

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2023

**TOMÁŠ
VÁGNER**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vágnér** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **473592**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh linky lepených keramických komínových vložek

Název diplomové práce anglicky:

Design of Production Line of Glued Ceramic Chimney Pipes

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše použitých výrobních technologií.
2. Analýza současného stavu výroby lepených KKV.
3. Návrh části linky lepených KKV.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Kyncl ústav řízení a ekonomiky podniku FS

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

Datum zadání diplomové práce: **31.03.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Martin Kyncl
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Návrh linky lepených keramických komínových vložek vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznam použité literatury.

.....

Datum

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Martinu Kynclovi za odborné vedení, především ale za ochotu a vstřícnost po celou dobu trvání projektu. Dále bych rád poděkoval společnosti P-D Refractories a jejím zaměstnancům, zejména Bc. Jiřímu Hromádkovi, za možnost podílet se na tomto projektu, jakož i za informace, které mi za tímto účelem byli poskytnuty, a Ing. Tomáši Hronovi za odbornou konzultaci.

Mimo to bych velice rád poděkoval své matce Lence Vágnerové za podporu během studia i všechno ostatní a svému bratranci Vladimíru Karbanovi, nebýt jehož mimořádně obětavé pomoci bych nikdy nemohl studium na této škole započít.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svému úžasnému učiteli Jiřímu Iltisovi a mým skvělým mistrům Františkovi Stránskému a Milanu Nejedlému za to, že ve mně vyvolali nadšení pro tento obor a navedli mne na tuto cestu.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem části linky lepených keramických komínových vložek, konkrétně tvorbou tvarových výřezů. Ve své úvodní části zpracovává problematiku průmyslových robotů, manipulátorů a koncových efektorů. Druhá část je věnována společnosti P-D Refractories a jejímu výrobnímu programu. Následující oddíl prezentuje vlastní návrh výrobní linky, definuje jednotlivé procesy a použité technologie. Závěrečná část je věnována finanční kalkulaci realizace návrhu a následných provozních nákladů.

Klíčová slova:

Automatizace; výrobní linka; průmyslové manipulátory a roboty; koncový efektor; keramické komínové vložky; žáruvzdorné materiály

Abstract

This diploma thesis deals with the design of a section of a line for glued ceramic chimney pipes, specifically focusing on the creation of shaped cutouts. In its introduction it addresses the issues of industrial robots, manipulators and end effectors. Second part is dedicated to the company P-D Refractories and its production program. The following section presents the design of the production line, defines individual processes and used technologies. The final part is dedicated to financial calculation of the projected implementation and subsequent operating costs.

Key words:

Automation; production line; industrial manipulators and robots; end effector; ceramic chimney pipes; refractory materials

Obsah

Úvod	9
1. Automatizace a její metody	10
1.1 Definice pojmu	10
1.2 Proč automatizujeme.....	10
2. Průmyslové manipulátory	13
2.1 Princip fungování průmyslových manipulátorů a manipulátorů robotu	14
2.2 Základní konstrukce průmyslových manipulátorů a robotů	17
3. Efektory	25
3.1 Princip fungování efektoru	26
3.2 Konstrukce efektorů.....	27
3.3 Manipulační hlavice	28
3.4 Technologické hlavice	44
3.5 Senzorické hlavice	48
3.6 Kombinované hlavice	49
3.7 Speciální hlavice.....	50
4. O společnosti P-D Refractories.....	51
4.1 Seznámení se společností.....	51
4.2 Keramické komínové vložky.....	52
5. Analýza současného stavu.....	58
5.1 Momentální stav výroby	58
5.2 Rozvaha	61
6. Návrh řešení	62
6.1 Zadání.....	62
6.2 Výsledný návrh	63
6.3 Vstup.....	66
6.4 Průmyslový robot a jeho efektor	67

6.5 Upnutí	70
6.6 Dopravníky	74
6.7 Tvorba výřezů	77
6.8 Odpad	78
6.9 Pracoviště lepení	79
7. Technicko-ekonomické zhodnocení	80
7.1 Technologické zhodnocení	80
7.2 Ekonomické zhodnocení	81
Závěr	83
Citovaná literatura	85
Seznam obrázků	92
Seznam tabulek	96
Seznam zkratk	97

Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvořit pro společnost P-D Refractories návrh části linky lepených tvarových keramických komínových vložek. Jedná se o skutečný projekt, který bude v následujících letech v závodu Dinas Svitavy realizován a při němž budou výstupy této práce použity.

První kapitola tohoto diplomového projektu nabízí stručné shrnutí předností automatizace a důvodů, které nás k této činnosti vedou.

Druhá část obsahuje řešerši problematiky průmyslových robotů a manipulátorů. Popisuje principy jejich fungování, získávání informací a metody jejich řízení, na což navazuje shrnutí nejčastějších konstrukčních principů těchto zařízení.

Třetí, rovněž řešeršní, kapitola nabízí velmi obsáhlé seznámení s problematikou koncových efektorů. Velmi podrobně se zabývá konstrukcí a možnostmi mechanických a podtlakových, pasivních i aktivních úchopných hlavice. Následně se zaměřuje i na hlavice technologické, senzorické, kombinované a speciální.

V následující kapitole se práce překlápí do své praktické části a představuje společnost P-D Refractories. Nejdříve stručně shrnuje její historii a současnost a následně podrobně informuje o pro tuto práci klíčové části její produkce – keramických komínových vložkách.

Další z kapitol se zabývá současným stavem výrobního procesu. V první fázi přináší jeho zevrubný popis a následně provádí vlastní rozbor situace, jejích pozitiv i slabin.

Předposlední šestá kapitola nejdříve definuje zadání následně přináší výsledný návrh řešení. Nejdříve představuje nově vytvořenou výrobní linku jako celek a následně podrobