizaci výrobních procesů. Nejprve byl charakterizován výrobní proces. Dále byl výrobní proces rozdělen do příslušných kategorií a podkategorií. Následně bylo vysvětleno, co je předmětem technické přípravy výroby. Na závěr kapitoly byly uvedeny nejčastější štihlé metody používané pro optimalizaci ve strojírenských firmách. Zmíněna byla i automatizace, protože určité přístupy optimalizace k automatizaci směřují. Z toho důvodu je automatizaci věnována následující kapitola.

## 2. Automatizace

Tato kapitola stručně představuje automatizaci. Nejprve je samotný pojem vysvětlen. Dále jsou uvedeny oblasti, ve kterých se automatizace vyskytuje. Následně kapitola objasňuje nejčastější důvody, proč je automatizace ve výrobních i nevýrobních podnicích zaváděna.

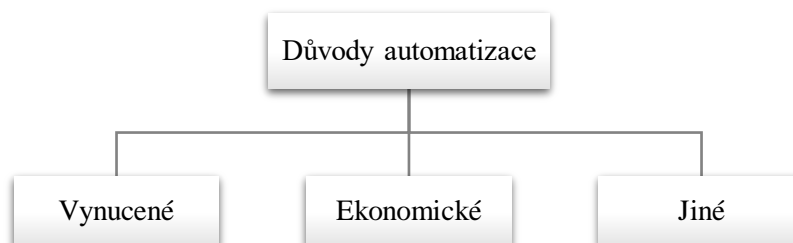
Automatizace je proces, který nahrazuje fyzickou a řídicí činnost člověka. Automatizace je o stupeň vyšší než mechanizace. Při mechanizaci se používají technické stroje a zařízení pro odstranění lidského faktoru z fyzicky namáhavé a jednotvárné práce. Automatizace je v dnešní době velice rozšířená a používá se ve výrobních i nevýrobních procesech. Oblastí, v nichž je automatizace aplikována, existuje opravdu velké množství. Pro příklad lze uvést některá z odvětví. Automatizace se uplatňuje v letectví, zbrojním průmyslu, strojírenském průmyslu, zdravotnictví, ale zároveň i v mnoha nevýrobních oborech jako např. v bankovníctví, komunikačních technologiích, zabezpečení nebo v testování nových verzí softwaru. Zde je uvedeno pouze několik výrobních a nevýrobních možností, kde se automatizace běžně vyskytuje. Bez jejího použití si málokdo dokáže fungování určitých oblastí představit.

S příchodem nových a vyvíjejících se technologií se okruh působení automatizace bude pravděpodobně neustále rozšiřovat. S tím přímo souvisí určitý vývoj dalších oblastí v průmyslu a vědeckých odvětvích. Automatizace zásadně působí i na rozvoj znalostí a dovedností osob ve společnosti. Jelikož se může jednat o poměrně velký zásah ve všech oblastech na pracovišti, ale také z ekonomického hlediska, je důležité myslet dopředu a před zaváděním automatizace zpracovat detailní rozbor. [3] [4]

Snaha automatizovat je spojena s veškerou lidskou činností ve výrobním podniku. Vývoj techniky a ekonomické síly společnosti je podmíněn nejen automatizací, ale i samotnou zvolenou technologií výroby. Automatizace ve výrobě je základem pro řadu výhod, kterými mohou být např. vyšší produktivita, dosažení lepší kvality výrobků, zkrácení průběžné doby výroby a celkové zvýšení efektivity podniku. [5]

## 2.1. Důvody pro zavádění automatizace

Cílem automatizace procesů ve společnosti je nahradit náročnou fyzickou a duševní práci člověka pomocí činností strojů a zařízení. Náhrada lidského faktoru může být úplná nebo jen částečná.



Obrázek 2: Důvody pro zavádění automatizace [3]

Důvody pro zavádění automatizace ve společnostech je možné rozdělit do tří skupin, které jsou uvedeny na předchozím obrázku. Jednotlivé kategorie budou nyní vysvětleny v podkapitolách.

### 2.1.1. Vynucené důvody

Do první skupiny patří situace, kdy je přímo žádáno automatizací nahradit lidskou pracovní činnost. Existuje několik oblastí, ve kterých je člověk vystaven nebezpečnému pracovnímu prostředí nebo působení nepříznivých vlivů a kde by mohlo dojít k úrazu nebo dokonce ke smrti. Jedná se např. o manipulaci s vysoce radioaktivními materiály, práce za extrémních teplot nebo zneškodnění výbušnin. Dále se jedná třeba o práci v dolech, u vysokých pecí nebo v chemických provozovnách.

Následně se automatizace využívá při činnostech, které by člověk nemohl vykonat dostatečně spolehlivě nebo by mohl způsobit chyby, jež by s sebou nesly podstatné následky. Příkladem této oblasti může být řízení průběhu řetězové reakce v jaderném reaktoru nebo řízení raket, parních a spalovacích turbín, případně i ovládání navigačního systému letadel.

Dále se používá automatizace z důvodu zajištění vyšší kvality, které člověk není schopný svou prací dosáhnout. Typickým příkladem takové aplikace jsou robotické lakovací nebo svařovací pracoviště, kde robot koná rovnoměrný a plynulý pohyb po složité dráze a lze tak dosáhnout vysoké jakosti zpracovávané technologie.

Poslední oblastí jsou procesy, v nichž nemůže být lidský faktor přítomen nebo není možné obsáhnout tak velký počet lidí. Typickým příkladem může být např. automatické počítání cestujících, spojování hovorů nebo automaty na vydávání jízdenek či nápojů. [3]

### **2.1.2. Ekonomické důvody**

V druhé skupině jsou nastíněny oblasti, v nichž jsou uvedeny zásadní důvody, proč se automatizace aplikuje z ekonomického hlediska. Zavedením automatizace v provozu je možné dosáhnout zvýšení produktivity, zvýšení objemu výroby a lepších kvalitativních vlastností výrobků. Dále lze zkrátit průběžnou dobu výroby a vývoje, čímž podnik dokáže lépe a pružněji reagovat na potřeby zákazníka. Všechny tyto výhody mohou pro podnik znamenat zajištění silného postavení a určitou konkurenční výhodu. Vyrobít produkty lépe a rychleji, než konkurence znamená širší oblast zákazníků a větší zisky. Dále lze s použitím automatizačních prostředků snižovat náklady na zaměstnance a zároveň s tím i režijní náklady, do nichž patří náklady na výrobní a skladování plochy, na spotřebu energie, opotřebení zařízení apod. [3]

### **2.1.3. Jiné důvody**

Mezi jiné důvody pro zavádění automatizace patří např. zvýšení pohodlí pro člověka. Typickým příkladem mohou být různé dálkově ovládané spotřebiče nebo automatické ovládání elektronických přístrojů. Pomocí automatizace lze získat velké množství dat nebo informací, které je možné dále určitým způsobem zpracovat. Automatizace má zastoupení také v ekologii, kde se pomocí určitých strojů a zařízení monitoruje čistota ovzduší nebo se používá pro řízení optimálního spalování pro dosažení minimálního obsahu škodlivin v ovzduší. [3]

## **2.2. Závěr**

V této kapitole byl stručně představen pojem automatizace. V úvodní části bylo definováno, co automatizace znamená a v jakých oblastech se nejčastěji vyskytuje. Následně byly uvedeny tři hlavní důvody, kvůli kterým je oblast automatizace ve výrobních i nevýrobních podnicích prosazována. Ve strojírenských firmách se optimalizují nebo automatizují procesy zejména použitím průmyslových robotů a manipulátorů. Z toho důvodu jsou obecně vysvětleny v následující kapitole.

### 3. Průmyslové roboty a manipulátory

V této kapitole jsou představeny průmyslové roboty a manipulátory. Na začátek je uvedena stručná definice. Na definici je navázáno popisem kinematické stavby akčních členů. Poté jsou uvedeny dvě konkrétní rozdělení. Ta jsou dále rozvedena v jednotlivých podkapitolách, kde jsou mimo jiné definovány uvedené typy průmyslových robotů a manipulátorů.

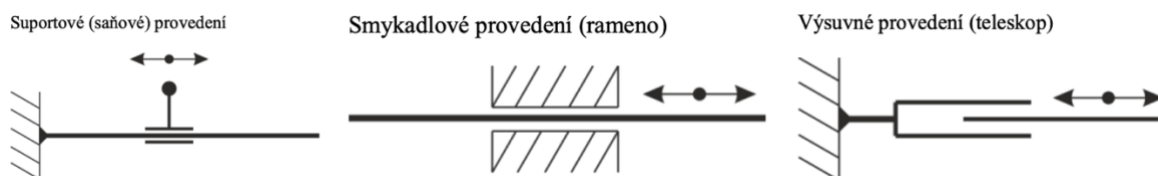
Základní vlastností dnešní doby v průmyslových výrobních podnicích je zvyšující se cena za práci lidského faktoru. Manuální práce je stále častěji nahrazována z důvodu neustále rostoucích požadavků na kvalitu a spolehlivost produktů. Pro lidský faktor je velice náročnou výzvou těmto požadavkům vyhovět a jednotvárná práce stále méně odpovídá lidskému charakteru. V neustále narůstajícím trhu postupem času vzniká silná konkurence, která přichází s inovativními produkty, na než musí průmyslové podniky pružně a pohotově reagovat. Veškeré tyto poznatky mají vliv na automatizaci výrobních procesů. Automatizace je v dnešní době používána zejména k částečnému nebo úplnému odstranění lidského faktoru ve výrobních, ale i nevýrobních oblastech. Děje se tak z určitých důvodů, uvedených v předchozí kapitole. Neustálý pokrok a vývoj nových technologií vedou k nahrazení lidského faktoru v daných procesech. Automatizace je neustále se rozšiřujícím jev především od druhé poloviny 20. století. Oblast jejího využití roste s vývojem elektroniky, mikroelektroniky a moderní řídicí techniky. V oblasti aplikace automatizace výroby mají silné využití i zařízení pro automatizaci operační manipulace – průmyslové roboty a manipulátory (zkráceně PRaM). Hlavním důvodem pro využití PRaM na pracovištích je rostoucí produktivita práce při nižších nákladech, ušetření pracovních sil a např. také vyšší kultura práce člověka. [4]

#### 3.1. Kinematická stavba

Akční systém PRaM je v podstatě definován jako pohybový mechanismus, který je sestaven z více binárních členů. Tyto binární členy jsou vázány mezi sebou pomocí kinematických dvojic. Kinematické dvojice obsahují zpravidla jeden stupeň volnosti. Dále se mohou vyskytovat kinematické dvojice s více stupni volnosti, mezi něž patří např. válcové, rovinné nebo sférické kinematické dvojice. Pro konstrukční provedení PRaM není více stupňů volnosti příliš typické a nevyskytují se tak příliš často. Struktura PRaM je nejčastěji tvořena posuvnými (translačními) a otočnými (rotačními) kinematickými dvojicemi. [6] [7]

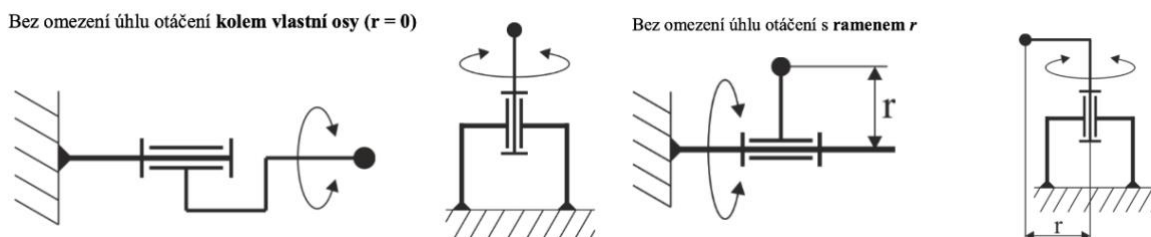


Na následujícím obrázku je zobrazeno translační provedení kinematických dvojic. Suportové provedení je charakteristické tím, že se posouvá kratší těleso po delším vedení. Naopak smykadlové provedení je takové, kde se posouvá delší těleso po kratším vedení. Také se vyskytuje tzv. výsuvné (teleskopické) provedení, které je zobrazeno na obrázku vpravo.



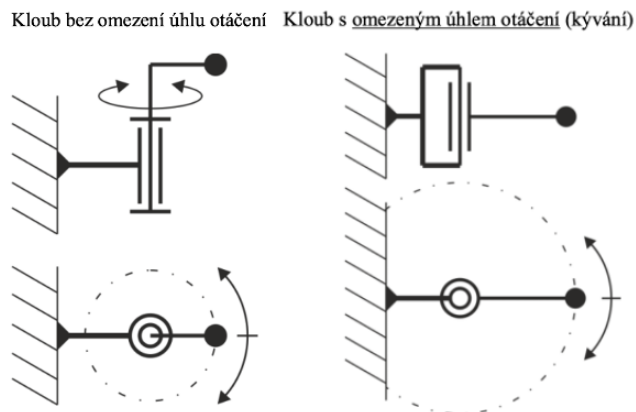
Obrázek 3: Translační kinematické dvojice [7]

Pro rotační kinematické dvojice je zásadní dodržet jejich specifikace. Rotace může být zajištěna buď bez omezení úhlu otáčení s ramenem délky  $r$  nebo bez omezení úhlu otáčení kolem vlastní osy, kde vzdálenost  $r$  je rovna nule. Následně je možné rotaci rozdělit na omezenou nebo bez omezení. Důležité je také posuzovat úhel pohledu na otočný kloub. [6]



Obrázek 4: Rotační kinematické dvojice [7]

Předchozí obrázek zobrazuje rotační kinematické dvojice, které nemají omezen úhel otáčení. Rozdíl je pouze v délce ramene  $r$ .



*Obrázek 5: Rotační kinematické dvojice [7]*

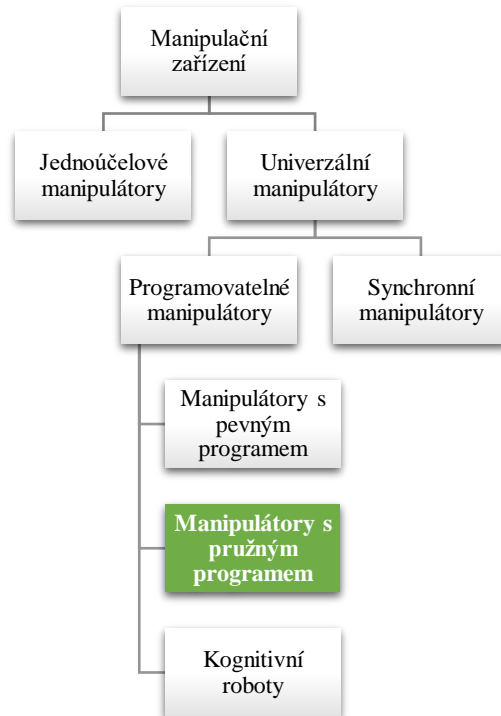
Předchozí obrázek poukazuje na možný rozsah úhlu otáčení. Vlevo je zobrazen kloub, který nemá omezen úhel otáčení. Vpravo je potom zobrazen kloub, jenž může vykonávat pouze kyvný pohyb v určitém úhlovém rozsahu.

### **3.2.Rozdělení**

Průmyslové roboty a manipulátory lze rozdělit podle určitých parametrů do několika kategorií. Zde je nejprve uvedeno rozdělení podle provedení a úrovně řízení. Poté jsou PRaM rozděleny podle složení kinematické struktury.

### 3.2.1. Rozdělení podle provedení a úrovně řízení

Následující schéma zobrazuje rozdělení PRaM podle provedení a stupně řízení.

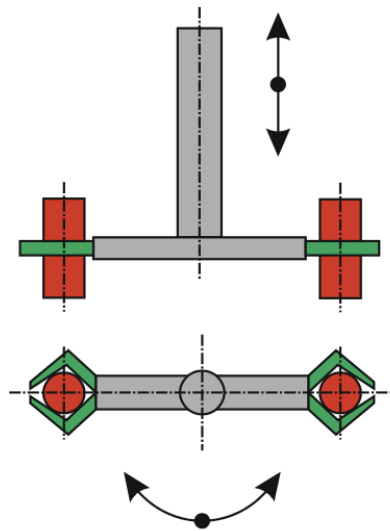


Obrázek 6: Rozdělení PRaM podle provedení a stupně řízení [7]

Mezi jednoučelové manipulátory se zpravidla řadí prostředky pro manipulaci jedním objektem. Univerzálními manipulátory jsou samostatné mechanismy, které se dále rozdělují podle způsobu řízení. Nyní budou jednotlivé uvedené kategorie stručně definovány v příslušných podkapitolách.

## Jednoúčelové manipulátory

Název pro tyto manipulátory je odvozen od použití zejména pro manipulaci jedním objektem nebo objekty tvarově podobnými. Bývají součástí zařízení. Konstrukčním a tvarovým řešením jsou podobné obsluhovanému stroji a nejsou vybaveny vlastním pohonem. Pohyb a řízení zajišťuje mechanismus obsluhovaného stroje. Činnosti manipulátorů jsou velice prosté. Zpravidla se jedná o výměnu nástrojů nebo podávání materiálu do určitého prostoru. Ve většině případů se používají k automatizaci manipulačního charakteru pro velkosériové a hromadné výroby. Mohou se označovat také jako podavače, podávací zařízení nebo autooperátory. [4] [7] [8]



Obrázek 7: Jednoúčelový manipulátor [7]

Na předchozím obrázku je zobrazen typický představitel jednoúčelových manipulátorů. Tento manipulátor může vykonávat posuvný pohyb nahoru a dolů. Dále je také znázorněna rotace kolem vlastní osy.

## Univerzální manipulátory

Do této kategorie patří manipulátory, které nejsou závislé na obsluhovaném stroji z hlediska konstrukce, řízení, způsobu pohonu a pořadí činností. Jedná se o samostatné mechanismy, jež jsou rozděleny do několika kategorií podle obrázku 6. [8]

### **Synchronní manipulátory**

Jedná se o manipulátory s ručním řízením, které jsou také označovány také jako teleoperátory. Řídicí systém je ovládán lidským faktorem. Synchronní manipulátor slouží pro zvětšení síly; přesněji momentu a pohyblivých možností, jež jsou prováděny řídicím pracovníkem. Lidský faktor vykonává řídicí funkci, úkolem manipulátoru je výkonná část a společně jsou uzavřeny ve smyčce. Nasazení těchto operátorů se řeší v případě, kde je požadována řídicí schopnost člověka, ale není možné fyzicky provádět úkony. Tyto teleoperátory se používají zejména v nebezpečných nebo rizikových prostředí a ve zdravotnictví. [8] [9]

### **Programovatelné manipulátory**

Do této kategorie patří manipulátory nezávislé na obsluhovaném stroji z hlediska konstrukce, řízení, způsobu pohonu a pořadí činností. Jejich řízení zajišťuje programovatelný řídicí systém. [8]

### **Manipulátory s pevným programem**

Jedná se o manipulátory vybavené programovým řízením, které se během provozu nemění. Řídicí mechanismus bývá zpravidla jednoduchý, ve většině případů mechanický. Mají pevně naprogramované postupně vykonávané činnosti. Program je vytvořen tak, aby bylo dosaženo požadovaného účelu výrobní činnosti. Pro změnu konečného stavu je nutná úprava programu. Manipulátory s pevným program jsou velice často používány v praxi a lze je označovat jako jednoduché průmyslové roboty. [4] [8]

### **Manipulátory s pružným programem**

Jsou to manipulátory vyšší úrovně, jež navíc obsahují senzory nebo kamery pro vnímání okolního prostředí. Tyto manipulátory se vyznačují možností přepnutí nebo volby programu podle používané aplikace. Řízení probíhá adaptivně a při práci vykazují určitou samostatnost. Označují se jako průmyslové roboty. [4] [8]

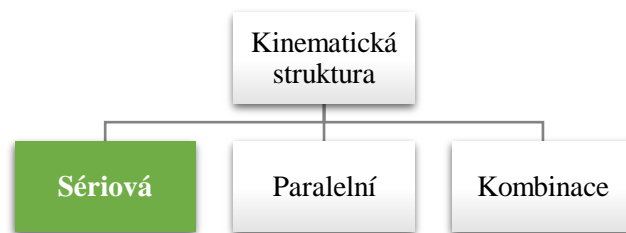
### **Manipulátory třetí generace**

Do této skupiny jsou zahrnuty nejpokročilejší programovatelné manipulátory, které se označují také jako kognitivní nebo inteligentní roboty. Obsahují umělou inteligenci v řídicím systému, díky níž jsou schopny vnímat a racionálně uvažovat. Lidským faktorem je pouze zadán cíl. Plán pro splnění cíle je následně sestaven robotem.

V oboru umělé inteligence existují úlohy sloužící k posouzení měřítka při rozhodování, zda je zařízení vybaveno umělou inteligencí či nikoliv. Charakteristické vlastnosti sloužící k sestavení měřítka jsou např.: schopnost najít optimální variantu, schopnost učit se ze zkušeností, schopnost adaptability, schopnost pokračovat i při neúplné informaci, schopnost predikovat apod. Pokud je dané zařízení schopné vyřešit všechny požadované body, je označováno jako inteligentní. V praxi se spíše posuzují kombinace, s jakou úspěšností je možné vyřešit určitý problém či nikoliv. Tato kombinace pak vymezuje výslednou hodnotu inteligentního systému. [7] [8] [9]

### 3.2.2. Rozdělení podle kinematické struktury

Obrázek níže zobrazuje rozdělení, jež je definováno podle uspořádání kinematických struktur.



Obrázek 8: Rozdělení PRaM podle kinematické struktury [7]

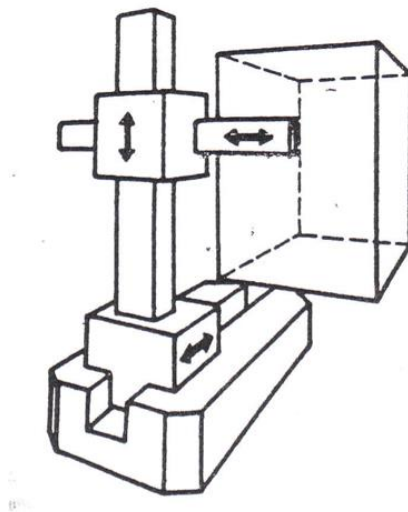
Mezi hlavní dvě struktury patří sériové (otevřené) a paralelní (uzavřené) kinematické struktury. Další možností je kombinace těchto dvou struktur nebo tzv. multistupňové využití, sestavné z kombinace stejných typů.

#### Sériová kinematická struktura

Sériová kinematická struktura je jinak označována jako otevřená kinematická struktura. Tato struktura je charakterizována sériovým řazením rotačních a posuvných kinematických dvojic. V současné době je v takovém konstrukčním provedení vyráběno zhruba 90 % průmyslových robotů a manipulátorů. Mezi nevýhody této struktury patří nízká tuhost, statické a dynamické kmitání, nižší přesnost v řádu desetin milimetrů a manipulovatelnost v provozu s ostatními předměty. Suma chyb superponovaných na jednotlivých kinematických dvojicích se projevuje až na konečném členu robotu. [9]

## Kartézská pohybová struktura

Tímto pojmem se označuje sériová kinematická struktura, která obsahuje tři posuvné dvojice. V této struktuře je použit pravoúhlý souřadnicový systém. Pracovní prostor bývá zpravidla kvádr nebo krychle. Mezi charakteristické vlastnosti systému patří vysoká stabilita. Z pohledu kinematického rozboru je označován jako nepřesnější systém. Za výhodu lze považovat jednoduché řízení. Naopak mezi nevýhody patří nízká pohyblivost v prostoru. Tento typ se uplatňuje zejména ve velkých manipulačních prostorech. [9] [10]

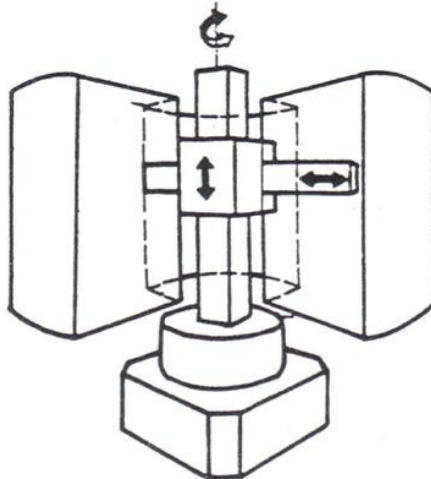


Obrázek 9: Kartézský (pravoúhlý) souřadnicový systém [6]

Na předchozím obrázku lze vidět kartézskou pohybovou strukturu spolu s pracovním prostorem, kterým může být kvádr nebo krychle.

### Cylindrická pohybová struktura

Kinematické uspořádání je zde sestaveno z jedné rotační a dvou posuvných kinematických dvojic. Pracovní prostor této struktury opisuje válcový segment. Celkově je systém podstatně robustnější, nicméně není náročný na řízení. [9] [10]



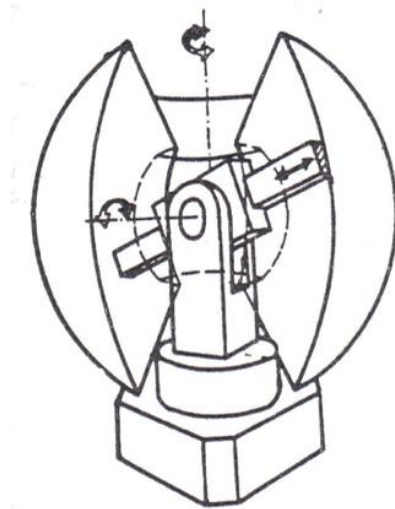
Obrázek 10: Cylindrický (válcový) souřadnicový systém [6]

Na předchozím obrázku je zobrazena cylindrická pohybová struktura. Pomocí zmíněných kinematických dvojic lze konat pohyb v zobrazeném prostoru.



### Sférická pohybová struktura

Sférická pohybová struktura je sestavena ze dvou rotačních a jedné posuvné kinematické dvojice. Pracovní prostor u této struktury tvoří kulový segment. Hlavní výhodou této struktury je zvýšená pohyblivost. Mezi nevýhody těchto robotů patří složitost řízení a menší zóna pracovního prostoru. [9] [10]

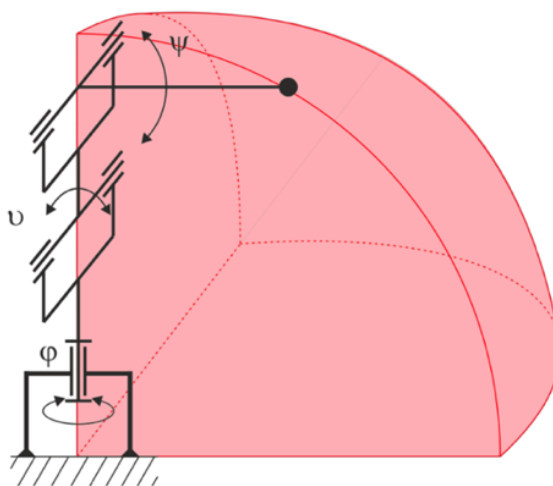


Obrázek 11: Sférický (kulový) souřadnicový systém [6]

Na předchozím obrázku je znázorněna sférická pohybová struktura spolu s pracovním prostorem, kterým je v tomto případě kulový segment.

## Angulární pohybová struktura

Tato kinematická struktura je složena ze tří rotačních kinematických dvojic. Pracovním prostorem je kulových vrchlík nebo tzv. torus. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější průmyslový robot. Tato struktura vyniká převážně univerzálností, vysokou manipulační schopností, vysokou pohyblivostí a schopností vyhnout se překážkám. Mezi nevýhody patří nižší pracovní přesnost při náročném řízení. [4] [7] [9]

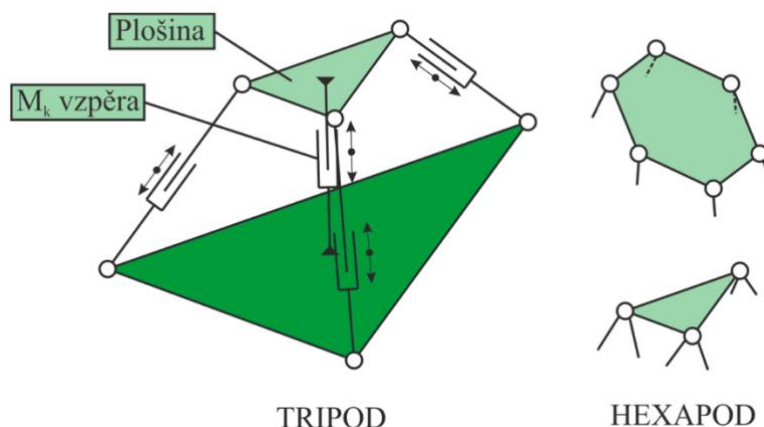


Obrázek 12: Angulární pohybová struktura [7]

Předchozí obrázek znázorňuje angulární pohybovou struktura. Na obrázku lze vidět složení ze tří rotačních kinematických dvojic. Dále je zobrazena oblast pracovní zóny.

## Paralelní kinematická struktura

Hlavním atributem paralelní kinematické struktury, jinak označované jako uzavřená kinematická struktura, je paralelní řazení jednotlivých členů. Konstrukčně je možné sestavit strukturu obsahující tři nebo až šest jednotlivých vzpěr. Hlavními výhodami této paralelní kinematické struktury jsou vysoká tuhost, vysoká přesnost polohování v řádech setin milimetrů a užitečná hmotnost. Zásadními nevýhodami u této struktury jsou velké nároky na řídicí systém, riziko vzniku kolize mezi jednotlivými vzpěrami a riziko vzniku singulárních poloh. [7] [9]

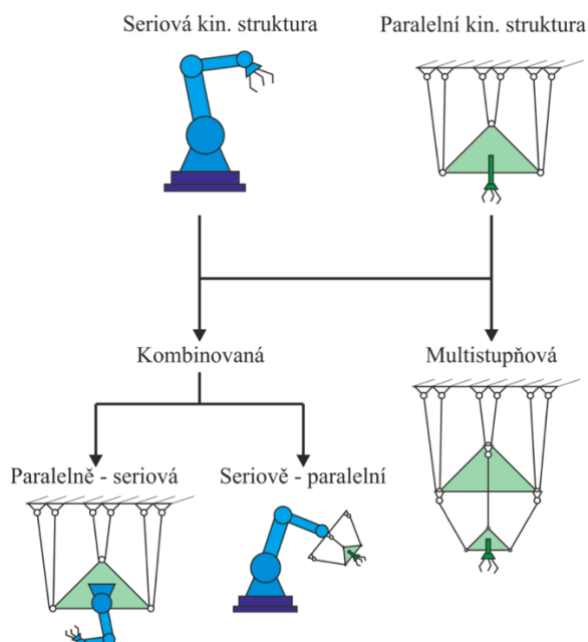


Obrázek 13: Paralelní kinematické struktury [7]

Na předchozím obrázku je zobrazeno možné konstrukční provedení paralelní kinematické struktury označené jako tripod nebo hexapod. Tripod obsahuje tři jednotlivé vzpěry, hexapod jich potom obsahuje šest.

## Kombinovaná kinematická struktura

Pro nejnáročnější aplikace lze výše zmíněné sériové nebo paralelní kinematické struktury použít v kombinaci, a tak vytvořit systém, který umožní daleko širší možnost využití.



Obrázek 14: Kombinované kinematické struktury [7]

Na předchozím obrázku jsou zobrazeny možné kombinace kinematických struktur nebo multistupňové použití paralelní kinematické struktury.

### 3.3.Závěr

Tato kapitola představila průmyslové roboty a manipulátory. Od stručné definice přes popis skladby pohybového mechanismu k následnému rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů podle provedení a stupně řízení. Uvedené typy byly stručně charakterizovány v jednotlivých podkapitolách. V rámci druhého rozdělení, které se orientuje na oblast složení kinematické struktury, byly představeny tři základní typy. U kinematické struktury sériové byly následně definovány konkrétní typy v jednotlivých podkapitolách. Výstupním členem průmyslových robotů a manipulátorů jsou pracovní hlavičky. Volba pracovních hlaviček je velice důležitá a odvíjí se od požadované aplikace. Problematika pracovních hlaviček je nyní zpracována v další kapitole.

## 4. Pracovní hlavice

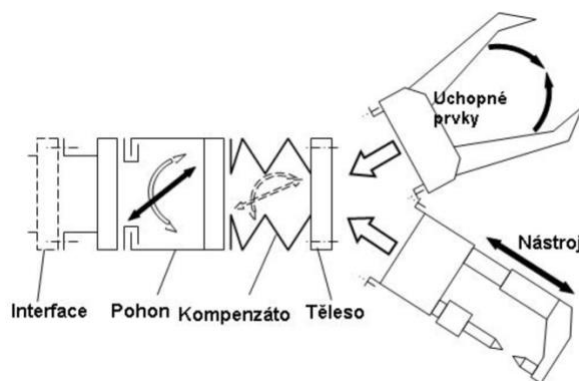
Tato kapitola se bude zabývat problematikou pracovních hlavice. Na začátek kapitoly je uvedeno vysvětlení a složení základních pracovních hlavice. Dále jsou pracovní hlavice rozděleny podle typů aplikací, ke kterým se ve výrobních podnicích používají. Následně jsou uvedeny konkrétní typy pracovních hlavice a jejich definice.

Trend dnešní doby vyžaduje velmi vysoké nároky na konstrukci pracovních hlavice vzhledem k vysokému počtu opakovaných výrobních operací. Je kladen značný důraz na zachování funkčnosti a současně je vznesen požadavek na minimalizaci určitých parametrů jako mohou být např. hmotnost nebo rozměry. Hmotnost lze snižovat např. použitím kompozitních materiálů, které se vyznačují vysokou pevností při snižující se hmotnosti. Tyto aplikace umožňují manipulaci s předměty vyšších hmotností při zachování příznivých celkových dynamických vlastností. Dalšími výhodami kompozitních materiálů ve srovnání s materiály konvenčními mohou být vysoká pevnost v tahu, vysoká únavová pevnost, odolnost proti korozi, nízká hustota a teplotní nevodivost.

Úkolem průmyslových robotů a manipulátorů je nastavení diskrétní pozice pracovní hlavice nebo zajištění kontinuálního pohybu pracovní hlavice v určitém prostoru a současně i řízení přesného umístění. Pracovní hlavice se tedy označuje jako funkční prvek, jenž dle charakteru určitého procesu vymezuje použití pohybového systému průmyslového robotu nebo manipulátoru. Pracovní hlavice se často označují také jako výstupní hlavice, protože jsou výstupem pohybového systému. Se stále se vyvíjejícími technologiemi se oblast použití značně rozšiřuje. Vysoké požadavky jsou kladeny na přesnost a jemnost při styku s určitými objekty. Typickým příkladem použití je průmyslové odvětví, ale poslední dobou se pracovní hlavice stále častěji vyskytují i např. ve vojenství nebo zdravotnictví. [9] [11]

## 4.1. Struktura pracovních hlavic

Základní pracovní hlavičky bývají zpravidla složeny z interface, pohonu, kompenzátoru, tělesa a výstupního prvku dle požadované aplikace. Na následujícím obrázku je zobrazena obecná struktura pracovní hlavičky. Tato hlavička nabízí možnost použití úchopného nebo technologického prvku. Vyskytují se také typy pracovních hlavic umožňující použití kombinace jak úchopu, tak i technologické hlavičky.



Obrázek 15: Struktura obecné pracovní hlavičky [12]

Pojem interface označuje část umístěnou na posledním stupni ústrojí, která slouží ke spojení pracovní hlavičky s koncovou částí průmyslového robotu nebo manipulátoru. Obě části interface, na robotu i na pracovní hlavičce, musí být shodné z hlediska tvaru, rozměru a dalších určitých parametrů, jež jsou přímo předepsány normou ISO. Interface slouží pro přesné a tuhé spojení pracovní hlavičky, ale zároveň i pro spojení energetických a informačních kabelů.

Další částí hlavičky je pohon. Pohon lze označit jako zdroj pro pohyb čelistí u pracovní hlavičky úchopné, eventuálně také jako zdroj pro zabezpečení mikropohybu. Mikropohybem je označován doplňkový stupeň volnosti užívaný např. při určitých montážních operacích za účelem toho, aby nebylo nezbytné uvádět do pohybu celé polohovací ústrojí.

Kompenzátor se používá pro snížení nepřesností, jež mohou vznikat např. při styku mezi manipulovaným objektem a úchopnými prvky pracovní hlavičky. Využití kompenzátoru není příliš časté, ale v určitých aplikacích může být účelné.

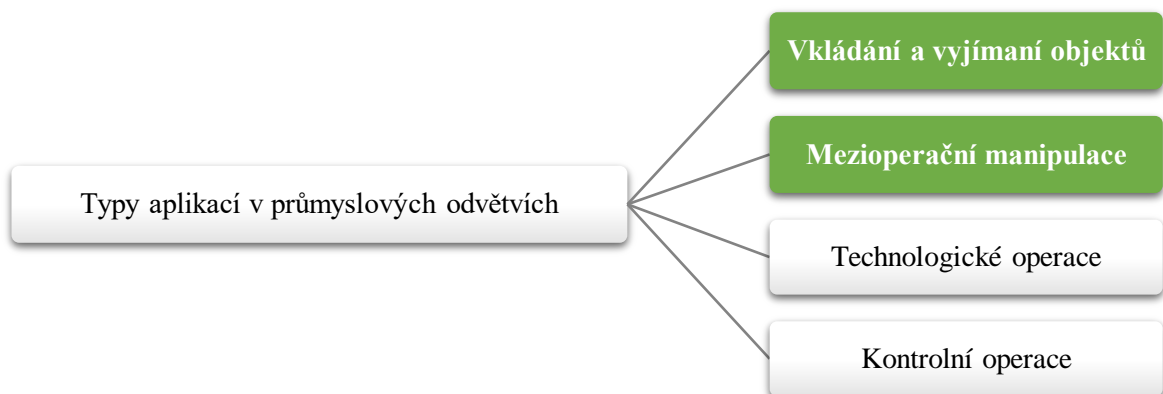
Těleso pracovní hlavičky slouží k zajištění požadované tuhosti a přesnosti a je základním nosným stavebním prvkem pracovní hlavičky. Důraz je zároveň kladen na kompaktnost a minimalizaci vnějších rozměrů pracovní hlavičky. [12]

Následují úchopné, technologické, kontrolní, speciální nebo kombinované prvky pracovní hlavičky. Volba příslušného prvku je velice důležitá, aby bylo zajištěno co nejpřesnější

splnění požadované aplikace. Z toho důvodu jsou jednotlivé typy detailně popsány v následujících podkapitolách.

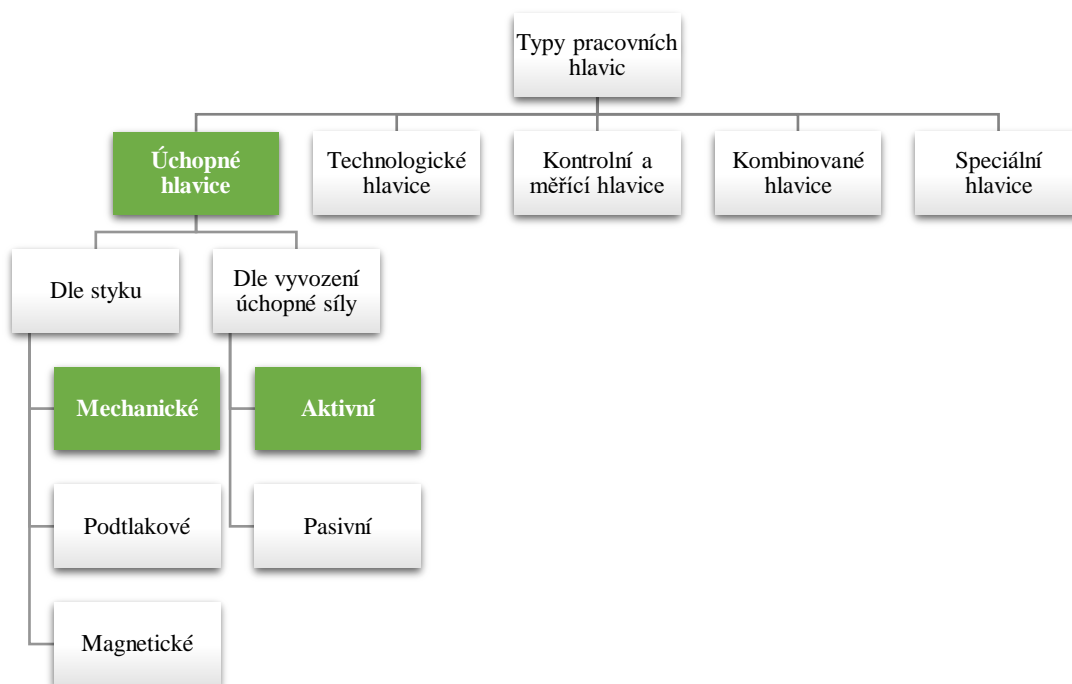
## 4.2. Rozdělení

Konstrukční návrh pracovní hlavice je přizpůsoben charakteru použití průmyslového robotu nebo manipulátoru. V průmyslových výroбах se nejčastěji vyskytují typy aplikací, které jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obrázek 16: Typy aplikací v průmyslových odvětvích [11]

Podle typů aplikací, pro něž se v průmyslových odvětvích používají průmyslové roboty a manipulátory, lze uvažovat níže uvedené typy pracovních hlavic.



Obrázek 17: Typy pracovních hlavic [7]

Nejpoužívanějším typem jsou pracovní hlavice úchopné. Dělí se na aktivní a pasivní dle vyvození úchopné síly. Následně se rozdělují dle styku s předmětem na mechanické, podtlakové a magnetické. Další kategorií jsou hlavice technologické, které se nejčastěji vyskytují v oblastech svařování nebo lakování. Následují hlavice sloužící pro kontrolu nebo měření. Při nejnáročnějších aplikacích je možné spojení více typů a vytvořit tak kombinované hlavice. Nejčastěji se vyskytují kombinace úchopných a technologických hlavic, ale je možné začlenit i hlavice pro kontrolu a měření. Dále se ještě vyskytují hlavice speciální, které jsou přímo přizpůsobené požadovaným aplikacím.

#### 4.2.1. Úchopné hlavice

Úchopné pracovní hlavice, jak jejich název napovídá, se v průmyslovém odvětví používají zejména k uchopování objektů a k další manipulaci s nimi. Jsou částí pracovních hlavic, které bývají přímo v kontaktu s manipulovanými objekty. Podle charakteru vyvození úchopné síly se rozdělují na pasivní a aktivní. Dále se rozdělují podle styku s objekty na úchopné hlavice mechanické, magnetické a pneumatické.



### **Pasivní úchopné hlavice mechanické**

Pasivní mechanické úchopné hlavice se řadí do kategorie jednoduchých pracovních hlavice, které jsou pro určité aplikace kompletně vyhovující. Hlavice mívají ve většině případů podobu prvku typu hák, vidlice, čep, jednoduché čelisti apod. Pro manipulaci objektů jednoduchého rotačního tvaru typu kroužku je možné snadno pomocí háku předmět uchopit a na určitém místě uvolnit. Jako pohon zde slouží jednotlivé stupně volnosti průmyslových robotů nebo manipulátorů. Udržení objektu při manipulaci zajišťuje gravitace. Z toho důvodu je důležité zvolit vhodnou rychlost pohybu při manipulaci. Další skupina pasivních úchopných mechanických hlavice používá pružinu pro vyvinutí potřebné úchopné síly. K překonání účinku při uchopení nebo uvolnění manipulovaného předmětu je opět využíváno stupňů volnosti daného průmyslového robotu nebo manipulátoru. [7] [10] [12]

### **Pasivní úchopné hlavice magnetické**

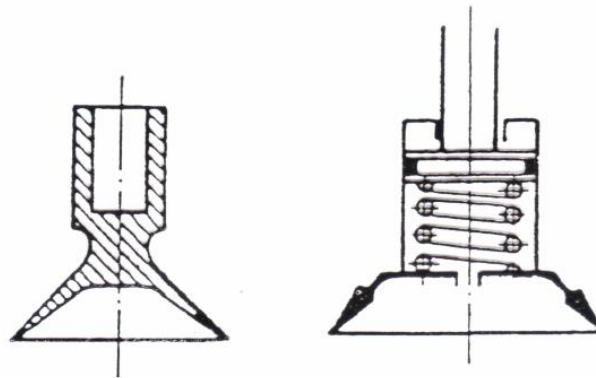
Jedná se o takové úchopné hlavice, které jsou vybaveny permanentními magnety. Oblast použití je většinou pro magnetické předměty zpravidla nižších rozměrů a hmotností. Nejčastějšími typy manipulovaných objektů mohou být např. plechové výlisky, kroužky, podložky apod. Výhodou bývá zpravidla jednoduchá konstrukce složená ze vsazených tyčových permanentních magnetů. Počet a polohu magnetů je možné přizpůsobit podle tvaru manipulovaného objektu a žádané síly pro vyvození úchopu. Mezi nevýhody patří vysoké požadavky na přídatné mechanismy sloužící k oddělení uchopeného předmětu od hlavice. V jednoduchých případech je možné uvolnění uchopeného komponentu zajistit tangenciálním stáhnutím úchopné hlavice z předmětu pohybem ramene průmyslového robotu nebo manipulátoru. Předmět může být zadržen např. narážkou nebo dorazem. U většiny případů pasivních magnetických úchopných hlavice s permanentními magnety se používá vlastní mechanismus pro uvolnění manipulovaných předmětů. [10] [12]

### **Pasivní úchopné hlavice podtlakové**

Dalšími pasivními úchopnými hlavice jsou hlavice podtlakové, které se označují také jako pružné deformační přísavky. Pro vyvození úchopné síly se používá přitlačení přísavky na povrch komponentu. Po přitlačení na povrch dochází k deformaci přísavky a změně objemu jejího vnitřního prostoru, který se pružností stěn po úchopu zpětně zvětší do určitého tvaru, a tím dojde k žádoucímu podtlaku. Velikost úchopné síly je závislá na ploše styku s objektem a na tvaru a tuhosti zvolené přísavky. Pro vyšší úchopné síly je nutné volit tuhé přísavky, které požadují zároveň vyšší sílu na jejich deformování. Potřeba je také zohlednit manipulovaný

objekt, aby nedošlo k jeho porušení. Manipulovatelný objekt má také vliv, protože je nutné brát v potaz jeho kvalitu a tvar povrchu. Typickým použitím pro manipulaci jsou objekty typu rovných desek, např. plechové nebo skleněné tabule apod. Pro zlepšení těsnosti přilnutí přísavky k povrchu manipulovaného komponentu lze použít viskózních tekutých látek, které se před uchopením nanášejí do oblasti styku. [10] [12]

Zpravidla se vyskytují dvě základní provedení deformačních přísavek, které jsou uvedeny na následujícím obrázku. Na obrázku vlevo je zobrazen příklad použití pryžové deformační přísavky, která je uchycena na čep. Delší poddajná válcová část poskytuje modifikaci i jemně zakřivenému povrchu komponentu. [10]



Obrázek 18: Základní typy pružných deformačních přísavek [10]

Pokud nemá manipulovaný předmět dostatečně hladký povrch, používá se přísavka s odpruženým pístem, na obrázku zobrazena vpravo. Zde je vnitřní objem přísavky tvořen jako válec s odpruženým pístem. Podtlak lze zachovat v závislosti na velikosti proměnného objemu a při určitých netěsnostech styku pryžové planžety s povrchem manipulovaného komponentu. Uvolnění manipulovaného objektu je možné provést stejným způsobem jako u pasivních úchopných prvků mechanických a magnetických, zpravidla tangenciálním směrem pohybu. [10]

### **Aktivní úchopné hlavice mechanické**

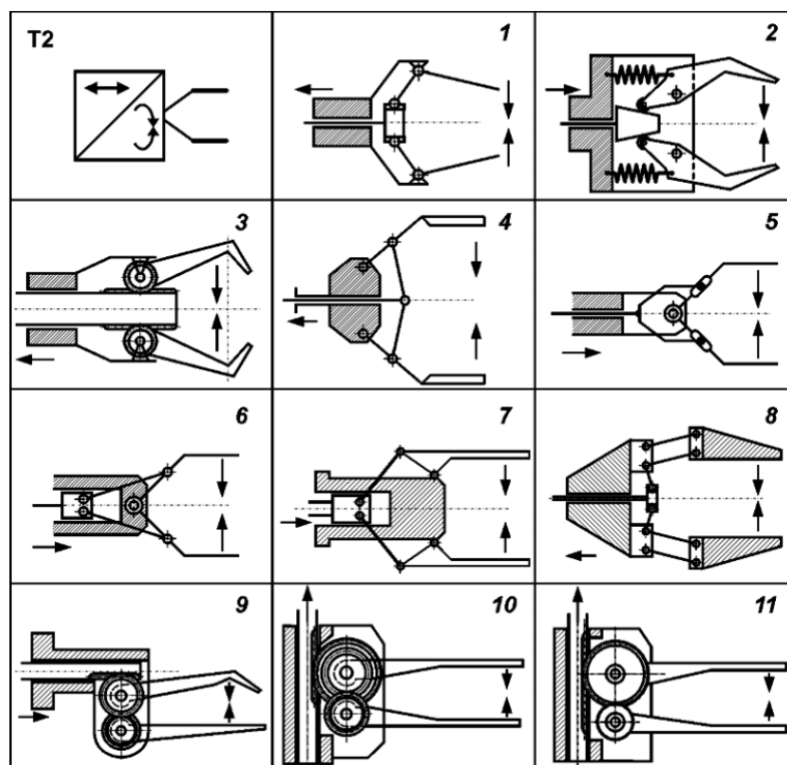
Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou ve většině případů označovány jako „chápadla“ zpravidla kvůli jejich tvaru konstrukce a použití. Mají pohyblivé čelisti, jejichž pohyb je zajištěn různými druhy motorů. Motory vyvozují pohyb zejména lineární nebo rotační. Mezi motor a úchopné čelisti je obvykle přidán transformační blok, který zabezpečuje převod mezi posuvným a rotačním pohybem nebo naopak. Transformace, jež vykonává posuv-posuv nebo rotaci-rotaci se označuje jako identická. Transformace s pohybem posuv-rotace nebo rotace-posuv je potom označována jako neidentická. Ve většině případů se v průmyslových odvětvích vyskytují

konstrukce obsahující dvě pohybové čelisti, jež se k sobě přibližují posuvně nebo otočně a pro většinu aplikací jsou zcela vyhovující. [7] [10] [12]

Motor	Úchopné prvky	Transformace pohybu	Typ MÚE
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

Obrázek 19: Typy aktivních mechanických úchopných hlavic [12]

Na předchozím obrázku jsou zobrazeny jednotlivé typy transformací. Je zde uvedeno, jestli se jedná o identické nebo neidentické transformace. Dále je zobrazeno schéma transformace pohybu a typ označení.



Obrázek 20: Kinematické struktury aktivních mechanických úchopných hlavice s převodem T2 [10]

Předchozí obrázek poukazuje na konkrétní typy kinematických struktur aktivních mechanických úchopných hlavice s převodem T2, kde dochází k transformaci posuvného pohybu na rotační pohyb úchopných čelistí. Tento typ převodu je v průmyslovém odvětví pravděpodobně nejrozšířenější.

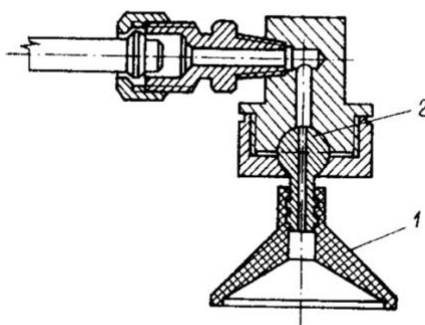
### Aktivní úchopné hlavice magnetické

Aktivní magnetické úchopné hlavice jsou podobné pasivním magnetickým hlavicím. Navíc jsou opatřeny elektromagnety, které bývají zpravidla napájeny stejnosměrných proudem. Pro uvolnění manipulovaného objektu není potřeba strhávacího pohybu, ale mělo by být zajištěno vypnutí proudu, který je přiváděn do elektromagnetu. Vlivem procházejícího stejnosměrného magnetického pole se objekt pro úchop zmagnetizuje. Při uvolnění může dojít k problému. Z toho důvodu se zpravidla po přerušení procházejícího proudu aplikuje odmagnetování krátkodobým obrácením směru proudu v magnetických cívkách. Obrácením směru proudu dojde ke zrušení remanentního magnetismu v daném předmětu, a tím by mělo dojít k snadnému uvolnění předmětu z pracovní hlavice. [10] [12]

## Aktivní úchopné hlavice podtlakové

Do oblasti aktivních úchopných podtlakových hlavice se řadí zejména podtlakové systémy, které se také nazývají podtlakové komory. Tyto systémy používají pro zajištění funkčnosti vývěvy nebo ejektory. Ejektor je označován jako odsávací nebo čerpací tryskové zařízení poháněné proudem vody, plynu nebo páry. Při použití vývěvy je připojeno na odsávací vedení i větší množství podtlakových komor.

Konstrukce podtlakových komor bývá zpravidla jednoduchého provedení. U základních typů lze použít pryžové kotouče pro vytvoření podtlakové komory. Pryžový kotouč je stažením mezi kovové vložky deformován do nálevkovitého tvaru. Odsávací vedení bývá obvykle připojené na montážní šroub s průchozím otvorem. Lepší konstrukční variantou mohou být podtlakové komory tvarované ve vulkanizačních formách. Tyto komory většinou dosahují lepší těsnosti. [10]



Obrázek 21: Varianta aktivní podtlakové úchopné hlavice [10]

Na předchozím obrázku je znázorněno provedení aktivní podtlakové úchopné hlavice s vyrovnáním polohy na kulovém čepu. Hlavní část tvoří podtlaková komora (označeno 1). Tato komora je zde řešena jako pryžová manžeta, která je nasazena na dřívku kulového čepu (označeno 2). Tento čep umožňuje přizpůsobení polohy povrchu manipulovaného objektu. [10]

### 4.2.2. Technologické hlavice

Nástup průmyslových robotů a manipulátorů pro aplikaci technologických operací lze v dnešní době považovat jako začátek předpokládaných možností, avšak je obtížné odhadnout oblast jejich dalšího použití. Oblastí diskuse se stala i aplikace průmyslových robotů a manipulátorů v tradičních výrobních procesech, jež jsou v dnešní době vybaveny výrobními stroji vysokých úrovní. Jedná se např. o třískové obrábění, které se v dnešní době provádí pomocí

univerzálních nebo jednoúčelových obráběcích strojů a pomocí pružných výrobních systémů. Produktivita výrobních obráběcích linek a pružných výrobních systémů je v současné době na vysoké úrovni. Lze jen těžko předpokládat vhodnou náhradu. Pro kusovou a malosériovou výrobu se zpravidla využívá různých strojů a zařízení, kde dochází k časté změně polohy zpracovávaného předmětu. V tomto případě je možné přemýšlet o zapojení průmyslového robotu a manipulátoru, který by byl opatřen pracovním vřetenem a umožnil by tak upnutí různých typů nástrojů a změnu otáček. Zatím je problematické pro tyto typy aplikací použít stávající konstrukce PRaM. Značnou nevýhodou je zpravidla nízká tuhost konstrukce a s tím i související nízká přesnost při polohování.

Technologické operace, jež jsou průmyslové roboty a manipulátory schopny provádět, lze rozdělit do následujících dvou skupin:

- operace, při kterých nedochází k mechanickému kontaktu mezi výstupní hlavicí a zpracovávaným objektem,
- operace, při kterých dochází k přímému mechanickému kontaktu mezi výstupní hlavicí a zpracovávaným objektem. [8]

V první skupině jsou obsaženy takové aplikace, které je možné z hlediska obtížnosti posoudit jako jednodušší. Za jednodušší jsou považovány z toho důvodu, že není přímo nezbytné přesně přizpůsobit polohu technologické hlavice skutečné poloze komponentu. Princip řízení je jednoduchý a není vyžadováno dalších adaptivních schopností. Výhodou jsou i nižší nároky na přesnost polohování objektu v pracovním prostoru. Do této skupiny jsou zařazeny současné technologické aplikace PRaM. Za příklady těchto aplikací je možné považovat povrchové úpravy, čištění odlitků pískováním, obloukové svařování, svařování elektronovým paprskem, bodové svařování apod.

Do druhé kategorie se řadí operace, při nichž dochází k přímému mechanickému kontaktu mezi pracovní hlavicí a určitým předmětem. V rámci tohoto styku dochází ke vzniku vnějších sil, které mohou mít vliv na konstrukční řešení robota. U těchto operací je požadavek na přesné nastavení konečné relativní polohy nástroje nebo řízení jeho relativní dráhy vzhledem k předmětu. Možností je právě použití adaptivních systémů. Nastavení pohybu technologické hlavice podle určitého předmětu může být zajištěno v řídicím systému nebo přímo v konstrukci hlavice. Jednotlivé typy technologických hlavic jsou přizpůsobeny podle operace, k níž budou následně využívány. Nejčastěji lze uvažovat použití technologických hlavic pro odporové svařování, obloukové svařování stříkání a montáž. [8]

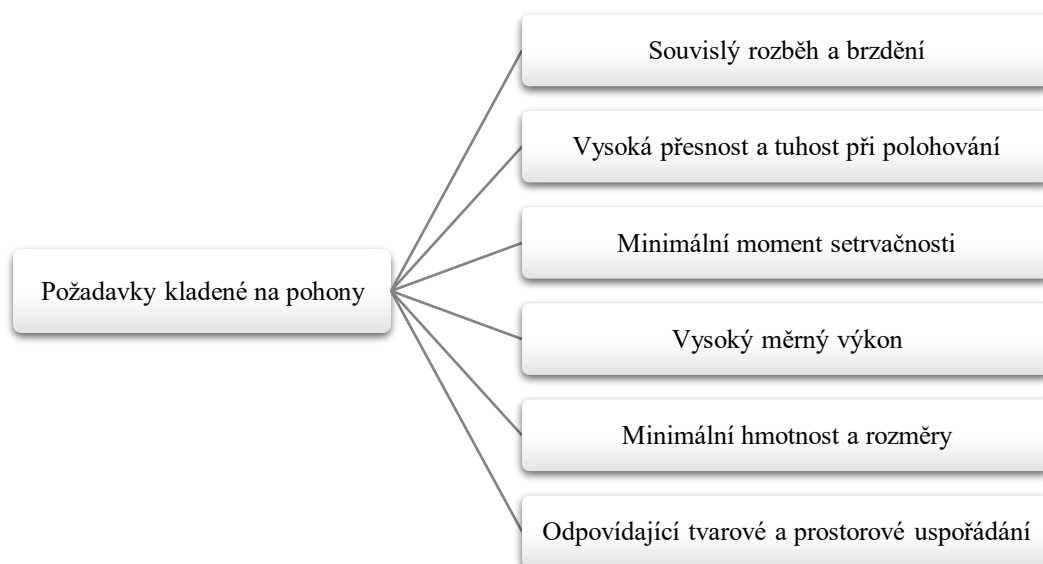
### **4.3.Závěr**

Tato kapitola představila pracovní hlavice. Bylo zde uvedeno složení a popis jednotlivých komponentů základních pracovních hlavic. Následně byly pracovní hlavice rozděleny podle typů aplikací, pro které se používají. Posléze byly pracovní hlavice rozděleny na konkrétní typy. Úchopné a technologické pracovní hlavice, jež jsou v průmyslových aplikacích nejpoužívanější, byly podrobně vysvětleny. V dnešní době jsou pravděpodobně nejrozšířenějším typem aktivní úchopné hlavice mechanické. Pro konstrukci těchto hlavic je důležitá volba pohonu. Z toho důvodu je následující kapitola věnována pohonům používaných ve strojírenských aplikacích.

## 5. Pohony

Tato kapitola je zaměřena na pohony používané nejen při stavbě průmyslových robotů a manipulátorů, ale i ve velké míře pro určité strojírenské aplikace. Na začátek je představena stručná definice. Následně je uvedeno rozdělení pohonů podle druhu vstupní energie. V dalších podkapitolách jsou vysvětleny principy jednotlivých druhů pohonů.

Pohony průmyslových robotů a manipulátorů jsou bezpochyby důležitou součástí výkonného subsystému a mají také zásadní vliv na jeho kvalitu. Funkcí pohonu je transformace vstupní energie na mechanický pohyb. Pohon se skládá z motoru a ovládacího bloku. Motor má za úkol realizaci transformace vstupní energie na energii mechanickou. Ovládací blok je vybaven obvody pro zajištění ovládní, resp. regulaci parametrů motoru. Výstupní pohyb z motoru je možné přenášet přímo nebo přes transformační blok na pohyblivou část pohybové jednotky. Transformačním blokem bývá nejčastěji převodovka, pohybovou jednotkou potom určité vedení. Pohony bývají částečně vestavěny do pohybové jednotky. Spojení vedení pohybové jednotky s motorem a transformačním blokem bývá zpravidla zajištěno mechanicky. Pro ideální provoz a parametry průmyslových robotů a manipulátorů jsou na motory kladeny požadavky zobrazené na následujícím obrázku. [12] [13]



Obrázek 22: Požadavky kladené na pohony [12]

Výše uvedené požadavky jsou spíše obecné povahy. Navíc jsou na pohony dále kladeny ještě požadavky specifické, které záleží dle určitého použití. Na manipulátory obsluhující určité výrobní stroje a zařízení, budou nejspíše kladeny požadavky na co nejkratší čas při manipulaci,



kteřý má vliv na celkový čas technologického využití stroje. To může být důvodem ke vzniku požadavku na dosažení maximální rychlosti pohybu manipulátoru, jenž může určitým způsobem ovlivnit i konstrukční provedení daného pohonu. U průmyslových robotů vykonávající technologické operace je rychlost výstupního pohybu stanovena technologickými podmínkami dané operace. V určitých případech proto vzniká požadavek na rovnoměrnost pohybu při určité rychlosti.

V poslední době se na přední příčky v konstrukcích PRaM dostávají zejména elektrické pohony. Je to způsobeno postupným vývojem stejnosměrných a střídavých motorů. Tyto motory se nejčastěji vyskytují v kombinaci s harmonickými a cykloidními převodovkami. Může se zdát, že tekutinové pohony jsou v poslední době přehlíženy. I jejich vývoj bývá podstatně pomalejší než u elektrických pohonů, ale není to vždy pravidlem. Výše zmíněné druhy pohonů mají své výhody a nevýhody. Jasně je ale to, že v moderních průmyslových odvětvích hrají důležitou roli. [12] [13]

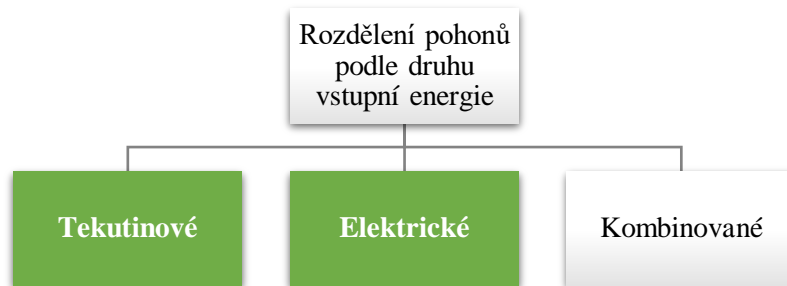
## 5.1. Rozdělení

Pohony průmyslových robotů a manipulátorů je možné dělit dle různých oblastí, přičemž základní rozdělení je uvedeno na následujícím obrázku.



Obrázek 23: Základní rozdělení pohonů [13]

Rozdělení pohonů podle druhu vstupní energie je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 24: Rozdělení pohonů podle druhu vstupní energie [13]

K uvedeným druhům pohonů průmyslových robotů a manipulátorů lze ještě přiřadit pohon mechanický. Mechanického pohonu je využíváno zpravidla u manipulátorů nebo pouze ojediněle u velmi jednoduchých struktur robotů. Při vlastním konstrukčním návrhu a řešení je nutné brát ohled na vybrané vlastnosti jednotlivých typů pohonných systémů. Elektrické pohony pracují s elektromotory, tekutinovým pohonem lze chápat pneumatické, popř. hydraulické pohony. Kombinace vybraných pohonů lze chápat z hlediska různých druhů primární energie použité pro pohony jednotlivých pohybových systémů. [11] [13]

### 5.1.1. Hydraulické

Funkci hydraulických pohonů zajišťuje princip přenosu pracovní kapaliny. Rozdělují se na pohony hydrodynamické a hydrostatické. Hydrodynamické používají kinetickou energii dané kapaliny. Hydrostatické využívají kapaliny fyzikálně nestlačitelné. Obecně je tedy využíváno tlakové energie. U hydrostatického pohonu je pracovní kapalina získávána pomocí tlakové energie hydrogenerátoru. Cílem hydrogenerátoru je zajistit transformaci mechanické energie na tlakovou. Zdrojem mechanické energie bývá zpravidla elektromotor nebo spalovací motor. Hydrostatické pohony je možné dělit dle smyslu pohybu výstupního členu. Výstupní člen může konat rotační pohyb, kyvný pohyb nebo přímočarý (lineární) pohyb. Výhody a nevýhody hydraulických pohonů se často porovnávají s pohony pneumatickými. Mezi výhody patří např.:

- vysoká tuhost,
- vysoký měrný výkon,
- vysoká účinnost,
- plynulý chod,
- jednoduché spojitě řízení základních parametrů.

Nevýhodami hydraulických pohonů potom může být např.:

- nutnost samostatného, odděleného elektrického bloku,
- nižší pohybové rychlosti,
- závislost viskozity kapaliny na teplotě,
- hořlavost některých druhů pracovních kapalin. [12] [14]

### **5.1.2. Pneumatické**

Pneumatické pohony pracují na principu využití energie stlačeného vzduchu. Jako zdroj se používá kompresor, jenž nasává atmosférický tlak, který je posléze stlačován. Výstupem z kompresoru bývá zpravidla regulační člen, který zabezpečuje požadované nastavení rozváděného tlaku. Následně je stlačený vzduch veden potrubním rozvodem do místa odběru, kde je dále regulován. Výstupním pohybem pneumatických pohonů bývá obvykle pohyb lineární, rotační nebo kyvný. Charakteristickou vlastností pneumatických pohonů ve srovnání s pohony hydraulickými je čistota provozu, jež je požadována např. v potravinářství. Dále se pneumatické pohony používají např. v automobilovém průmyslu pro manipulaci s materiálem. Zde se využívá úchopných hlavic nebo vakuových přísavek, které jsou vhodné pro manipulaci s určitými materiály a tvary. Ve srovnání s hydraulickými pohony jsou pneumatické pohony rychlejší a dovolují měkčí rozběh a brzdění. Mezi další výhody pneumatických pohonů patří např.:

- rychlé lineární pohyby s velkými zdvihy,
- jednoduchý rozvod bez zpětného odvádění vzduchu z motoru,
- možnost pracovat ve výbušném prostředí a v provozech s nebezpečím vznícení.

Mezi nevýhody následně patří:

- obtížné udržení rovnoměrného pohybu (zejména při malých rychlostech),
- obtížné řízení rychlosti pohybu a polohy zastavení,
- poddajnost způsobená stlačitelností vzduchu,
- vysoké náklady na provoz z důvodu netěsností v dlouhých rozvodech. [12] [14]

### **5.1.3. Elektrické**

Jak již bylo v této kapitole řečeno, tak se moderní stejnosměrné a střídavé motory v konstrukci průmyslových robotů a manipulátorů postupem času dostávají do popředí. Zatím se vyskytují převážně motory do výkonů zhruba 6 kW. Tyto pohony se vyznačují velkým regulačním rozsahem rychlosti. Ve spojení s číslicově řízenými systémy dosahují vysoké

přesnosti při nastavování polohy v uzavřené smyčce. Mezi výhody elektrických pohonů patří zejména:

- snadno dostupný zdroj energie,
- jednoduché vedení zdroje energie k motoru,
- jednoduché spojení s řídicími prvky,
- jednoduchá údržba,
- čistota provozu,
- nižší pořizovací, provozní a udržovací náklady.

Mezi nevýhody lze zařadit následující:

- závislost na dodávce elektrické energie,
- značné požadavky na kvalitu provedení všech částí systému,
- nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [12] [13]

### **Rozdělení elektrických pohonů**

U průmyslových robotů a manipulátorů se jako pohony vyskytují téměř všechny typy elektrických motorů. Rozdělují se podle způsobu pohybu, který konají na motory s rotačním a přímočarým výstupem. Dále se rozdělují na konkrétní typy, jimiž jsou motory se spojitým pohybem, krokové motory a elektromagnety. Elektrické motory se dále uplatňují ve dvou verzích jako střídavé a stejnosměrné.

Mezi základní typy elektrických pohonů s rotačním pohybem patří asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko. Při menších výkonech je možné použít jednofázové motory s pomocnou fází a kondenzátorem. Pro velké výkony se používají třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko. Součástí elektrických pohonů bývají obvykle ovládací a jisticí prvky, říditelné zdroje elektrické energie pro napájení hlavních a budících vynutí a prostředky pro automatické řízení výstupních parametrů pohybových jednotek. [12] [13]

### **5.2.Závěr**

Tato kapitola byla zaměřena na pohony používané ve strojírenských aplikacích. Na začátek byly zmíněny příslušné definice. Dále bylo uvedeno rozdělení na konkrétní typy podle druhu vstupní energie. Následně byly charakterizovány tekutinové pohony. Na závěr byly rozděleny a definovány pohony elektrické.

## 6. Analýza vybraného procesu výroby

V této kapitole je zpracována analýza vybraného procesu výroby. Na začátek je představena společnost, se kterou ve spolupráci vznikla tato diplomová práce. Dále jsou charakterizovány keramické komínové vložky. Popsáno je, pro jaké aplikace se používají, jaké jsou jejich charakteristické vlastnosti a hlavní výhody, kvůli nimž je jejich použití tak rozšířené. Dalším úsekem této kapitoly je představení výroby keramických komínových vložek v uvedené společnosti. Následně je stručně popsán návrh automatické výrobní linky, který vznikl v jiné diplomové práci a na který tato práce navazuje. V závěru kapitoly jsou stanoveny okrajové podmínky, požadavky nebo faktory, které je potřeba zohlednit při návrhu optimalizačních řešení.

### 6.1. Představení společnosti

P-D Refractories CZ a.s. se řadí mezi největší výrobce a dodavatele žáruvzdorných materiálů. Výrobní sortiment společnosti zahrnuje materiály pro kompletní i částečné vyzdívkové tepelných zařízení (koksově, vysoké a sklářské pece). Dále se společnost zaměřuje na výrobu a dodávky elektrolyzérů primární výroby hliníku. Ve výrobním sortimentu společnosti jsou následně zahrnuty šamotové, vysoce hlinité, dinasové a izolační kameny, žáruvzdorné jíly a ostřiva, akumulární magnetit, keramické komínové vložky, žáruvzdorné malty, tmely a betony. Moderní vybavení firmy poskytuje nejkvalitnější výrobní a zkušební zařízení, které dosahují přesné konstantní kvality výroby. Produkce ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. probíhá v souladu s certifikátem ISO 9001. Společnost nabízí přizpůsobení kvality produktů na základě jednotlivých požadavků odběratelů.

Šamotový závod ve Velkých Opatovicích byl založen již před více než 100 lety. Zde začíná počátek společnosti P-D Refractories CZ a.s., jež se dnes řadí k jednomu z největších dodavatelů žáruvzdorných materiálů pro domácí i zahraniční trh. Široký sortiment výrobků je možné zpozorovat ve skoro každém průmyslovém odvětví. Především se jedná o následující oblasti: metalurgie, keramika, sklářství, výroba stavebních materiálů, energetika apod. Zázemí výroby poskytuje rozsáhlý výběr vysoce kvalitních produktů od normalizovaných tvarovek k tvarově složitým blokům dosahujících několik set kilogramů. Schopnost společnosti plnit potřeby velkých i náročných odběratelů je zajištěna díky vyškoleným zaměstnancům, dostatečným kapacitním možnostem a zejména silnými a bohatými zkušenostmi.

Další závod společnosti P-D Refractories CZ a.s. byl vybudován v roce 1985 a nese název Dinas Svitavy. V tomto závodě je zaručena nejvyšší kvalita moderních a tvarových produktů z dinasových materiálů. Zde probíhá výroba za použití vysoce pokročilých výrobních prostředků pro splnění nejnáročnějších potřeb zákazníků po celém světě. Výroba se zaměřuje na dinasové

kameny pro oblast metalurgie, koksárenské pece a sklářský průmysl. Dále se zde vyrábějí také keramické komínové roury. [15] Na následujícím obrázku je zobrazen výrobní závod Dinas Svitavy.



Obrázek 25: Výrobní závod Dinas Svitavy [15]

Závod Březina se nachází zhruba 10 km od sídla společnosti ve Velkých Opatovicích. Zde probíhá převážně úpravárenský provoz. Dochází zde k pálení žáruvzdorného jílu, který je těžen v lomu Březinka. Další potřebné materiály jsou získávány od externích dodavatelů. Pálení jílu probíhá v šachtových pecích. Závod disponuje moderním vybavením pro fyzikální upravení substrátů. Většina materiálu je použita k výrobě v závodech ve Velkých Opatovicích a Svitavách. Část zásob materiálu je poskytnuta zákazníkům zaměřující se také na zpracování žáruvzdorných materiálů.

Společnost P-D Refractories CZ a.s. získala již šestým rokem ocenění Bisnode CZECH Stability Award (stupeň hodnocení AAA). Certifikát uděluje Bisnode ve spolupráci se sdružením CZECH TOP 100 na základě skóringového modelu. Tento model je zaměřen na stabilní postavení jednotlivých společností. Díky tomu je společnost P-D Refractories CZ a.s. posuzována jako jedna z nejprestižnějších, ekonomicky stabilních a důvěryhodných společností v České republice. [15]

## 6.2. Keramické komínové vložky


Keramické komínové vložky (označovány také jako KKV) se používají tradičně pro výstavbu komínových systémů. Z důvodu vysoké odolnosti proti žáru a korozi se řadí mezi nejžádanější materiály. Postupem času jsou na trh neustále přiváděny nové technologie, které umožňují spalování všech skupenství paliv (pevné, kapalné a plynné) při zajištění zvýšené

účinnosti. Vyšší účinností je myšleno zejména možnost dosažení vyššího zužitkování paliva při nižších nákladech na vytápění. Dalším důvodem neustálého vyvíjení produktů a technologií mohou být i požadavky na snížení emisí a prachových podílů. Při spalování vzniká latentní teplo spalin a v komínových systémech tak dochází ke vzniku kondenzátu. Z toho důvodu jsou na komínové systémy vyvíjeny neustále rostoucí požadavky na odolnost vůči vlhkosti a kondenzátu. Dále jsou kladeny nároky i na nižší vodopropustnost a plynopropustnost, zejména u energeticky pasivních domů. [16]

Keramické komínové vložky se používají pro odvádění spalin a díky vysokým nárokům na kvalitu mohou vyhovět pro všechny druhy paliva. Pro suchý provoz vyhovují dle ČSN EN 1457-1 ve třídách A1N1 a D1P1. Pro vlhký provoz vyhovují dle ČSN EN 1457-2 ve třídách A3N1 a D4P1. S neustále se vyvíjejícími technologiemi a při volbě nejvhodnějších materiálů na výrobu jsou schopny keramické komínové vložky dosahovat následujících parametrů:

- odolnost vůči teplotám a teplotním změnám,
- odolnost vůči spalinám hoření a kyselým kondenzátům,
- nízká vodopropustnost a plynopropustnost,
- vysoká rozměrová přesnost,
- tenká stěna zaručující vysokou kvalitu při nízké hmotnosti,
- prakticky neomezená životnost. [17]

Dalšími důležitými vlastnostmi mohou být nenáročná údržba a možnost použití ve veškerých komínových systémech. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny základní keramické komínové vložky válcového tvaru vyrábějící se ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. KKV se zpravidla vyrábějí v délce 330 mm. Důležitými parametry jsou také vnější a vnitřní průměr a hmotnost. [15]



Parametry:

Typ	Ø D [mm]	Ø Dv [mm]	Hmotnost [kg]
KZ 25	250	300	16,3
KZ 20	200	230	7,6
KZ 18	180	210	6,7
KZ 16	160	190	6,1
KZ 14	140	170	5,2
KZ 10	100	130	3,8

Obrázek 26: Základní keramické komínové vložky [15]

KKV se nevyrábějí pouze válcové, ale mohou být vyráběny i jiné typy. Na následujícím obrázku jsou znázorněny další tvary, které se v komínových systémech běžně vyskytují.



Obrázek 27: Další tvary keramických komínových vložek [17]

Na obrázku vlevo je zobrazen dvířkový díl, který ve většině případů slouží jako čistící otvor. Uprostřed obrázku se nachází KKV – odbočka 90° pro připojení kouřovodu pod úhlem. Na obrázku vpravo je zobrazena KKV sloužící také pro připojení kouřovodu, ale v tomto případě pod úhlem 45°.



### 6.3. Analýza procesu výroby

Na začátku celého procesu výroby se nejprve z příslušných materiálů formuje přípravná směs, která musí vyhovovat určitým požadavkům a parametrům. Směs je dále dopravníky rozváděna na potřebná pracoviště. Během přepravy je prováděna automatická kontrola směsi např. na vlhkost pomocí senzorů. Na přípravu směsi jsou kladeny vysoké nároky, protože kvalita připravené směsi má vliv na kvalitu konečných produktů.

Následně je připravená směs dopravována ke šnekovému lisu. Šnekový lis nepřetržitě vytlačuje směs v požadovaném tvaru. Natvarovaná směs pak pokračuje na dělicí pracoviště, na němž je tvar vycházející z lisu zpracován na požadovaný délkový rozměr.

Na dalším pracovišti jsou válcové tvary opracovávány a jsou zde tvořeny drážky a pera, které slouží pro skládání jednotlivých kusů na sebe. Na závěr tohoto procesu je prováděna laser scanning kontrola, jež umožní detekovat rozměrové vady. Díky této kontrole je možné odstranit vadné kusy ještě před sušením a vypálením v peci. Kontrola se zaměřuje na kruhovitost, měření délky a kolmost. Vadné kusy jsou drceny a vrací se zpět do zakladače. Dobré kusy jsou následně robotickými manipulátory přemístěny na pecní vůz. Nejprve je umístěn podkladní kroužek, na který se vyskládá sloupec KKV. Sloupec je složen ze 3 nebo 4 kusů.

Po naplnění pecního vozu pokračují KKV do sušících pecí. Sušení je proces tepelné úpravy a probíhá při nižších teplotách jako přípravný proces KKV před vypálením. Sušení se provádí z důvodu snížení vlhkosti před vypálením v peci. Pro sušení je využíváno přebytečného tepla, které vzniká v tunelových pecích. Po úspěšném dokončení sušícího procesu následuje proces časově nejnáročnější, a to vypálení KKV v tunelových pecích. Při tomto procesu je materiál vystaven teplotám ve výši 1250°C. Z toho důvodu musí být pecní vůz optimálně naplněn, aby nedošlo ke spálení materiálu nebo k neúplnému využití pece kvůli špatnému vyplnění pecního vozu. Tunelová pec je považována za nejdůležitější oblast z pohledu plánování provozu, protože je její provoz velice nákladný. Po vypálení následuje procesu chladnutí. [18]

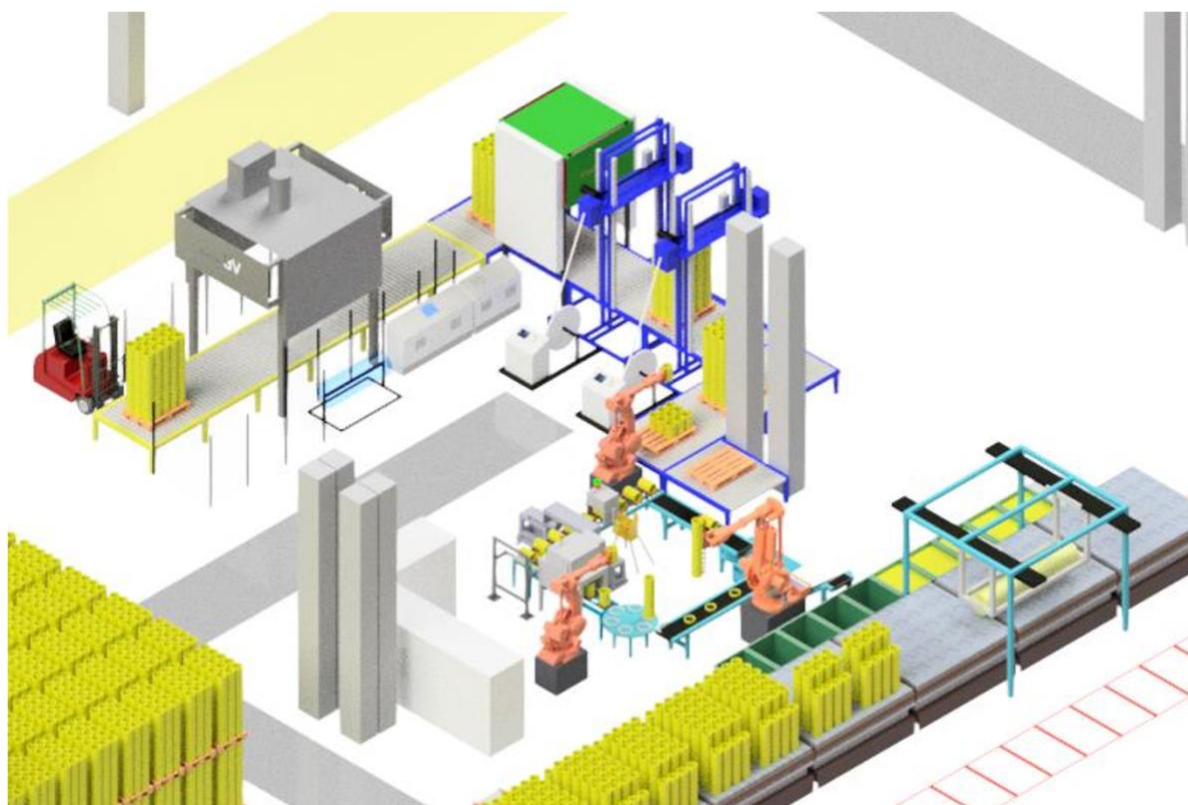


*Obrázek 28: Sloupce KKV umístěné na pecních vozech [15]*

Na předchozím obrázku jsou zobrazeny pecní vozy, na kterých jsou vyskládány sloupce KKV. Po vychladnutí pokračují KKV na pecním voze na proces kontroly. Tento proces zatím probíhá ve společnosti manuálně. Pracovník provádí několik zkoušek, které odhalí nežádoucí vady. Nejprve se provádí zvuková kontrola, následně kontrola kruhovitosti a na závěr kontrola povrchových vad. Dobré kusy pak procházejí procesem balení a expedují se k odběrateli. [18]

## 6.4. Podmínky pro optimalizaci

V diplomové práci Kamila Moudrého, který se zabýval návrhem automatické linky pro kontrolu kvality, vznikl návrh plně automatizované linky pro KKV s automatickou kontrolou a robotickými manipulátory. Na následujícím obrázku je znázorněn návrh linky. Myšlenkou návrhu je plně automatizovat závěrečné procesy výroby KKV. Mezi závěrečné procesy patří: vyskladnění KKV z pecních vozů, automatická kontrola a automatické balení.



Obrázek 29: Návrh automatické linky pro kontrolu kvality KKV [18]

Nyní je potřeba stanovit okrajové podmínky, požadavky nebo faktory, které budou mít vliv na návrh optimalizačních řešení. Tento návrh bude zpracován v následující kapitole.

V této diplomové práci se vychází z výše zmíněného návrhu automatické linky a oblast řešení je zaměřena na první část. Cílem práce je vyřešit, jakým způsobem bude probíhat uchopení sloupce 3 nebo 4 KKV včetně podkladního kroužku a přemístění z pecního vozu do určitého prostoru. Dále je požadavkem, aby během přemístění sloupce z pecního vozu byl odložen podkladní kroužek. Optimalizační řešení by mělo být nejprve zaměřeno na návrh prototypu, na němž bude ověřena funkčnost. Náklady na prototyp by měly být co nejnižší. Posléze je požadavkem navrhnout finální konstrukční řešení.

Nezbytné je také zohlednit vlastnosti keramického materiálu. Ve společnosti již robotické manipulátory používají pro přemístění sloupce trubek na pecní vůz. V tomto procesu se používá úchopný aktivní prvek pneumatický. KKV následně procházejí vypálením v pecích, čímž se vlastnosti keramického materiálu mění. Materiál je po vypálení tvrdý a povrch je zcela odlišný než před vypálením. Keramické materiály nevykazují magnetické vlastnosti. Z toho důvodu odpadá možnost použití magnetických úchopných hlavic.

Velice důležité je také zohlednit rozmístění jednotlivých sloupců KKV na pecním voze, které jsou v těsné blízkosti. V neposlední řadě je požadavkem oddělit jednotlivé komínové vložky a podkladní kroužek od sebe, jelikož při vypálení v peci dochází ke spečení jednotlivých kusů. Ve společnosti je k dispozici stlačený vzduch a elektrina, tudíž volba nejen pohonu, ale i dalších potřebných komponentů může být pneumatického nebo elektrického typu.

## **6.5. Závěr**

Tato kapitola diplomové práce byla zaměřena na analýzu vybraného procesu výroby. V úvodní části byla představena společnost P-D Refractories CZ a.s. V následující podkapitole byly charakterizovány keramické komínové vložky. Uvedeny byly rozhodující vlastnosti, kvůli kterým je jejich použití tak rozšířené. V rámci této podkapitoly byly dále zobrazeny základní tvary keramických komínových vložek včetně rozměrů. Další částí této kapitoly byl popis výrobního procesu keramických komínových vložek v uvedené společnosti. Poté byl znázorněn návrh automatické linky pro kontrolu kvality keramických komínových vložek, na který tato diplomová práce navazuje. V závěru této kapitoly byly zhodnoceny rozhodující požadavky, které je nezbytné zohlednit při návrhu optimalizačních řešení uvedených v následující kapitole.

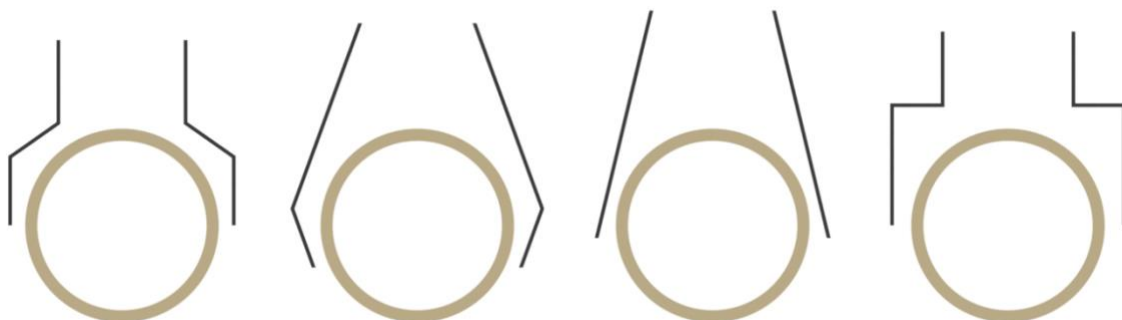
## **7. Návrh optimalizačních řešení**

Cílem této diplomové práce je navrhnout řešení v podobě úchopného prvku pro robota, který umožní uchopení a následné přemístění celého keramických komínových vložek do určitého prostoru. V této kapitole jsou rozepsány návrhy jednotlivých oblastí řešení. Nejprve je řešení zaměřeno na návrh tvaru. Dále je řešeno navržení konstrukčního materiálu na výrobu prototypu úchopného prvku. Posléze je zpracován návrh gumového materiálu, jenž by měl zajistit lepší stykové vlastnosti v místě úchopu. Následně je zohledněna volba pohonu a řídicí jednotky pro ovládání navrženého řešení. Dále je diskutován návrh rázového zařízení, které by mělo zajistit oddělení jednotlivých komínových vložek od sebe. Posléze je uveden návrh senzorů pro přidání potřebných adaptivních vlastností. Následně je samostatná podkapitola věnována návrhu finálního řešení úchopného prvku. V závěru této kapitoly je navržen robot od společnosti KUKA, ke kterému bude úchopný prvek připojen.

### **7.1.Návrh tvaru**

První možností je použití stejného úchopného prvku, který je již ve společnosti pro automatizaci výrobního procesu používán. Jedná se o aktivní úchopný podtlakový prvek používaný při manipulaci sloupce 3 nebo 4 kusů KKV včetně podkladního kroužku na pecní vůz. Problémem je, že KKV dále procházejí procesy sušení a vypalování. Po vypálení jsou vlastnosti keramického materiálu kompletně odlišné než před výpalem. Zásadními vlastnostmi u tohoto návrhu jsou struktura povrchu a tvrdost materiálu. Z toho důvodu není možné pro uchopení použít pneumatických prvků. Keramický materiál nevykazuje magnetické vlastnosti, tudíž v této aplikaci bude použit aktivní úchopný prvek mechanický.

Jelikož se jedná o prototyp a zcela prvotní myšlenku, jak tento úchopný prvek navrhnout, je požadavek na výrobu co nejjednodušší a nejlévnější. Nejlépe z materiálů, které se dají snadno nakoupit a není potřeba dalšího opracování. S jednoduchou konstrukcí také souvisí volba tvaru, jak bude úchopný prvek vypadat. Původní návrhy nápadů jsou zobrazeny na následujícím obrázku.

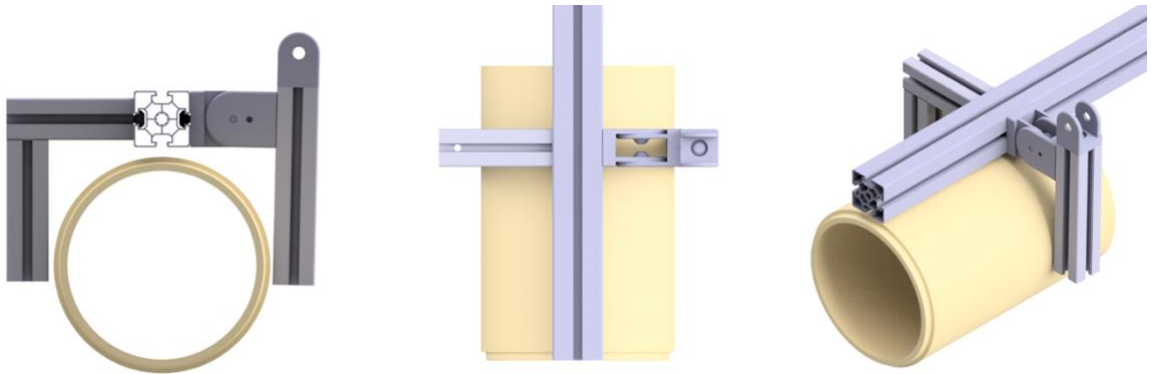


*Obrázek 30: Původní návrhy tvaru prototypu*

První dva návrhy na obrázku vlevo by splnily určitý úhel opásání KKV, ale z hlediska tvaru jsou příliš náročné na výrobu. Třetí návrh je jednoduchý na výrobu, ale nebyl by dostatečně zajištěn úhel opásání při uchopení KKV. Úhel opásání musí být alespoň  $180^\circ$ . Čtvrtý návrh, na obrázku vpravo, zajistí dostatečný úhel opásání a není tvarově náročný na sestavení.

Zvoleným materiálem pro sestavení prototypu mechanického úchopného prvku jsou konstrukční hliníkové profily. Tyto profily se již ve společnosti používají pro aktivní úchopný podtlakový prvek jako základní stavební profil, na němž jsou upevněny potřebné komponenty. Výhodou těchto hliníkových konstrukčních profilů jsou dobré technologické vlastnosti, snadná dostupnost a snadná montáž. Další výhodou těchto profilů je dostupnost velkého množství příslušenství, díky kterému je oblast použití značně rozšířena.

V modelovém prostředí Autodesk Inventor vznikají první dva návrhy, jak by mohl vypadat prototyp aktivního mechanického úchopného prvku. Nutno zmínit, že návrhy jsou konstruovány pro základní KKV o rozměrech: vnitřní průměr 200 mm, vnější průměr 230 mm, délka 330 mm. Na následujícím obrázku je zobrazen 1. návrh, který je označen jako pevný návrh.

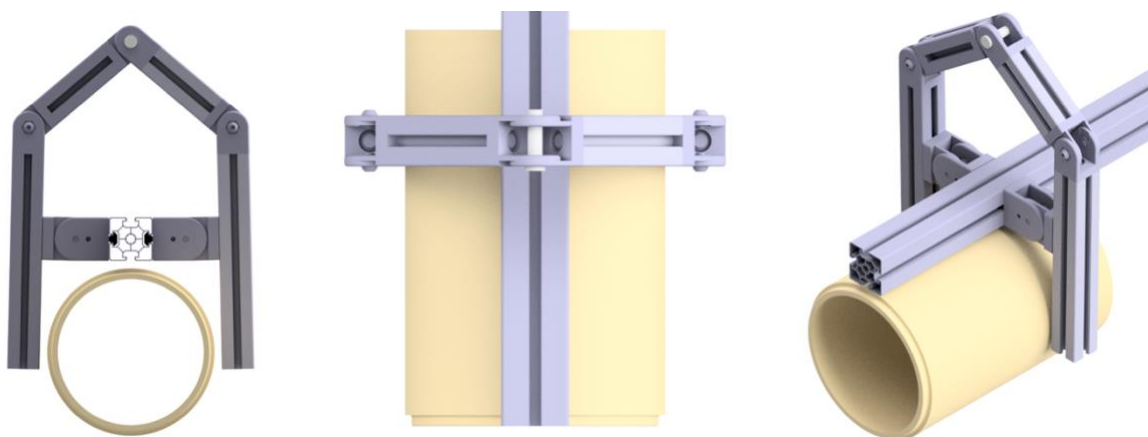


Obrázek 31: 1. Návrh – pevný návrh

Tento návrh je složen ze základního profilu o rozměrech 60x60 mm. Jako spojovací materiál jsou zde použity šrouby s T hlavou. Na levé straně je pomocí profilů o rozměrech 45x45 mm jednoduše sestaveno rameno ve tvaru L, které bude sloužit pro uchopení z jedné strany a bude pevně uloženo. Délky jednotlivých profilů jsou 135 mm a 150 mm. Na pravé straně je k základnímu profilu připojen kloub zajišťující rotaci. Na kloub je následně napojen profil o rozměrech 45x45 mm o délce 150 mm, jenž bude ovládán příslušným pohonem a zajistí uchopení KKV nebo podkladního kroužku. V horní části tohoto úchopného profilu je přidán kloub, který bude sloužit pro spojení s pístnicí pohonu.



První konstrukční návrh umožňuje pouze pohyb jedné strany čelistí. Pro zajištění souměrného uchopení z obou stran byl vytvořen druhý návrh, který je stejně jako první sestaven z hliníkových konstrukčních profilů s použitím určitého příslušenství a tvarově navržen tak, aby zajistil stejnosměrný pohyb obou čelistí. Na následujícím obrázku je zobrazen 2. návrh, označen jako pohyblivý.



Obrázek 32: 2. Návrh – pohyblivý návrh

Nosným prvkem tohoto návrhu je hliníkový konstrukční profil o rozměrech 60x60 mm. Stejně jako u předchozího návrhu se pro připojení dalších prvků používají šrouby s T hlavou. Následně jsou k základnímu profilu připojeny klouby s označením 60x45 pro zajištění potřebné rotace. Na klouby jsou přidány úchopné profily o rozměrech 45x45 mm o délce 295 mm. V horní části úchopných profilů navazují klouby s označením 45x45, na něž jsou opět připojeny profily o rozměrech 45x45 mm o délce 110 mm. Konstrukce pohyblivého návrhu je uzavřena v horní části sestavy opět klouby s označením 45x45, které spojují pravou a levou stranou konstrukce. Pohyb těchto kloubů bude následně ovládán vhodným pohonem pro zajištění souměrného otevírání a zavírání čelistí pro uchopení KKV.

## 7.2. Návrh materiálu pro zlepšení úchopu

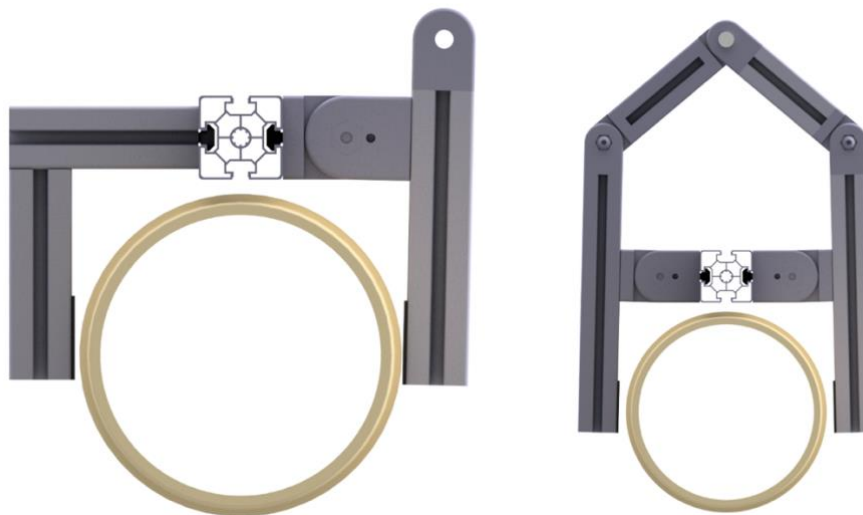
Pro zlepšení úchopu je možné prostor hliníkového konstrukčního profilu, kde dochází ke styku s KKV, opatřit příslušným gumovým materiálem. Přidání gumového materiálu zajistí lepší stykové vlastnosti v místě úchopu a sníží velikost vynaložené síly, kterou bude potřeba působit pro udržení sloupce KKV a podkladního kroužku při manipulaci.

Gumový materiál je pro účely testování možné přilepit na konstrukční hliníkový profil nebo použít šroubového spojení. Šroubové spojení bude v této situaci lepší variantou z důvodu snadné výměny jednotlivých gumových materiálů. Jelikož se jedná o fázi testování, je možné



postupně vyměnit více gumových materiálů a poté vybrat ten, který bude nejlepší v této aplikaci použít.

V modelovém prostředí Autodesk Inventor je přidání gumového materiálu znázorněno pouze schematicky. Na následujícím obrázku je nastíněn pevný a pohyblivý návrh s přidáním gumového materiálu do prostoru hliníkového konstrukčního profilu, kde dochází ke styku s KKV.

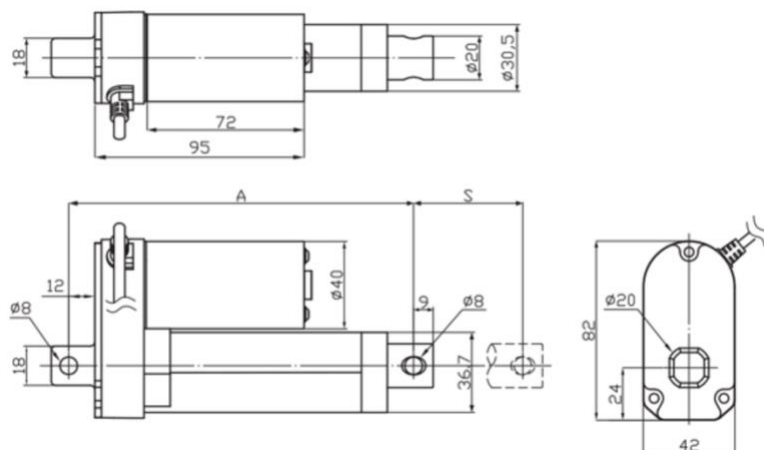


Obrázek 33: Konstrukční návrhy opatřeny gumovým materiálem

### 7.3.Návrh pohonu

Dalším krokem optimalizačního řešení je návrh pohonu, který zajistí pohyb ramen a udržení úchopu KKV při manipulaci z pecního vozu do zvoleného prostoru. Ve strojírenství jsou nejčastěji používány pneumatické, hydraulické nebo elektrické pohony, jež jsou popsány v kapitole 5. V tomto případě je zvolen lineární pohon elektrický, konkrétně lineární aktuátor. Lineární elektrické aktuátory jsou ve strojírenství v poslední době velice často využívány. Výhodou použití je úspora financí, a to z toho důvodu, že při použití pneumatického válce je potřeba dalšího příslušenství jako jsou např.: rozvaděče, škrťací ventily, přípojky, hadičky, kompresor, další příslušenství apod. Vzhledem k tomu, že navrhovaný úchopný prvek by měl současně uchopit 3 nebo 4 kusy KKV a podkladní kroužek, tak se počet materiálu značně násobí. S tím jsou spojené i vyšší náklady na zařízení. Při volbě elektrického pohonu bude stačit pouze lineární aktuátor, řídicí jednotka a příslušenství pro upnutí pohonu ke konstrukci. Nejčastějším příslušenstvím pro lineární aktuátory jsou montážní držáky. Montážní držák je možné použít i na pístnici, která je výstupem z aktuátoru. Oblast použití rozšiřují různé typy příslušenství, jež lze ve spojení s pístnicí použít nebo je možné vyrobit si vlastní příslušenství dle potřeby.

Elektrické lineární aktuátory se liší širokou možností výstupních parametrů. Základním parametrem pro volbu aktuátoru je zdvih. Zdvih je veličina, která označuje, o kolik se vysune pístnice. Na následujícím obrázku je zobrazen lineární aktuátor série LD3. Písmenem A je označena základní délka v zasunutém stavu. Písmenem S je označen zdvih pístnice.



Obrázek 34: Rozměry lineárního aktuátoru série LD3 [19]

Například při zdvihu 50 mm je celkový rozměr A roven hodnotě 158 mm, při zdvihu 100 mm je celková hodnota rozměru A rovna 209 mm. Aktuátory se zpravidla vyrábějí se zdvihy od 50 mm do 500 mm (série LD3 od 50 do 300 mm). Pokud je potřeba delšího zdvihu, jedná se spíše o lineární vedení, kde není vysouvána pístnice, ale pohybuje se vozíček po určité dráze nebo kolejnici.

Dalším parametrem pro volbu lineárního aktuátoru je převodový poměr. Převodový poměr určuje další parametry jako jsou maximální síla, rychlost při maximálním zatížení a statické zatížení. V následující tabulce jsou zobrazeny hodnoty pro různé převodové poměry lineárního aktuátoru série LD3.

Tabulka 1: Parametry lineárních aktuátorů série LD3 [19]

Převodový poměr	5:1	10:1	20:1	30:1	40:1
Maximální síla	150 N	250 N	500 N	800 N	1000 N
Rychlost při max. zatížení	36,5 mm/s	23,5 mm/s	12,3 mm/s	7,5 mm/s	5,5 mm/s
Statické zatížení	500 N	2500 N	2500 N	2500 N	2500 N

Rychlost vysunutí pístnice je velice důležitým parametrem při volbě lineárního aktuátoru. Při nízké rychlosti by docházelo k příliš dlouhé prodlevě při upnutí KKV. Z toho důvodu je potřeba zvolit aktuátor, jenž zajistí rychlost alespoň 10 mm/s. Dalším důležitým parametrem je maximální síla, kterou je aktuátor schopen působit. Při výběru aktuátoru z hlediska maximální síly je také potřeba zohlednit životnost. Pokud bude aktuátor zatěžován až do hranic maximální dovolené síly, životnost bude značně snížena než ve srovnání se zatížením např. na polovinu maximální síly. Dalším parametrem pro volbu lineárního aktuátoru je napájecí napětí. Standardně je možnost volit 12 nebo 24 V, ale většina výrobců nabízí i možnost 36 nebo 48 V.

Následně je velmi důležité zajistit rozsah, v němž se bude pístnice pohybovat. Pro toto nastavení jsou nabízeny lineární aktuátory, které mají integrovány prvky k tomu určené. Nejčastěji je možné se setkat s potenciometry nebo Hallovými sondami.

Potenciometr je součástka označována jako proměnný rezistor, která poskytuje regulace a změnu elektrického proudu protékajícího obvodem. Potenciometry obsahují dva vývody, které jsou pevně spojeny s odporovým prvkem. Třetí svorka je napojena na jezdec, který je definován jako posuvný kontakt. Nejčastější typy potenciometrů jsou rotační nebo posuvné. U posuvného druhu je změna odporu zajištěna posunutím faderu po přímé dráze. [20]

Oproti tomu Hallovy sondy fungují na principu Hallova jevu. Díky schopnosti detekování elektromagnetického pole se senzory využívají zejména v elektronických a strojírenství oblastech. Mnohdy se jejich aplikace vyskytuje v souvislosti s externími magnety právě pro detekci přiblížení nebo jako snímání polohy. Jedná se o bezkontaktní spínače, jež jsou schopny zajistit spolehlivý, rychlý a dlouhodobý stabilní provoz v náročných průmyslových odvětvích. [21]

Pro navržené konstrukce by bylo možné použít aktuátor se zdvihem 50 nebo 100 mm. Problémem je, že při větším zdvihu, se zvětšuje i celkový rozměr v zasunutém stavu. Z konstrukčního hlediska by to znamenalo, že na výrobu prototypu bude použito větší množství materiálu, než by bylo potřebné při použití lineárního aktuátoru se zdvihem 50 mm. S větším množstvím materiálu rostou i nežádoucí náklady na pořízení. Podle konstrukčního provedení vytvořeného v modelovém prostředí Autodesk Inventor by měl být lineární aktuátor se zdvihem 50 mm dostačující. V případě, že by zdvih 50 mm nebyl postačující, je možné prodloužit pístnici nebo použít dalších konstrukčních možností.

Pro ovládání aktivního úchopného mechanického prvku byl zvolen lineární aktuátor série LD3 s Hallovými sondami. Tento aktuátor je vybaven stejnosměrným motorem s trapézovým šroubem a čelní převodovkou. Čelní převodovka je vybavena kovovými ozubenými koly kromě pastorku, který je z důvodu snížení hluku standardně vyráběn z plastu, avšak výrobce nabízí také

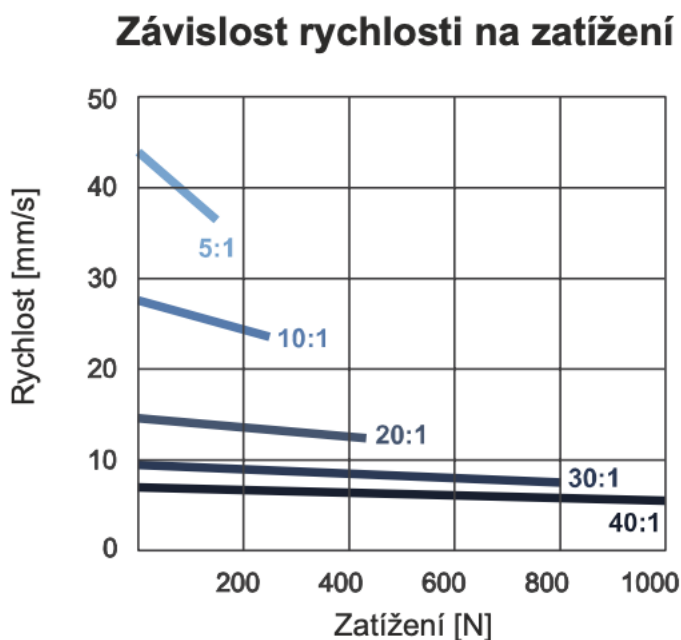
možnost volby celokovového provedení. Pro zajištění polohy pístnice obsahuje aktuátor dvě Hallovy sondy, jež jsou vůči sobě posunuté o 90°. Aktuátor je také vybaven integrovanými spínači v krajních polohách. Směr pohybu pístnice je zajištěn změnou polaroty napětí. [19]



*Obrázek 35: Lineární aktuátor série LD3 s Hallovy sondami [19]*

Na předchozím obrázku je zobrazen lineární aktuátor série LD3 s Hallovy sondami, který byl zvolen jako pohon pro pevný a pohyblivý konstrukční návrh prototypu.

Označení konkrétního typu vypadá následovně: LD3-24-20-K3-050-C11-HS2-IP65. Nejprve je definována série LD3. Dále je uvedeno napájecí napětí 24 V. Dalším údajem v označení je převodový poměr. Zde je zvolen poměr 20:1, který umožní maximální sílu 500 N a rychlost při maximálním zatížení 12,3 mm/s. Výrobce v katalogovém listu uvádí graf, kde je zobrazena závislost rychlosti na zatížení. Tento graf je zachycen na následujícím obrázku.

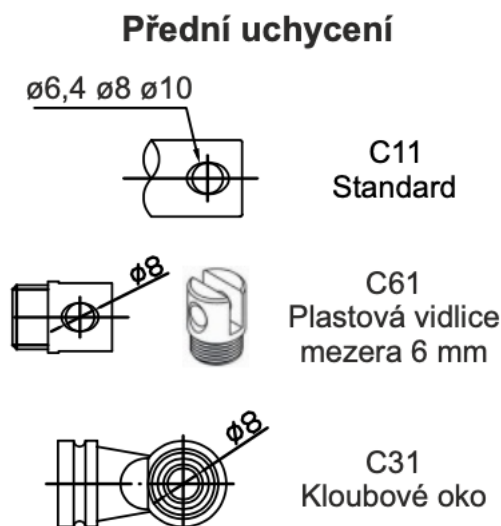


Obrázek 36: Závislost rychlosti na zatížení lineárního aktuátoru série LD3 [19]

Zde je patrné, že pokud nebude aktuátor maximálně vytížen, lze u určitých převodových poměrů dosahovat vyšších rychlostí. Se zvětšujícím se převodovým poměrem, klesá rozsah rychlosti při nulovém a maximálním zatížení. Pro testování prototypu byl zvolen aktuátor s převodovým poměrem 20:1. Pokud bude tento lineární pohon příliš pomalý, je možné použít aktuátor s převodovým poměrem 10:1, který disponuje značně vyšší rychlostí, ale menším zatížením, což by se mohlo projevit v celkové životnosti aktuátoru. Jako další alternativní možností je volba lineárního aktuátoru od jiného výrobce.

Následně je v popisu konkrétního typu uvedeno označení K3, které definuje, že se jedná o standardní motor vykonávající 6000 ot/min a je vybaven jednoduchým trapézovým šroubem se stoupáním 3 mm. Dále je uveden zdvih, který byl již diskutován a zvolen 50 mm. Následuje typ předního uchycení, označeno jako C11, které je používáno jako standardní provedení. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny další možnosti předního uchycení označeny jako C61 a C31. Tyto typy předního uchycení jsou nabízeny přímo výrobcem. Další možností je použití

prvků z řady příslušenství, které se dá dokoupit, nebo vyrobit určitý prvek dle vlastních požadavků.



Obrázek 37: Typy předního uchycení lineárního aktuátoru série LD3 [19]

Následuje označení HS2, které definuje, že lineární aktuátor obsahuje dva Hallovy senzory. Pro lineární aktuátory s potenciometrem je označení definováno jako POT. Na závěr je uvedena značka IP65, jež vymezuje stupeň krytí. Stupeň krytí vyjadřuje ochranu elektrických zařízení před vnikem cizích předmětů a vnikem kapalin.

Pro tento lineární aktuátor je nyní nutné zvolit příslušnou řídicí jednotku, která zajistí napájení a ovládání motoru. Řídicí jednotky se vyrábějí s vestavěnými kolébkovými spínači nebo bez. Pokud není řídicí jednotka vybavena spínačem, je nutné jednotku doplnit o externí ovladač. Většina řídicích jednotek vyžaduje vstupní napětí 230 V. Výstupní napětí potom bývá 12 nebo 24 V.

Pro lineární aktuátor LD3-24-20-K3-050-C11-HS2-IP65 byla zvolena řídicí jednotka CI10-230-24-1-1-UK. Jedná se o řídicí jednotku, jež nevyžaduje dalšího externího ovladače, jelikož je vybavena vestavěným kolébkovým spínačem, který umožní ovládání funkce jednoho ovládacího prvku. Tato řídicí jednotka může řídit maximálně jeden ovládací prvek. Vyžaduje vstupní napětí 230 V, výstupní napětí je potom 24 V. Aktuátor vyžaduje vstupní napětí 24 V, takže spojení s řídicí jednotkou bude kompatibilní. Na následujícím obrázku je znázorněna řídicí jednotka série CI10 zvolena pro tuto aplikaci.



Obrázek 38: Řídicí jednotka série CI10 [22]

Dále je nutné k lineárnímu aktuátoru vybrat vhodné příslušenství. Je potřeba na jedné straně aktuátor upnout k základnímu profilu. Pro tyto účely bude sloužit montážní držák, který je velice často využíván ve spojení s lineárními aktuátory. Montážní držák je zobrazen na následujícím obrázku. Tento konkrétní typ je opatřen čepem s hlavou a závlačkou pro zajištění polohy. Dále je možné použít např. šroub s maticí nebo čep se závity a maticemi na obou stranách.



Obrázek 39: Montážní držák pro lineární aktuátor série LD3 [19]

Tento držák je možné použít i na druhé straně, kde je potřeba určitým způsobem upnout konec pístnice k navržené konstrukci. Další možností je použití svorek, které se také dodávají

jako doplněk od výrobců k lineárním aktuátorům, nebo navrhnout určité příslušenství dle vlastních požadavků.

Nyní jsou konstrukční návrhy vybaveny elektrickým lineárním pohonem s řídicí jednotkou. Na následujícím obrázku je znázorněn pevný návrh s gumovým materiálem a lineárním aktuátorem v otevřeném stavu pohled zepředu, shora a 3D pohled. Upnutí aktuátor ke konstrukčnímu profilu je řešeno pomocí montážního držáku. Poloha montážního držáku je zajištěn šroubem s T hlavou a maticí. Na druhé straně je pístnice ke kloubu připojena čepem se závlačkou.



Obrázek 40: 1.Návrh – pevný návrh s lineárním aktuátorem v otevřeném stavu

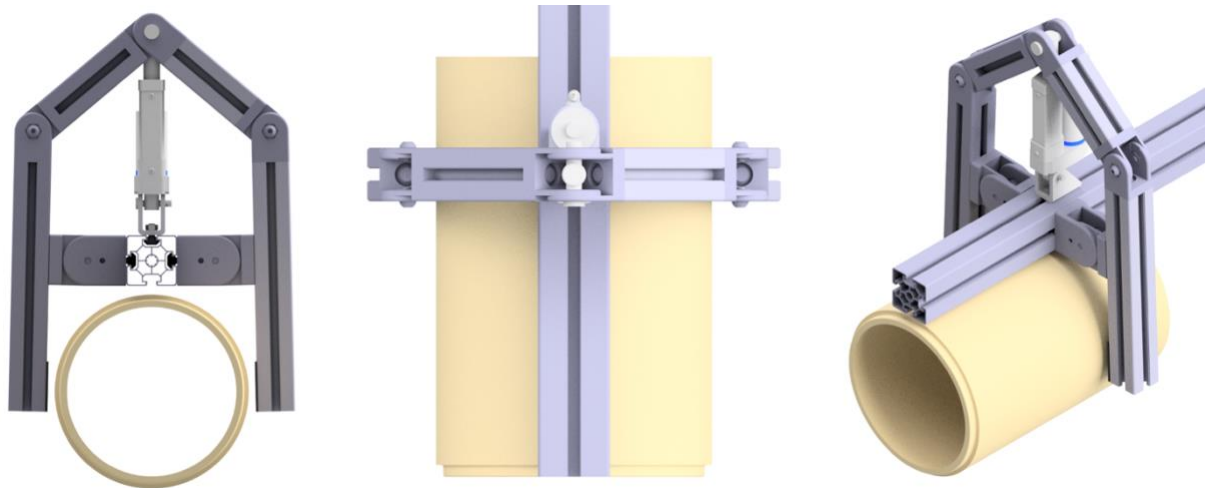
Na následujícím obrázku je znázorněn pevný návrh v zavřeném a otevřeném stavu. Zdvih pístnice je omezen na hodnoty od 15 do 45 mm.



Obrázek 41: Pevný návrh s lineárním aktuátorem v zavřeném a otevřeném stavu



Následující obrázek zobrazuje pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v otevřeném stavu. Montážní držák je se základním profilem spojen šroubem s T hlavou a maticí. Spojení lineárního aktuátoru a montážního držáku je zajištěno čepem s hlavou a závlačkou. Na druhé straně je spojení pístnice s klouby řešeno opět pomocí čepu s hlavou a závlačky.



Obrázek 42: 2. Návrh – pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v otevřeném stavu

Následující obrázek zobrazuje pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v zavřeném a otevřeném stavu. Rozsah zdvihu pístnice je zde omezen na hodnoty od 30 do 50 mm. Pro větší rozsah úchopných čelistí lze zvolit prodloužení pístnice.



Obrázek 43: Pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v zavřeném a otevřeném stavu

Tyto konstrukční návrhy slouží pouze pro účely testování. Z toho důvodu jsou označeny jako prototypy, na kterých bude ověřena funkčnost. V rámci řešení optimalizace procesu výroby bude ještě navržen finální tvar aktivního mechanického úchopného prvku v podkapitole 7.6.

#### **7.4.Návrh rázového zařízení**

Protože se před vysušením a vypálením skládá 3 nebo 4 kusů KKV na sebe, aby byla co nejvíce využita pec a nedošlo ke spálení materiálu, dochází ke spečení jednotlivých kusů KKV v místě spojení. Oddělení jednotlivých KKV se při ručním zpracování provádí rázem v místě spojení zpravidla kladívkem. Pro robotické přemísťování z pecního vozu na určité místo je nyní nezbytné problém oddělení jednotlivých KKV od sebe vyřešit.

Nejlepší variantou je návrh jednoduchého rázového zařízení, které by působilo v místě spojení jednotlivých KKV. Toto zařízení je možné umístit přímo na základní konstrukční profil, na němž jsou umístěné jednotlivé úchopné prvky s pohony. Další možností je umístění na úchopné čelisti s použitím dalšího přídatného profilu. Pro testování funkčnosti bude rázové zařízení použito pouze v jednom místě.

Jednou z možností pro oddělení KKV je využití kompaktních pneumatických válců. Tyto speciální válce jsou charakteristické svými rozměry, které jsou přizpůsobeny k použití do těsných prostorů. Pro pneumatické pohony je ale potřeba velké množství příslušenství pro zajištění požadované funkčnosti. Jelikož je požadavek na výrobu prototypu, aby náklady na pořízení byly co nejnižší, není vhodné použít variantu kompaktního pneumatického válce.

Alternativní možností je použití lineárních solenoidů. Lineární solenoidy se také označují jako lineární elektromagnety a jedná se o elektromechanická zařízení, která jsou schopna generovat jednotné magnetické pole při přivedení elektrického proudu. Konstrukce je složena z drátu, jenž je ovinutý kolem pohyblivého kovového jádra. Na rozdíl od otočných elektromagnetů konají jednoduchou tlačnou nebo tažnou sílu. Cívka drátu je omotána kolem jádra ve šroubovici na vnější straně lineárního elektromagnetu. Při přivedení elektrického proudu na vodič dochází ke generaci magnetického pole, které způsobí pohyb mobilního kovového oblouku po celé délce jádra solenoidu. Použití lineárních elektromagnetů je rozšířeno zejména díky snadnému pohybu vpřed a vzad. Oblastí použití může být pro automatické nebo vysoké zabezpečovací mechanismy. [23]

Konkrétních typů solenoidů je velké množství. Pro přehlednost je možné rozdělení do 3 základních kategorií na přídržné, pohybové a vibrační. Mezi pohybové solenoidy dále patří jednočinné, rozpínací, reverzní, řídicí, monostabilní jednočinné, zamykací atd. Jednočinné solenoidy jsou zařízení, v nichž je konán jednoduchý pohyb po dráze, resp. zdvih

elektromagnetickou silou od výchozí do koncové polohy kotvy. Navrácení do výchozí polohy je zabezpečeno vnější silou, např. přidáním externí pružiny. Vzhledem ke směru pohybu kotvy lze rozlišovat mezi tlačným a tažným provedením. [24]

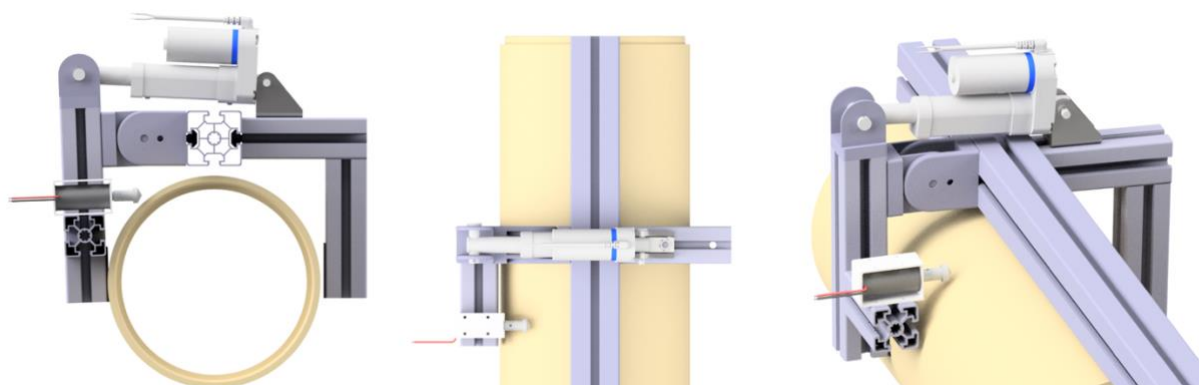
Na následujícím obrázku je zobrazen jednočinný solenoid od společnosti Kuhnke. Tento jednočinný solenoid obsahuje vidlicové zakončení pístnice, které slouží pro upnutí dalších součástí dle požadované aplikace.



Obrázek 44: Jednočinný solenoid [24]

Tyto jednočinné solenoidy se vyznačují svými malými rozměry pro použití do těsných prostor. Napájecí napětí bývá zpravidla 24 V. Výstupem u solenoidů bývá pístnice, k níž lze připojit další příslušenství dle potřebné aplikace. Pístnice bývají zpravidla válcového tvaru s dírou nebo se může vyskytovat i vidlicové provedení. Jednočinné solenoidy jsou schopny zabezpečit rozsah zdvihu od 3 do 30 mm. V menším provedení dosahující koncových sil až 35 N. Při požadavku na větší sílu je možné použít speciální typy solenoidů, které dosahují koncové síly až 200 N. [24]

Následující obrázek zachycuje možné provedení a umístění rázového zařízení u pevného konstrukčního návrhu. Ke konstrukci prototypu úchopného prvku je připojen další hliníkový profil o rozměrech 45x45 mm o délce 100 mm. Na tomto profilu bude upevněn solenoid jako rázové zařízení, které bude konat krátký přímočarý vratný pohyb. Zakončení pístnice je vidlicového tvaru.



Obrázek 45: Umístění rázového zařízení u pevného návrhu

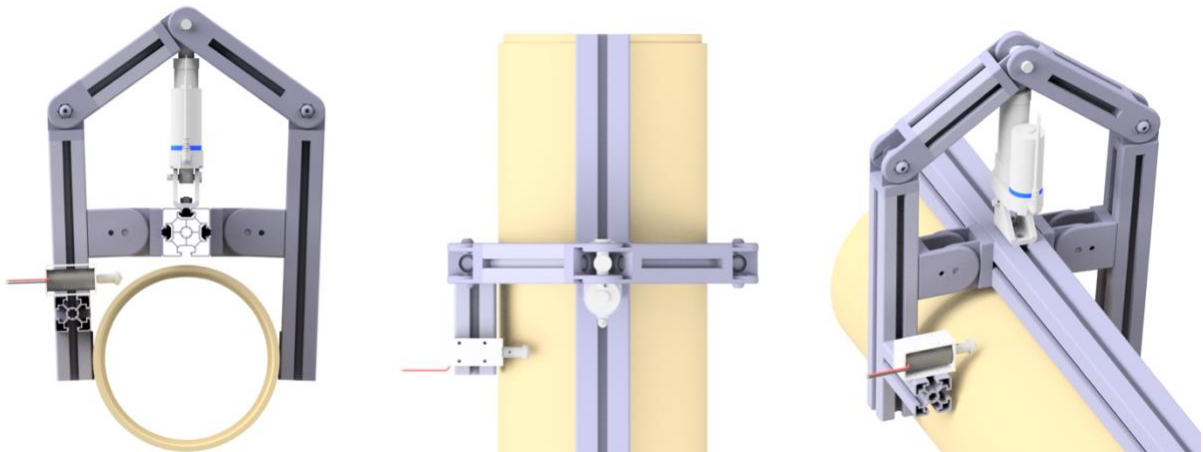
K vidlici je následně připojen indentor, jenž bude vystaven přímému styku s KKV v místě spojení. Polohu působení indentoru lze nastavit přestavením přidaného profilu nebo změnou polohy solenoidu, který je na tomto profil upnut. Přesná síla působení bude stanovena nejspíše až po provedení testování.

Indentory jsou zkušební tělesa používající se při zkouškách tvrdosti materiálu. Zkoušky tvrdosti se rozdělují na statické a dynamické. Při statickém zkoušení je indentor klidnou silou vtlačován v kolmém směru ke zkoušenému tělesu. Statické zkoušky jsou také označovány jako vnikací zkoušky. Při dynamických zkouškách proniká zkušební těleso do povrchu materiálu rázem. Detailní popis jednotlivých zkoušek lze najít v normách ČSN nebo ISO.

První zkouškou je zkouška tvrdosti podle Brinella. Zde je zkušebním tělesem kalená ocelová kulička o průměru  $D$ . Průměr  $D$  bývá zpravidla 1 mm, 2.5 mm, 5 mm a 10 mm. Další zkouškou je zkouška tvrdosti podle Rockwella. Tento druh je dále ještě rozdělován podle použitého indentoru na HRA, HRB, HRC. U prvního druhu HRA je zkušebním tělesem diamantový kužel, který má vrcholový úhel  $120^\circ$ . U zkoušky HRB je zkušebním tělesem ocelová kulička o průměru 1.5875 mm. U posledního druhu HRC je opět použit diamantový kužel, ale rozdíl v porovnání s HRA je v celkovém silovém působení. U typu HRA se používá síla pouze 600 N, u HRC je působeno silou 1500 N. Další používanou zkouškou pro měření je zkouška tvrdosti podle Vickerse. U této metody je zkušebním tělesem pravidelný diamantový čtyřboký jehlan. Vrcholový úhel jehlanu je  $136^\circ$ . Následně lze ještě použít zkoušku tvrdosti podle Knoopu.

U této zkoušky je indentorem čtyřboký diamantový jehlan. Poměr úhlopříček bývá zpravidla 7:1. Vrcholové úhly zkušebního tělesa jsou 130° a 172.5°. [25] [26] [27] [28]

Pro tuto aplikaci byl zvolen indentor s vrcholovým úhlem 120°. Zakončení indentoru je nutné přizpůsobit vidlicovému provedení pístnice solenoidu. Spojení pístnice a indentoru lze provést např. šroubem s maticí.



Obrázek 46: Umístění rázového zařízení u pohyblivého návrhu

Stejné konstrukční provedení pro připojení solenoidu je nyní použito u druhého pohyblivého konstrukčního návrh. Návrh je zobrazen na předchozím obrázku.

## 7.5.Návrh senzorů

Dále je potřeba vybavit prototyp aktivního úchopného mechanického prvku příslušnými senzory pro zajištění uchopení, přemístění a odměřování. Zde se nabízí možnost vycházet z již navrženého úchopného podtlakového prvku, který je ve firmě používán pro přemístění sloupce KKV na pecní vůz.

Detekce polohy pro umístění KKV je zajištěna pomocí snímače na odměřování výšky od pecního vozu. Ve společnosti používají ultrazvukový snímač s označením UMT 30-350-PSD-L5.

Ultrazvukové snímače se řadí do kategorie polohových snímačů a mezi další typy patří indukční a kapacitní snímače. Ultrazvukové snímače fungují na principu měření a detekce ultrazvukových vln, které jsou vysílány a následně odraženy od předmětu v prostoru. Mezi výhody ultrazvukových senzorů patří vysoký snímací dosah, který může být až několik metrů. Zároveň jsou velice univerzální a tím i vhodné pro širokou oblast použití. Nejčastěji se v

průmyslových aplikacích využívají pro měření vzdálenosti a snímání předmětů. Jsou přizpůsobeny pro práci v jakýchkoliv podmínkách.

Tento konkrétní typ ultrazvukového snímače s označením UMT 30-350-PSD-L5 disponuje následujícími parametry. Snímač je možné snadno přednastavit pomocí digitálního displeje. Je možné okamžitého uvedení do provozu. Limitní snímací rozsah je omezen maximálně na 600 mm. Rozsah, v němž je tento konkrétní typ schopen pracovat, je od 65 do 350 mm. Obsahuje pouze jeden snímací výstup. Pro připojení slouží kovový konektor M12x1, jenž obsahuje celkem 5 pinů. Uložení v robustním kovovém pouzdře zabezpečuje stupeň krytí IP67. [29] Na následujícím obrázku je zobrazen ultrazvukový polohový snímač s výrobním označením UMT 30.



*Obrázek 47: Ultrazvukový polohový snímač UMT 30-350-PSD-L5 [29]*

Dále je důležité použít senzor pro detekci přítomnosti KKV. Jelikož pec, ve které se KKV vypalují, je šikmého tvaru, je tomu přizpůsoben i počet jednotlivých KKV skládaných na sebe. Ve většině případů je sloupec KKV tvořen tak, že na krajích pecního vozu jsou pouze 3 kusy skládané na sebe. Zbytek pecního vozu je poté vyplněn sloupci, kde se nachází 4 KKV. Pro detekci přítomnosti sloupce se ve společnosti používá difuzní snímač s označením FT 18-2 IDM-PS-L4.

Difuzní snímače se řadí do skupiny optických snímačů. Do kategorie optických snímačů dále spadají také reflexní a vidlicové snímače a optické závory. Difuzní snímač je vybaven vysílačem a přijímačem paprsku světla, které jsou uloženy v pouzdře. Difuzní snímače pracují na principu odrazu světelného paprsku od určitého snímaného předmětu. Není požadováno použití odrazky. Dosah snímání paprsku je závislý na následujících parametrech: velikost, tvar, barva a povrchové vlastnosti snímaného předmětu. Difuzní snímač je schopný rozlišit barevný

rozdíl mezi černou a bílou. Výrobci nabízejí senzory pro široké možnosti použití v průmyslovém odvětví se snímacím rozsahem od 15 mm do 2,5 m. [30]



*Obrázek 48: Difuzní optický snímač FT 18-2 IDM-PS-L4 [30]*

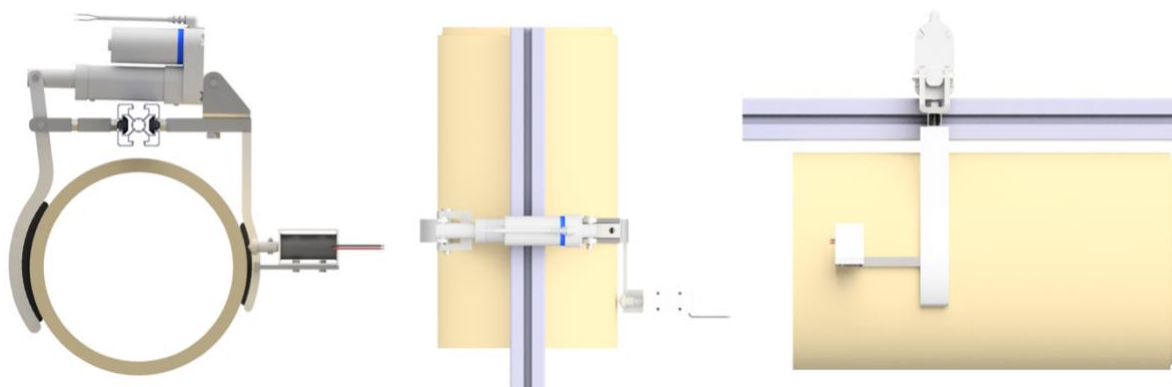
Difuzní snímač s označením FT 18-2 IDM-PS-L4 je zobrazen na předchozím obrázku. Tento zvolený senzor disponuje následujícími parametry. Snímací rozsah je zajištěn v hodnotách od 0 do 800 mm, který lze snadno nastavit pomocí potenciometru. Druhem výstupního světla je přímé infračervené světlo. Pro připojení slouží kovový konektor M12, který je 4 pinový. Jako spínací výstup je zde zvolena varianta PNP, jež má v Evropě velice širokou oblast uplatnění. Senzor dále obsahuje dva průchozí otvory pro doplňkové montážní použití. Konstrukce senzoru je uložena do robustního kovového pouzdra, které disponuje stupněm krytí IP67. [30]

## **7.6.Finální konstrukční návrh optimalizační varianty**

V této podkapitole jsou uvedeny finální konstrukční návrhy mechanického aktivního úchopného prvku. Nejprve je znázorněn pevný návrh. Tento konstrukční návrh je sestaven ze základního nosného profilu o rozměrech 45x45 mm. Na levé straně je pomocí šroubu s T hlavou připojen uzavřený ocelový profil čtvercového tvaru. K tomuto profilu je přidán hliníkový úchop, který je opatřen gumovým materiálem v místě styku. K hliníkovému úchopu je ještě připojeno krátké prodloužení s destičkou, která slouží pro upnutí solenoidu šroubovým spojením. Délka prodloužení je volena tak, aby indentor, jenž je výstupem solenoidu, působil přímo v místě spojení podkladního kroužku a KKV. Pomocí montážního držáku je upevněn aktuátor, jehož výstupem je pístnice, která je spojena čepem s pohyblivými úchopnými čelisti. Rotace úchopných čelistí je zajištěna kloubem, který je připojen šroubovým spojením k základnímu

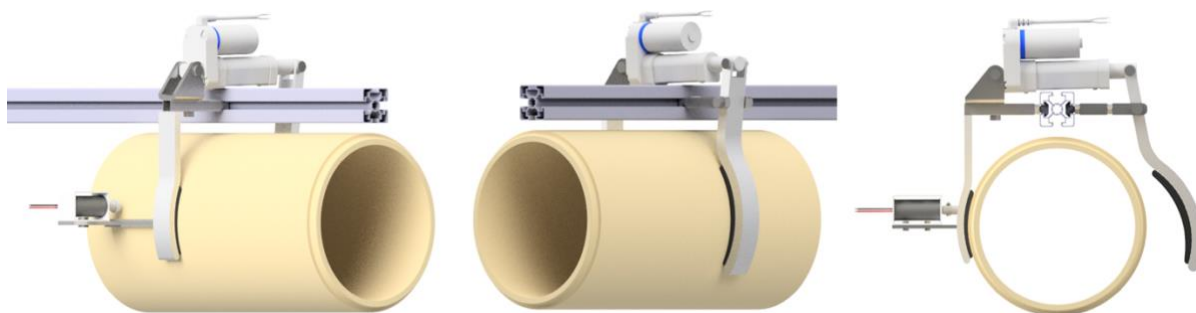


nosnému profilu pomocí uzavřeného ocelového profilu čtvercového tvaru. Na následujícím obrázku je zobrazen pevný návrh pohled zezadu, shora a zleva.



Obrázek 49: Finální konstrukce pevného návrhu – pohled zezadu, shora a zleva

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny 3D pohledy pevného návrhu. Vpravo je znázorněn návrh zepředu v otevřeném stavu. Zdvih pístnice je u tohoto návrhu omezen na hodnoty od 15 do 30 mm.

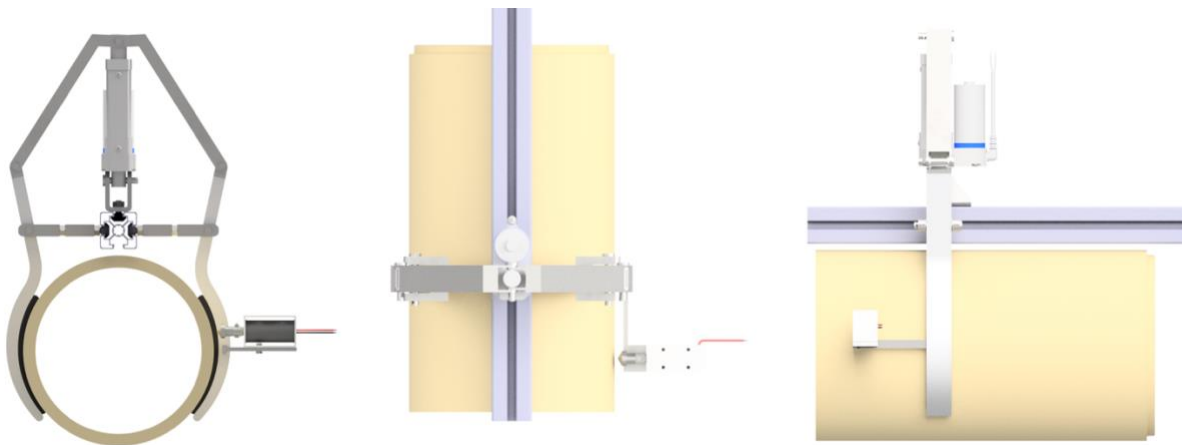


Obrázek 50: Finální konstrukce pevného návrhu – 3D pohled a návrh v otevřeném stavu

Nosným prvkem pohyblivého konstrukčního návrhu je stejně jako v předchozí variantě hliníkový konstrukční profil o rozměru 45x45 mm. Na pravé a levé straně jsou šroubovým spojením připevněny ocelové uzavřené profily čtvercového tvaru a klouby pro zajištění rotace. Na klouby jsou přidány hliníkové úchopné čelisti, které jsou opatřeny v místě styku gumovým materiálem. V horní části těchto úchopných komponentů jsou připojeny klouby, na které navazují prodloužení směřující do horní části konstrukce. Lineární aktuátor je stejně jako v předchozím případě připojen montážním držákem. U této varianty je umístění montážního držáku přímo na základním nosném profilu. Výstupem aktuátoru je pístnice, jenž je napojena na prodloužení v horní části sestavy. Spojení pístnice a prodloužení je zabezpečeno pomocí kloubů

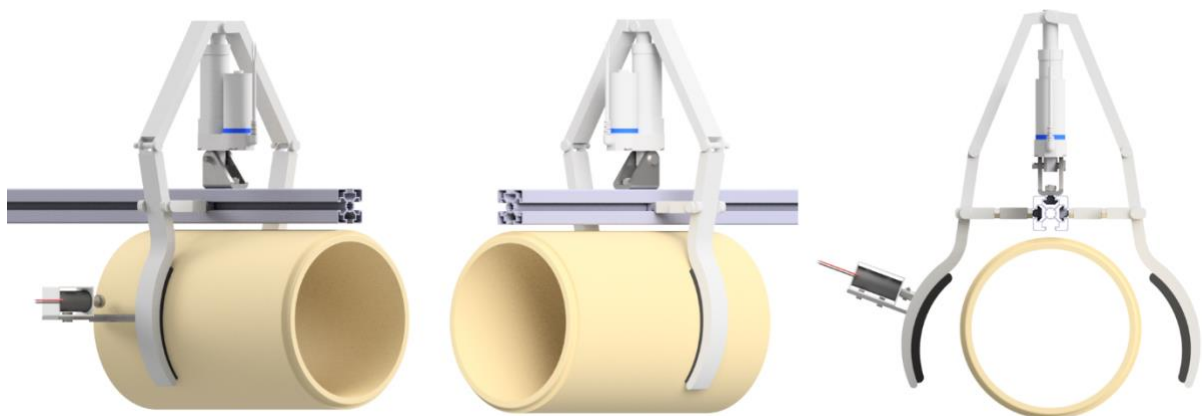


a čepu. Stejně jako u předchozího návrhu je k hliníkovým úchopným čelistím přidáno krátké prodloužení s destičkou. Destička slouží pro upevnění solenoidu, jenž je v tomto případě řešeno šroubovým spojením. Délka prodloužení je zvolena tak, aby indenter působil přímo do místa spojení podkladního kroužku a KKV. Na následujícím obrázku je zobrazen pohyblivý návrh pohled zezadu, shora a zleva.



Obrázek 51: Finální konstrukce pohyblivého návrhu – pohled zezadu, shora a zleva

Na následujícím obrázku jsou znázorněny 3D pohledy pohyblivého návrhu. Vpravo je znázorněn návrh zepředu v otevřeném stavu. Zdvih pístitnice je u tohoto návrhu omezen na hodnoty od 10 do 30 mm.



Obrázek 52: Finální konstrukce pohyblivého návrhu – 3D pohled a návrh v otevřeném stavu

V následující tabulce je uvedeno zhodnocení a porovnání konstrukčních variant pevného a pohyblivého návrhu. Nejprve je zohledněna náročnost konstrukčního řešení z hlediska tvarů. Dále jsou návrhy posuzovány z hlediska nákladů na pořízení potřebných komponentů. Následně

je uvedena složitost řízení z hlediska úchopu KKV nebo podkladního kroužku. Do tohoto bodu lze zařadit také rychlost při upínání. Dále je zohledněna síla působení lineárního aktuátoru, která je vzhledem k vytvořené páce výrazně vyšší u pevného návrhu. Na závěr tabulky je zohlednění pohyblivosti úchopných čelistí, jenž je u pohyblivého návrhu vytvořena souměrně z obou stran. U pevného návrhu jsou čelisti pohyblivé pouze z jedné strany, z druhé strany je nutné použít pohyb robota.

Tabulka 2: Zhodnocení konstrukčních návrhů

	Pevný návrh	Pohyblivý návrh
Konstrukční řešení	Tvarově jednodušší	Tvarově složitější
Náklady na pořízení	Levnější varianta	Dražší varianta
Řízení při upínání	Složitější na řízení, pomalejší	Jednodušší na řízení, rychlejší
Síly potřebné pro úchop	Vyšší síly	Nižší síly
Pohyb úchopných čelistí	Pohyb pouze jedné strany	Souměrný pohyb obou stran

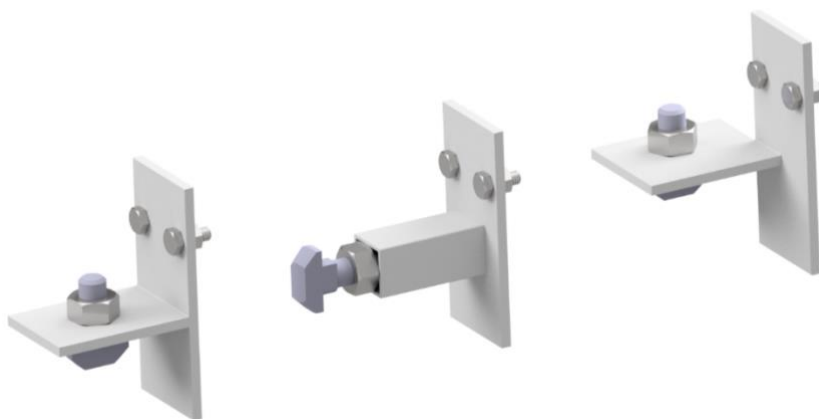
Na základě uvedených poznatků v předchozí tabulce byla vyhodnocena lepší varianta pohyblivého návrhu. Zásadní výhodou lze označit souměrný pohyb úchopných čelistí, jenž mají vliv nejen na složitost řízení, ale také na rychlost při upínání. Důležité je také zohlednění potřebné síly pro úchop vyvozené lineárním aktuátorem. Zatěžování lineárních aktuátorů do vyšších až maximálních hranic by se po určité době zásadně projevilo v životnosti zvoleného pohonu.

Nicméně při zohlednění rozmístění jednotlivých sloupců KKV na pecním voze vzniká problém související s umístěním rázového zařízení. Prostor mezi jednotlivými sloupci komínových vložek je pouze 50 mm. Na následujícím obrázku je zobrazen vybraný optimalizační návrh spolu s rozmístěním jednotlivých sloupců komínových vložek. Na obrázku je znázorněno, že rázové zařízení nemůže být umístěno přímo na úchopných čelistích, jak bylo předem navrhováno u prototypu.



Obrázek 53: Optimalizační varianta při zohlednění rozmístění sloupců KKV

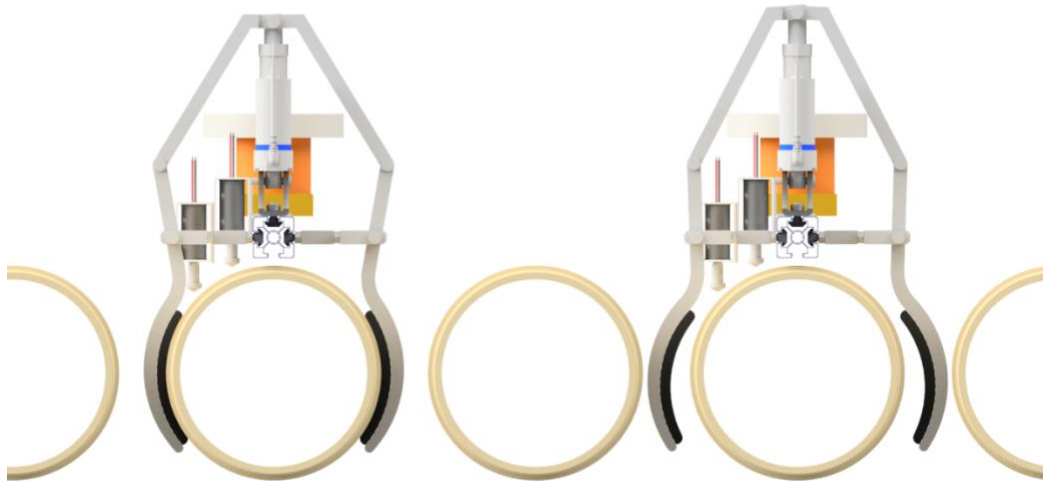
Z toho důvodu je nutné rázové zařízení přemístit na základní konstrukční profil o rozměrech 45x45 mm. Pro účely upnutí lze použít jednoduché profily, které jsou znázorněny na následujícím obrázku.



*Obrázek 54: Konstrukční návrhy pro upevnění rázových zařízení*

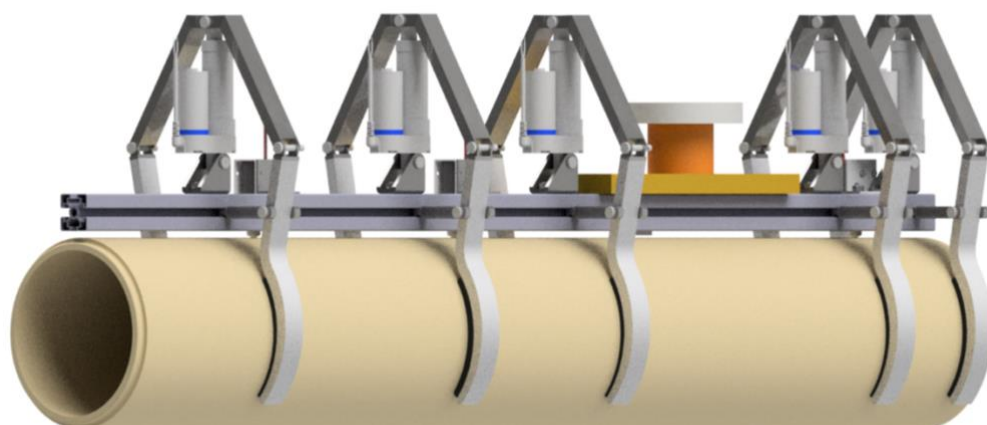
Na předchozím obrázku vlevo je zobrazen ocelový profil ve tvaru T. Spojení se základním nosným profilem je zajištěno šroubem s T hlavou a maticí. Na obrázku uprostřed je zobrazen ocelový uzavřený profil čtvercového tvaru. Toto řešení je nutné použít v místě uložení montážní příruby, jenž slouží pro spojení s robotem. K tomuto profilu je připojena destička s dírami pro upevnění rázového zařízení. Spojení se základním profilem je opět řešeno šroubem s T hlavou. Na obrázku vpravo je zobrazeno podobné konstrukční provedení profilu jako na obrázku vlevo. Nicméně je nezbytné ocelový profil ve tvaru T upravit zobrazeným způsobem. Profil je takto přizpůsoben kvůli těsnému prostoru v oblasti, kde jsou uloženy čelisti pro uchopení podkladního kroužku a KKV. Všechny výše znázorněné varianty jsou navrženy s otvory v horní části pro připojení rázových zařízení šroubovým spojením.

Na následujícím obrázku je zobrazena zvolená optimalizační varianta v zavřeném a otevřeném stavu. Na obrázku lze vidět nový způsob uložení rázových zařízení. Zároveň je upraven zdvih pístnice aktuátoru na hodnoty 10 a 22 mm z důvodu těsného rozmístění jednotlivých sloupců KKV.



*Obrázek 55: Optimalizační návrh v uzavřeném a otevřeném stavu*

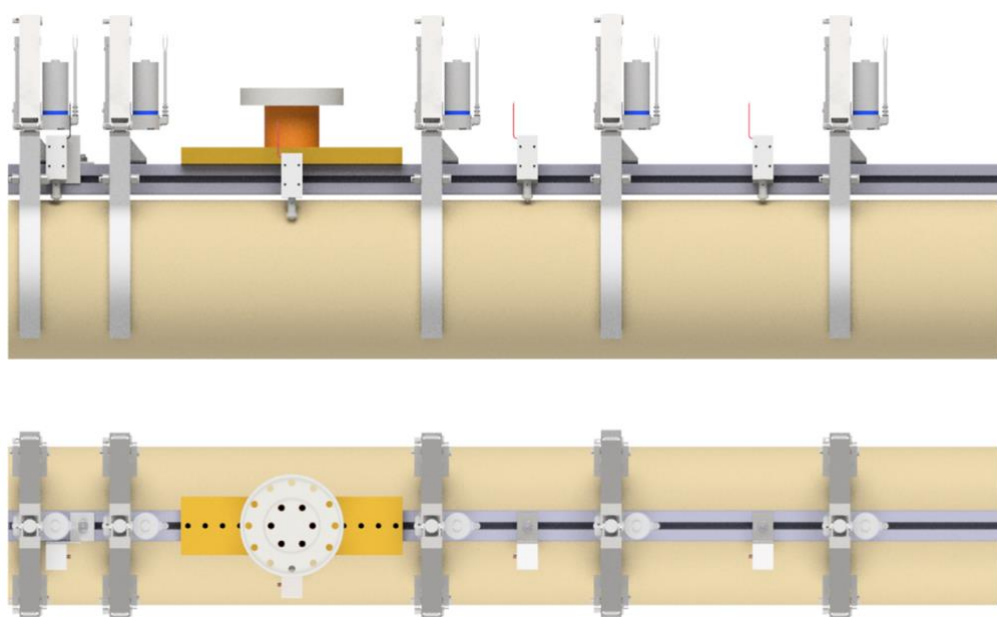
Z předchozího obrázku je patrné, že nový způsob uložení rázových zařízení by měl být nyní vyhovující. Dále bylo ověřeno, že hliníkové čelisti opatřené gumovým materiálem byly správně navrženy a při upínání KKV nedochází ke kolizi mezi vedlejšími sloupci.



*Obrázek 56: Finální konstrukční řešení optimalizační varianty*

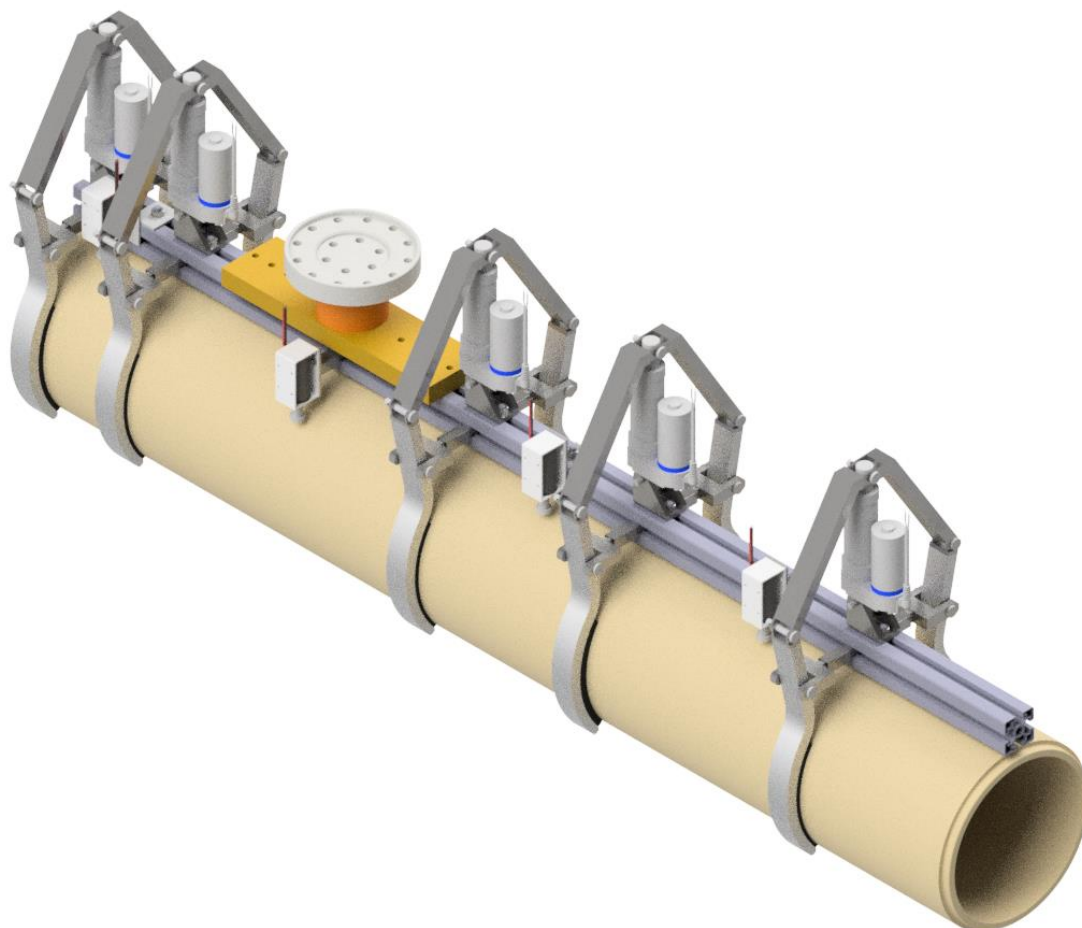
Na předchozím obrázku je zobrazeno finální konstrukční řešení zvolené optimalizační varianty při zohlednění manipulace podkladního kroužku a sloupce KKV složeného celkem ze 4 kusů.

Na následujícím obrázku je znázorněno konstrukční řešení optimalizační varianty pohled zleva a shora. Zde je možné vidět uložení rázových zařízení na základním nosném profilu. Uložení je přizpůsobeno tak, aby oblast působení byla přímo v místě spojení jednotlivých komínových vložek nebo podkladního kroužku.



*Obrázek 57: Finální konstrukční návrh – pohled zleva a shora*

Následující obrázek znázorňuje 3D pohled konstrukčního řešení navržené optimalizační varianty.



*Obrázek 58: Finální konstrukční návrh – 3D pohled*

Finální konstrukční návrh úchopného prvku umožňuje uchopení 3 nebo 4 kusů KKV včetně podkladního kroužku. Pro odměřování a detekování předmětů jsou zvoleny ultrazvukové a difuzní senzory. Během manipulace je možné odložit podkladní kroužek do určitého prostoru díky nezávislému řízení jednotlivých lineárních aktuátorů. Při návrhu tvaru úchopných čelistí bylo zohledněno těsného rozmístění jednotlivých sloupců KKV na pecním voze. Pro oddělení jednotlivých kusů KKV ve sloupci jsou navrženy jednočinné solenoidy umístěné na základním nosném profilu.

## 7.7.Návrh robota

Nejpoužívanější strukturou průmyslových robotů a manipulátorů je v současné době sférická angulární pohybová struktura obsahující tři rotační kinematické dvojice. Dalšími důležitými parametry pro výběr vhodného robota je jmenovitá nosnost uváděna v kilogramech a rozsah pracovní zóny, v němž se rameno může pohybovat. Všechny potřebné parametry je možné dohledat v katalogových listech výrobce. Ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. momentálně používají průmyslové roboty a manipulátory od společnosti KUKA. Návrh robota bude proto zaměřen pouze na výběr od tohoto výrobce.

Pro volbu robota z hlediska jmenovité nosnosti byla vytvořena tabulka, ve které je uveden soupis potřebného materiálu pro sestavení finálního návrhu mechanického aktivního úchopného prvku. Tato tabulka je ještě doplněna o podkladní kroužek a KKV. Hodnoty hmotnosti byly odečteny z modelového prostředí Autodesk Inventor. Tabulka je zobrazena níže.

Tabulka 3: Soupis materiálu optimalizační varianty z hlediska jmenovité hmotnosti

Optimalizační varianta			
Soupis materiálu	Počet [-]	Hmotnost [g]	Součet [g]
Základní nosný profil	1	2000	2000
Ocelový uzavřený profil	10	200	2000
Základní kloub	10	180	1800
Hliníkový úchop	10	350	3500
Spojovací kloub	20	25	500
Prodloužení	10	600	6000
Horní kloub	10	55	550
Montážní držák	5	200	1000
Lineární aktuátor	5	870	4350
Čep	30	25	750
Šroub s T hlavou	15	10	150
Šestihranná matice	25	6	150
Profily pro upevnění rázové zařízení	4	100	400
Rázové zařízení	4	300	1200
Pryž pro zlepšení úchopu	10	50	500
Keramická komínová vložka	4	7600	30400
Podkladní kroužek	1	1200	1500
Montážní příruba	1	9000	9000
Difuzní senzor	2	50	100
Ultrazvukový senzor	1	150	150
Celkový součet [g]			66000



Celkový součet použitých komponentů optimalizační varianty je roven 66 kg. Pro navržený úchopný prvek lze použít modelovou řadu KR IONTEC. U tohoto typu výrobce uvádí jmenovitou nosnost 70 kg. Maximální nosnost potom může být až 85 kg. Maximální dosah ramene robota je stanoven na 2101 mm. Vzhledem k velikosti pecního vozu, který má rozměry 2760 mm na délku a 2420 mm na šířku není tento dosah ramene vyhovující. Z toho důvodu je nutné zvolit vyšší modelovou řadu, kterou je KR QUANTEC. U této modelové výrobce uvádí jmenovitou nosnost v rozsahu od 120 kg do 300 kg. Maximální dosah ramene je uváděn v hodnotách od 2671 mm do 3904 mm.

Roboti modelové řady KR QUANTEC patří do skupiny dosahující vysokých nosností a mají v tomto směru největší portfolio nosností a rozsahů na trhu. Roboti KUKA jsou svojí univerzální konstrukcí navrženy pro téměř všechny aplikace, mezi které lze zařadit např. automobilový průmysl, slévárenství nebo zdravotnictví. Tato modelová řada vznikla na základě dlouholetých zkušeností v oblasti automatizace. Výsledkem je spolehlivé, všestranné a efektivní kvalitní řešení pro průmyslové aplikace. Modelová řada KR QUANTEC je specifická zejména svým výkonem, ekonomičností a flexibilitou.

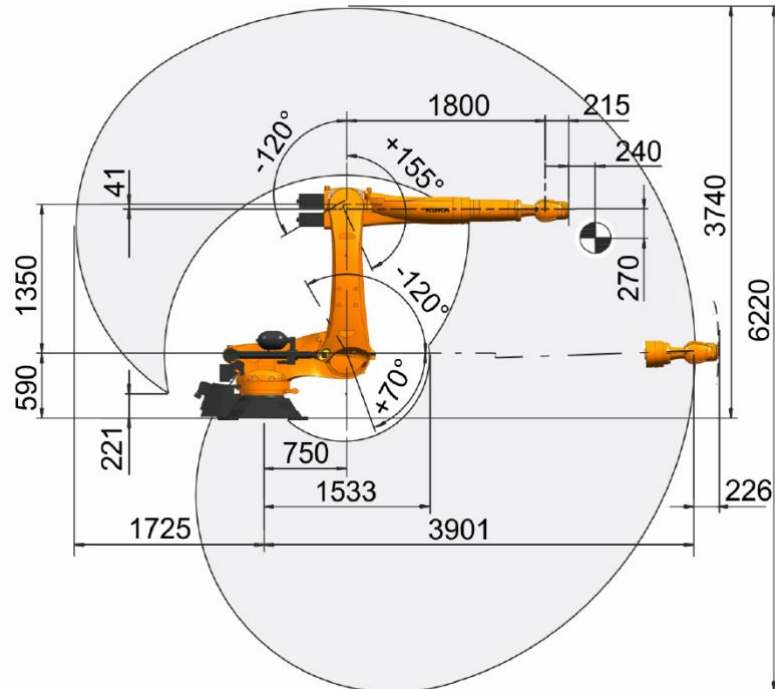
Štíhlý modulární systém zabezpečuje precizní, flexibilní roboty, rychlou dodací lhůtu a nízké celkové náklady na pořízení. Díky tomu lze minimalizovat nároky na údržbu a snížení potřebného množství náhradních dílů. Vlastnost vysokého navýšení hmotnosti v poli a dostupné režimy Motion Modes pro nejvyšší kvalitu výrobních procesů dělají z modelové řady robotů KR QUANTEC velice flexibilní zařízení a bezpečnou investici do výrobního závodu. Motion Modes jsou digitalizované pohybové režimy, jež slouží k optimalizaci provozu robota pro určité aplikace. Například pro dosažení vysoké přesnosti při pojezdu po určité dráze se používá Path Mode. Pro minimalizaci doby taktu lze použít Dynamic Mode, který umožňuje využití vyšších rychlostí. Poslední dostupným režimem je Performace Mode, jenž spojuje rychlost a přesnost a tím je univerzálně využitelný pro širokou oblast aplikací. [31]

Pro optimalizační řešení byl zvolen KUKA robot s označením KR 120 R3900 Ultra K. Z hlediska konstrukčního provedení je robot umístěn na podstavci. Při umístění na podstavec klesá hodnota maximální nosnosti, nicméně značně se zvětší rozsah pracovní zóny, který je v tomto případě klíčový. Jmenovitá nosnost tohoto robota je 120 kg, maximální nosnost potom výrobce uvádí 170 kg. Maximální dosah ramene robota je stanoven na 3901 mm. [31] Pracovní zóna ramene pro manipulaci v uvedeném provozu bude ověřena v závěru této podkapitoly. Robot KR 120 R3900 Ultra K je zobrazen na následujícím obrázku.



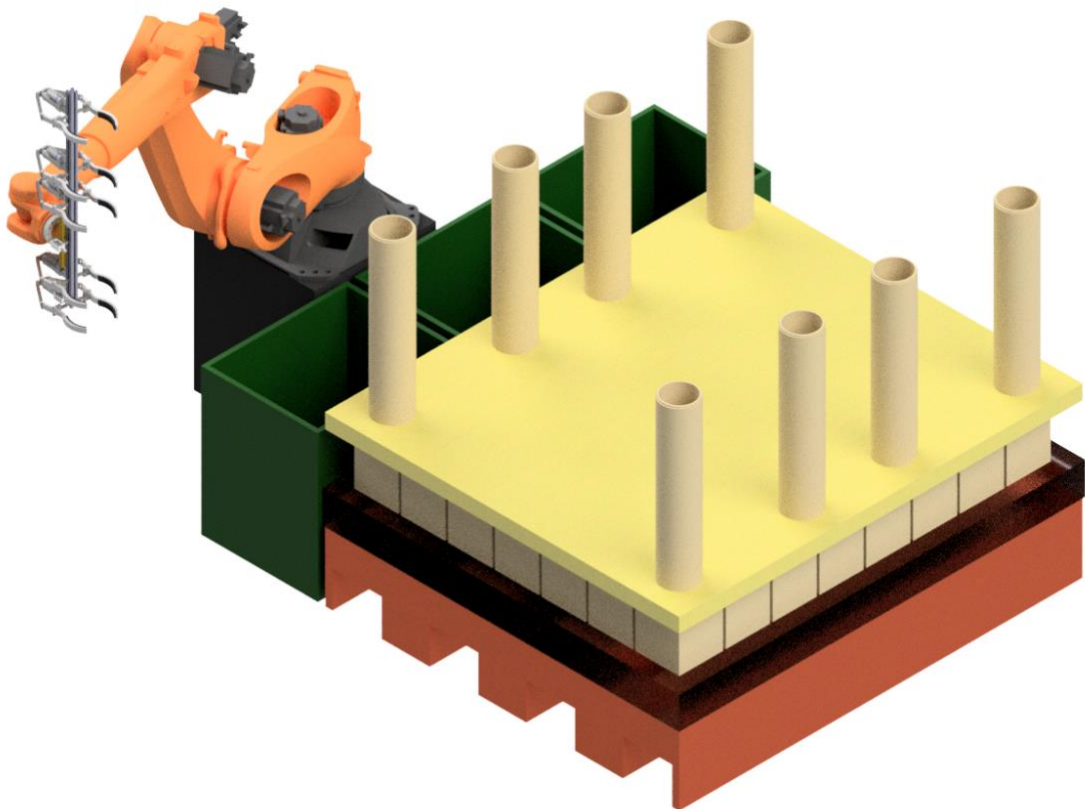
*Obrázek 59: Robot KUKA KR 120 R3900 Ultra K [31]*

Na následujícím obrázku je znázorněn prostor pracovní zóny zvoleného robota. Rozměry jsou uvedeny v milimetrech.



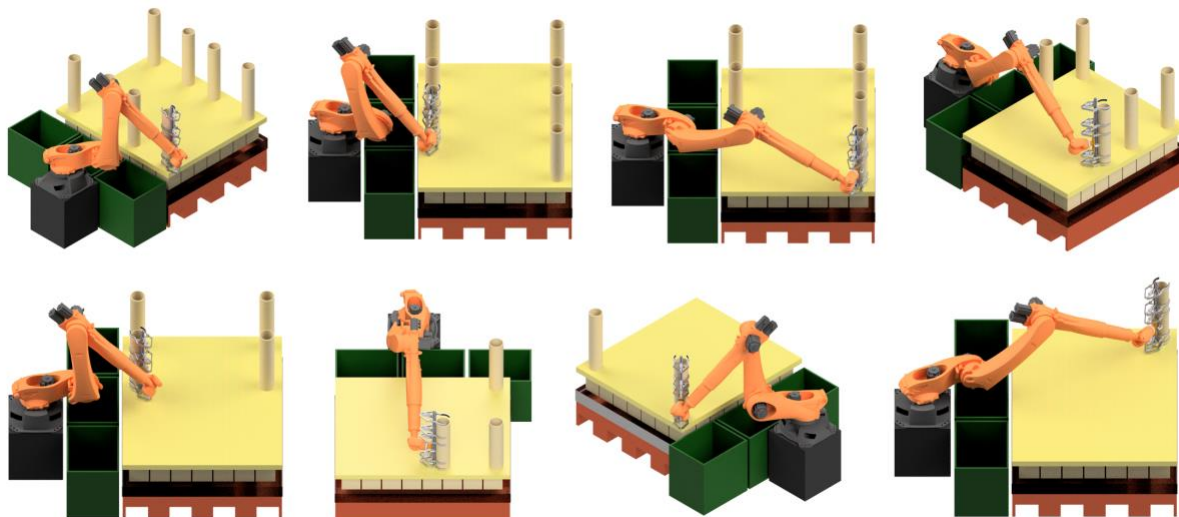
Obrázek 60: Pracovní zóna robota KUKA KR 120 R3900 Ultra K [31]

Spojení robota a aktivní úchopné hlavice je zabezpečeno montážní přírubou. Pro komunikaci se používají průmyslové sběrnice. Nejčastějšími typy průmyslových sběrnic u KUKA robotů jsou EtherCat, ProfiNet, Interbus, Profibus apod. Na následujícím obrázku je zobrazeno dispoziční řešení optimalizovaného procesu výroby. Nejprve je umístěn robot na podstavci, ke kterému je připojen navržený mechanický úchopný prvek. Na pecním voze jsou umístěny pouze krajní a prostřední sloupce KKV. Oblasti umístění sloupců jsou označeny jako extrémní místa, na kterých bude ověřena funkčnost robota z hlediska rozsahu pracovního ramene. Mezi robotem a pecním voze jsou umístěny kontejnery.



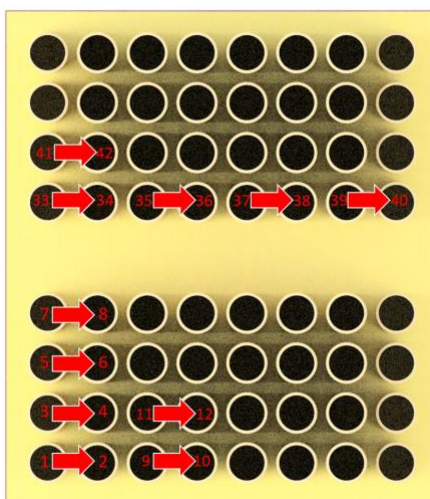
*Obrázek 61: Dispoziční řešení při zohlednění extrémních míst pecního vozu*

Na následujícím obrázku je zobrazeno postupné odebírání jednotlivých sloupců KKV umístěných na krajích a uprostřed pecního vozu.



Obrázek 62: Odebírání jednotlivých krajních sloupců z pecního vozu

Tímto způsobem bylo ověřeno, že rozsah pracovní oblasti ramene robota bude dostačující pro obsluhu celého prostoru pecního vozu.



Obrázek 63: Návrh odebírání sloupců KKV z pecního vozu

Na předchozím obrázku je zobrazen návrh, jakým způsobem by mohlo probíhat odebírání jednotlivých sloupců z pecního vozu. Při tomto návrhu je nutné zohlednit riziko kolize mezi ramenem robota a jednotlivými sloupci. Následně je také důležité uvažovat vznik singulárních poloh.

## 7.8. Závěr

Pro optimalizaci vybraného procesu výroby byl v této kapitole diplomové práce navržen mechanický aktivní úchopný prvek. Nejprve bylo řešení zaměřeno na návrh prototypu. Navrženy byly dvě konstrukční řešení sestavené z hliníkových konstrukčních profilů. Pro tyto dvě varianty byl zvolen gumový materiál, jehož funkcí je zajištění lepších stykových vlastností v místě úchopu. Následně byl navržen elektrický pohon pro řízení pohybu a rychlosti úchopných čelistí. Poté byl návrh doplněn o elektromechanické zařízení, jehož funkcí je rozdělení jednotlivých spečených KKV včetně podkladního kroužku. V závěru návrhu prototypu byly vybrány snímače sloužící pro odměřování požadovaných parametrů.

Následně byly pro navržené varianty vytvořeny finální konstrukční řešení. Tyto varianty byly mezi sebou porovnány a zhodnoceny. Výstupem zhodnocení bylo zvolení varianty pohyblivého konstrukčního návrhu, který je schopen pohybu obou stran úchopných čelistí souměrně. U této varianty bylo nezbytné upravit uložení rázových zařízení, jež byly přemístěny na základní nosný profil. Dále byl upraven zdvih pístnice lineárního aktuátoru vzhledem k rozmístění jednotlivých sloupců keramických komínových vložek na pecním voze. V závěru této podkapitoly bylo uvedeno zhodnocení navržené varianty vzhledem k optimalizačním podmínkám vymezených v předchozí kapitole.

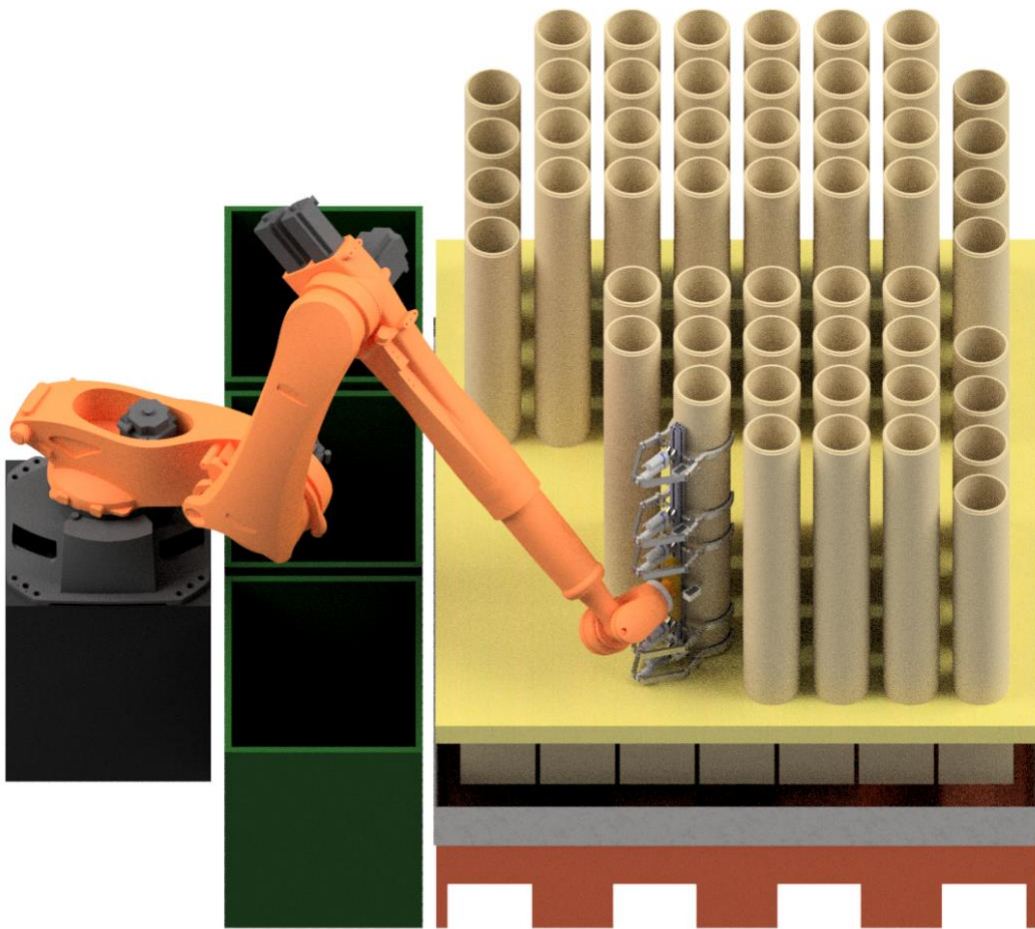
Pro navržené optimalizační řešení byl zvolen robot od společnosti KUKA. U volby robota byla nejprve ověřena funkčnost z hlediska jmenovité nosnosti. Jmenovitá nosnost byla ověřena na základě tabulky, ve které je uveden výpis použitého materiálu pro stavbu optimalizační varianty. Dále byl v modelovém prostředí Autodesk Inventor ověřen rozsah pracovní zóny ramene robota při zohlednění dispozičního řešení.

## **8. Technicko-ekonomické zhodnocení**

V této kapitole je uvedeno technické a ekonomické zhodnocení navrženého optimalizačního řešení. V technickém zhodnocení je diskutováno splnění optimalizačních podmínek, které byly vymezeny v kapitole 6.4. V ekonomickém zhodnocení jsou zohledněny potřebné investiční a provozní náklady.

### **8.1. Technické zhodnocení**

Podmínkou pro optimalizační řešení vybraného procesu výroby bylo navrhnout, jakým způsobem bude probíhat manipulace celého sloupce 3 nebo 4 kusů KKV včetně podkladního kroužku z pecního vozu do určitého prostoru. Následně bylo požadavkem, aby během manipulace byl odložen podkladní kroužek. Dále bylo nutné zohlednit vlastnosti keramického materiálu, ze kterého jsou komínové vložky a podkladní kroužky vyrobeny. Následně pro návrh finálního tvaru mechanického aktivního úchopného prvku bylo rozhodující zohlednit rozmístění jednotlivých sloupců KKV na pecním voze. V neposlední řadě bylo požadavkem navrhnout zařízení, které oddělí jednotlivé spojené KKV od sebe.



Obrázek 64: Optimalizace procesu výroby

Výstupem této diplomové práce je návrh optimalizačního řešení v podobě mechanického aktivního úchopného prvku pro optimalizaci vybraného procesu výroby, který je zobrazen na předchozím obrázku. Konstrukce úchopných čelistí byla podmíněna úhlem opásání, který byl požadován nejméně  $180^\circ$ . Dalším omezujícím faktorem pro konstrukci úchopných čelistí bylo rozmístění jednotlivých sloupců KKV na pecním voze, které jsou ve velmi těsné blízkosti. Odměrování výšky od pecního vozu a detekce přítomnosti KKV je zajištěna pomocí vybraných ultrazvukových a difuzních senzorů. Pohyb úchopných čelistí a síla působení pro udržení během manipulace je zabezpečeno lineárním aktuátorem. Rozpojení jednotlivých komínových vložek a podkladního kroužku je opatřeno jednočinnými solenoidy. Řízení pohybu jednotlivých solenoidů může být závislé. Nezávislé ale musí být řízení pohybu lineárních aktuátorů, jelikož během manipulace je potřeba odložit podkladní kroužek na místo určení. Podkladní kroužek musí být odstraněn před tím, než je celý sloupec KKV přemístěn do určitého prostoru. Všechny kabely



potřebné pro napájení elektrických zařízení musí být náležitě vedeny a umístěny, aby nedošlo k jejich porušení. Pro tyto účely byly navrženy svazkovací spirály a šroubovací držáky. Pro navržený prvek byl zvolen robot od společnosti KUKA s označením KR 120 R3900 Ultra K.

## 8.2. Ekonomické zhodnocení

V této podkapitole je nejprve uvedeno ekonomické zhodnocení aktuálního montážního pracoviště. Dále jsou uvedeny potřebné náklady na pořízení optimalizační varianty. Následně jsou uvedeny potřebné provozní náklady na robota. Posléze jsou zhodnoceny celkové potřebné náklady spojené s optimalizační variantou.

V současné době je výrobní linka schopna vyprodukovat 15 000 tun keramických komínových vložek ročně. Pro obsluhu linky je potřeba celkem 6 pracovníků. Počet pracovníků je stanoven na základě celkového počtu pracovních dnů za rok a denního/ročního limitu manipulace pracovníka. Pro výpočet je nutné uvést roční náklady na celkový počet zaměstnanců potřebných pro obsluhu výrobní linky. Pro přehled byla vytvořena tabulka, ve které jsou zahrnuty potřebné informace k ekonomickému zhodnocení.

Tabulka 4: Ekonomické zhodnocení manuálního pracoviště

Kapacita výrobní linky [t/rok]	15000
Denní limit manipulace pracovníka [t]	10
1 směna	
5 dní (Po – Pá)	
Celkový počet pracovních dnů za rok [-]	250
Celková manipulace pracovníka [t/rok]	2500
Potřebný počet pracovníků na obsluhu linky [-]	6
Roční náklady na jednoho pracovníka [Kč]	550000
Roční náklady na celkový počet pracovníků [Kč]	3300000

Následující tabulka byla vytvořena pro odhad celkových investičních nákladů potřebných pro pořízení komponentů k sestavení navržené optimalizační varianty. Pod položkou spojovací materiál jsou uvedeny šrouby, matice, držáky kabelových svazků a podobné spojovací komponenty. Poslední položkou na soupisu je odhad ceny za montáž.

Tabulka 5: Soupis materiálu optimalizační varianty z hlediska ceny

Optimalizační varianta			
Soupis materiálu	Počet [-]	Cena za kus [Kč]	Součet [Kč]
Základní nosný profil	1	800	800
Ocelový uzavřený profil	10	500	5000
Základní kloub	10	300	3000
Hliníkový úchop	10	5000	50000
Spojovací kloub	20	300	6000
Prodloužení	10	600	6000
Horní kloub	10	300	3000
Montážní držák	5	200	1000
Aktuátor	5	3500	17500
Čep	30	50	1500
Profily pro upevnění rázového zař.	4	300	1200
Solenoid	5	1500	7500
Pryž pro zlepšení úchopu	10	500	5000
Montážní příruba	1	6000	6000
Difuzní senzor	2	2000	4000
Ultrazvukový senzor	1	10000	10000
Spojovací materiál			7000
Montáž			15000
Celkový součet [Kč]			149500

V následující tabulce jsou stanoveny celkové provozní náklady robota. Základním parametrem pro výpočet je příkon robota uveden v kilowattech. Dále je stejně jako v tabulce 4 zohledněn celkový počet pracovních dnů za rok. Průměrná cena za kWh byla stanovena na základě aktuální sazby.

Tabulka 6: Položky pro výpočet provozních nákladů robota

Příkon robota [kW]	5
Celkový počet pracovních dnů za rok [-]	250
Počet hodin za směnu [h]	7,5
Průměrná cena za 1 kWh [Kč]	4
Celkový součet [Kč/rok]	37500

Celkové provozní náklady robota činní 37 500 Kč ročně. Dále je ještě nutné započítat náklady na komponenty, které se postupem času opotřebí. Pod touto položkou jsou uvedeny např. hliníkové úchopné čelisti nebo gumový materiál pro zlepšení stykových vlastností. Cena byla odhadnuta zhruba na 30 000 Kč ročně.

Tabulka 7: Souhrn nákladů spojených s optimalizační variantou

Náklady na pořízení optimalizační varianty [Kč]	150000
Provozní náklady robota [Kč/rok]	37500
Provozní náklady z hlediska opotřebení komponentů [Kč/rok]	30000
Robot KUKA KR 120 R3900 Ultra K [Kč]	1000000

V předchozí tabulce jsou shrnuty potřebné investiční náklady spojené s navrženou optimalizační variantou. Nejprve jsou uvedeny náklady na pořízení optimalizačního návrhu, které byly stanoveny na základě tabulky 5 přibližně na 150 000 Kč. Náklady spojené s provozem robota byly podloženy tabulkou 6. Provozní náklady z hlediska opotřebení v hodnotě 30 000 Kč byly odhadnuty na základě počátečních nákladů a odhadu doby opotřebení komponentů. V neposlední řadě je potřeba uvažovat náklady spojené s pořízením robota, které činí zhruba 1 milion korun.

V tomto případě není zohledněna návratnost investice, neboť se jedná pouze o úvodní proces automatické linky. Automatická linka bude dále obsahovat např. robotický manipulátor pro odebírání jednotlivých kusů KKV ze sloupce nebo zařízení pro automatickou kontrolu apod. Návratnost bude nejspíše stanovena až v rámci kompletního řešení automatické linky.

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat návrh a zároveň s ním i konstrukční řešení úchopného prvku, který bude využíván ve společnosti P-D Refractories CZ a.s. pro manipulaci celého sloupce keramických komínových vložek. Diplomová práce byla rozdělena do několika částí.

Diplomová práce byla zahájena obecnou rešerší týkající se optimalizace výrobních procesů. V této kapitole byl nejprve vysvětlen výrobní proces, který byl následně rozdělen do kategorií podle požadavků technologického projektování. Poté byla uvedena oblast zaměření technické přípravy výroby. V závěru kapitoly byly uvedeny optimalizační metody a postupy, které se v podnicích používají.

V další části diplomové práce byla zpracována kapitola s názvem Automatizace. V první řadě přinesla definici tohoto pojmu. Následně byly uvedeny hlavní důvody, kvůli kterým je ve výrobních, ale i nevýrobních podnicích, automatizace stále častěji diskutována a používána. Také byly popsány oblasti, v nichž se s automatizací může člověk nejčastěji setkat.

Následující kapitola byla zaměřena na průmyslové roboty a manipulátory. Zde byla na začátek uvedena krátká definice. Dále bylo vysvětleno kinematické složení akčních členů. Poté byly průmyslové roboty a manipulátory rozděleny podle provedení a stupně řízení. Jednotlivé druhy, které byly obsaženy v rozdělení, byly následně charakterizovány v podkapitolách. Průmyslové roboty a manipulátory je možno rozdělit také podle uspořádání kinematické struktury. I toto rozdělení bylo v uvedené části zahrnuto. V rámci tohoto rozdělení byly popsány konkrétní typy sériové kinematické struktury a krátká definice k paralelním a kombinovaným strukturám.

V Další kapitole byly představeny pracovní hlavice. V úvodu kapitoly byla uvedena stručná charakteristika, na kterou bylo navázáno složením a popisem jednotlivých komponentů základních pracovních hlavic. Dále bylo uvedeno rozdělení pracovních hlavic podle typů aplikací, k nimž se v průmyslových podnicích používají. Posléze byly pracovní hlavice rozděleny na konkrétní typy. Jednotlivé typy byly následně detailně charakterizovány v podkapitolách.

Nadcházející kapitola byla zaměřena na pohony. Zde byly uvedeny nejčastější typy pohonů pro strojírenské použití. Nejprve bylo uvedeno krátké vysvětlení, které bylo doplněno rozdělením pohonů podle typu vstupní energie. Na základě rozdělení byli charakterizováni jednotliví zástupci včetně výhod a nevýhod.

V následující kapitole diplomové práce byla zpracována analýza vybraného procesu výroby. Zde byla nejprve představena společnost P-D Refractories CZ a.s. Dále byly charakterizovány keramické komínové vložky. Následoval popis technologických procesů, které

ve společnosti probíhají pro výrobu keramických komínových vložek. Posléze byly vymezeny zásadní požadavky a faktory, které je potřeba zohlednit při navrhování optimalizační varianty.

Následně byla diplomová práce zaměřena na návrh optimalizačních řešení. Nejprve byl uveden návrh a zhodnocení tvaru prototypu úchopného prvku. Dále byly diskutovány materiály použité pro konstrukční řešení prototypu. Poté byla oblast návrhu zaměřena na výběr pohonu a řídicí jednotky pro ovládání úchopných čelistí. Následně bylo navrženo rázové zařízení, jehož funkční částí je oddělení jednotlivých komínových vložek ve sloupci od sebe. V neposlední řadě byl zohledněn návrh senzorů pro příslušné adaptivní vlastnosti. Na základě navržených prototypů byly vytvořeny finální konstrukční řešení optimalizačních variant. Tyto varianty byly mezi sebou porovnány a zvoleno bylo jedno konkrétní řešení, jenž bude použito pro optimalizaci vybraného procesu výroby. Konečné optimalizační řešení bylo v závěru zhodnoceno z hlediska předem vymezených požadavků pro optimalizaci. V poslední části této kapitoly byl pro optimalizační variantu navržen robot od společnosti KUKA. U zvoleného modelu byly ověřeny parametry jmenovité nosnosti a rozsah pracovní oblasti ramene.

Závěrečnou kapitolou diplomové práce bylo celkové zhodnocení navrženého optimalizačního řešení z technicko-ekonomického hlediska. V technickém zhodnocení byla ověřena funkčnost navrženého optimalizačního řešení. V ekonomickém zhodnocení byly uvedeny potřebné investiční náklady pro realizaci optimalizace procesu výroby.

## Seznam použité literatury

- [1] ZELENKA, Antonín a Mirko Král. Projektování výrobních systémů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01302-2.
- [2] DOSTÁL, Dušan. Co je to vlastně LEAN management [online]. LinkedIn, 2021 [cit 2021-04-02]. Dostupné z: [https://cz.linkedin.com/pulse/co-je-vlastně-lean-management-dušan-dostál?trk=articles\\_directory](https://cz.linkedin.com/pulse/co-je-vlastně-lean-management-dušan-dostál?trk=articles_directory).
- [3] LACKO, Branislav. Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-246-7.
- [4] OPLATEK, František. Automatizace a automatizační technika: Automatické systémy. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-249-1.
- [5] MÁDL, Jan a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. Technologie obrábění 2. díl. 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [6] KOLÍBAL, Zdeněk. Průmyslové roboty I. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM). 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0526-0.
- [7] ANDRLÍK, Vladimír a kolektiv. Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd. Praha: ČVUT ústav výrobních strojů a zařízení, 2012.
- [8] ADAMEC, Jaromír. Technologie automatizovaných výrob. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita, 2006. ISBN 80-248-0871-4.
- [9] TALÁCKO, Jaroslav. Automatizace výrobních strojů a zařízení. Praha: ČVUT, 2000.
- [10] KOLÍBAL, Zdeněk. Průmyslové roboty. Základní učební text. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické, 2014.
- [11] RUMÍŠEK, Pavel. Automatizace ( roboty a manipulátory ). Brno: Fakulta strojního inženýrství, 2003.

- [12] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [13] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. Konstrukce robotů. 1 vyd. Liberec – Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7.
- [14] HORNÍČEK, Tomáš. Hydraulické a pneumatické pohony ve strojírenství | MM Průmyslové spektrum [online]. MM Průmyslové spektrum, 2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hydraulicke-a-pneumaticke-pohony-ve-strojirenstvi>.
- [15] P-D Refractories CZ a.s. [online]. Velké Opatovice: P-D Refractories CZ a.s., [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz>.
- [16] KYNCL, Jiří, Tomáš Kellner, Pavel Kovář a Miroslav Kotouček. Inovace keramických komínových vložek – TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kominy-a-kourovody/19447-inovace-keramickyh-kominovych-vlozek>.
- [17] Komínová keramická vložka základní DN 200 mm, PD-Refractories CZ • SuperKomíny.cz [online]. SUPERKOMÍNY s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.superkominy.cz/shop/kominove-komponenty/kominove-vlozky/kominova-keramicka-vlozka-zakladni-pd-prumer-200-mm/>.
- [18] MOUDRÝ, Kamil. Návrh automatické linky pro kontrolu kvality [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-05-06]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie. Vedoucí práce Ing. Jiří Kyncl, Ph.D. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89977/F2-DP-2020-Moudry-Kamil-DP-Moudry\\_Kamil.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89977/F2-DP-2020-Moudry-Kamil-DP-Moudry_Kamil.pdf?sequence=-1&isAllowed=y).
- [19] Lineární aktuátory [online]. Dcmotory.cz, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.dcmotory.cz/dc-aktuatory/>.

- [20] Potenciometry | RS Components [online]. RS Components Sp. z o.o., [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/pasivni-soucasti/promenne-rezistory/potenciometry/>.
- [21] Hallový snímače – dodávka do příštího dne | RS Components [online]. RS Components Sp. z o.o., [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/automatizace-a-ridici-zarizeni/snimace/hallovyy-snimace/>.
- [22] Řídící jednotka elektrického pohonu RS PRO | RS Components [online]. RS Components Sp. z o.o., [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/ovladace-linearnich-aktuatoru/1774525/>.
- [23] Lineární solenoidy | RS Components [online]. RS Components Sp. z o.o., [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/automatizace-a-ridici-zarizeni/solenoidy/linearni-solenoidy/>.
- [24] Linear Solenoids | Kendrion [online]. Kendrion N.V., 2021 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.kendrion.com/en/products/solenoids-actuators/linear-solenoids>.
- [25] Tvrdost podle Brinella [online]. Proinex Instruments s.r.o., 2017 [cit. 2021-05-31]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost-podle-brinella.html>.
- [26] Tvrdost podle Rockwella [online]. Proinex Instruments s.r.o., 2017 [cit. 2021-05-31]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost-podle-rockwella.html>.
- [27] Tvrdost podle Vickerse [online]. Proinex Instruments s.r.o., 2017 [cit. 2021-05-31]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost-podle-vickerse.html>.
- [28] Tvrdost podle Knoopu [online]. Proinex Instruments s.r.o., 2017 [cit. 2021-05-31]. Dostupné z: <http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost-podle-knoopa.html>.
- [29] Ultrazvukové snímače | AXIMA Solutions [online]. Axima spol. s.r.o., [cit. 2021-06-04]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/polohove-snimace/ultrazvukove-snimace>.



[30] Difuzní optické snímače | AXIMA Solutions [online]. Axima spol. s.r.o., [cit 2021-06-04]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/opticke-snimace-a-kamerove-systemy/opticke-snimace/difuzni>.

[31] KR QUANTEC | KUKA AG [online]. KUKA AG, 2021 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/roboticke-systemy/prumyslové-roboty/kr-quantec>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení výrobního procesu [1] .....	10
Obrázek 2: Důvody pro zavádění automatizace [3].....	14
Obrázek 3: Translační kinematické dvojice [7] .....	17
Obrázek 4: Rotační kinematické dvojice [7] .....	17
Obrázek 5: Rotační kinematické dvojice [7] .....	18
Obrázek 6: Rozdělení PRAm podle provedení a stupně řízení [7].....	19
Obrázek 7: Jednoúčelový manipulátor [7] .....	20
Obrázek 8: Rozdělení PRAm podle kinematické struktury [7] .....	22
Obrázek 9: Kartézský (pravoúhlý) souřadnicový systém [6] .....	23
Obrázek 10: Cylindrický (válcový) souřadnicový systém [6] .....	24
Obrázek 11: Sférický (kulový) souřadnicový systém [6] .....	25
Obrázek 12: Angulární pohybová struktura [7] .....	26
Obrázek 13: Paralelní kinematické struktury [7] .....	27
Obrázek 14: Kombinované kinematické struktury [7].....	28
Obrázek 15: Struktura obecné pracovní hlavičky [12] .....	30
Obrázek 16: Typy aplikací v průmyslových odvětvích [11] .....	31
Obrázek 17: Typy pracovních hlavic [7] .....	32
Obrázek 18: Základní typy pružných deformačních přísavek [10] .....	34
Obrázek 19: Typy aktivních mechanických úchopných hlavic [12] .....	35
Obrázek 20: Kinematické struktury aktivních mechanických úchopných hlavic s převodem T2 [10].....	36
Obrázek 21: Varianta aktivní podtlakové úchopné hlavičky [10] .....	37
Obrázek 22: Požadavky kladené na pohony [12] .....	40
Obrázek 23: Základní rozdělení pohonů [13] .....	41
Obrázek 24: Rozdělení pohonů podle druhu vstupní energie [13] .....	42
Obrázek 25: Výrobní závod Dinas Svitavy [15].....	46
Obrázek 26: Základní keramické komínové vložky [15] .....	48
Obrázek 27: Další tvary keramických komínových vložek [17] .....	48
Obrázek 28: Sloupce KKV umístěné na pecních vozech [15].....	50
Obrázek 29: Návrh automatické linky pro kontrolu kvality KKV [18].....	51
Obrázek 30: Původní náčrty tvaru prototypu .....	54
Obrázek 31: 1. Návrh – pevný návrh .....	55
Obrázek 32: 2. Návrh – pohyblivý návrh.....	56

Obrázek 33: Konstrukční návrhy opatřeny gumovým materiálem .....	57
Obrázek 34: Rozměry lineárního aktuátoru série LD3 [19] .....	58
Obrázek 35: Lineární aktuátor série LD3 s Hallovými senzory [19].....	60
Obrázek 36: Závislost rychlosti na zatížení lineárního aktuátoru série LD3 [19] .....	61
Obrázek 37: Typy předního uchycení lineárního aktuátoru série LD3 [19].....	62
Obrázek 38: Řídící jednotka série CI10 [22] .....	63
Obrázek 39: Montážní držák pro lineární aktuátor série LD3 [19] .....	63
Obrázek 40: 1.Návrh – pevný návrh s lineárním aktuátorem v otevřeném stavu .....	64
Obrázek 41: Pevný návrh s lineárním aktuátorem v zavřeném a otevřeném stavu .....	64
Obrázek 42: 2. Návrh – pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v otevřeném stavu .....	65
Obrázek 43: Pohyblivý návrh s lineárním aktuátorem v zavřeném a otevřeném stavu.....	65
Obrázek 44: Jednočinný solenoid [24] .....	67
Obrázek 45: Umístění rázového zařízení u pevného návrhu .....	68
Obrázek 46: Umístění rázového zařízení u pohyblivého návrhu.....	69
Obrázek 47: Ultrazvukový polohový snímač UMT 30-350-PSD-L5 [29].....	70
Obrázek 48: Difuzní optický snímač FT 18-2 IDM-PS-L4 [30] .....	71
Obrázek 49: Finální konstrukce pevného návrhu – pohled zezadu, shora a zleva.....	72
Obrázek 50: Finální konstrukce pevného návrhu – 3D pohled a návrh v otevřeném stavu .....	72
Obrázek 51: Finální konstrukce pohyblivého návrhu – pohled zezadu, shora a zleva .....	73
Obrázek 52: Finální konstrukce pohyblivého návrhu – 3D pohled a návrh v otevřeném stavu .....	73
Obrázek 53: Optimalizační varianta při zohlednění rozmístění sloupců KKV .....	75
Obrázek 54: Konstrukční návrhy pro upevnění rázových zařízení.....	76
Obrázek 55: Optimalizační návrh v uzavřeném a otevřeném stavu .....	77
Obrázek 56: Finální konstrukční řešení optimalizační varianty .....	78
Obrázek 57: Finální konstrukční návrh – pohled zleva a shora.....	78
Obrázek 58: Finální konstrukční návrh – 3D pohled.....	79
Obrázek 59: Robot KUKA KR 120 R3900 Ultra K [31].....	82
Obrázek 60: Pracovní zóna robota KUKA KR 120 R3900 Ultra K [31] .....	83
Obrázek 61: Dispoziční řešení při zohlednění extrémních míst pecního vozu.....	84
Obrázek 62: Odebírání jednotlivých krajních sloupců z pecního vozu .....	85
Obrázek 63: Návrh odebírání sloupců KKV z pecního vozu .....	85
Obrázek 64: Optimalizace procesu výroby .....	88

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry lineárních aktuátorů série LD3 [19] .....	58
Tabulka 2: Zhodnocení konstrukčních návrhů .....	74
Tabulka 3: Soupis materiálu optimalizační varianty z hlediska jmenovité hmotnosti .....	80
Tabulka 4: Ekonomické zhodnocení manuálního pracoviště .....	89
Tabulka 5: Soupis materiálu optimalizační varianty z hlediska ceny .....	90
Tabulka 6: Položky pro výpočet provozních nákladů robota .....	90
Tabulka 7: Souhrn nákladů spojených s optimalizační variantou .....	91

## Seznam zkratk

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
Kč	korun českých
KKV	keramické komínové vložky
km	kilometr
kPa	kilopascal
kW	kilowatt
max.	maximální/maximálně
mm	milimetr
mm/s	milimetr za sekundu
N	newton
ot/min	otáček za minutu
PRaM	průmyslové roboty a manipulátory
resp.	respektive
t	tun
tzv.	takzvaně
zař.	zařízení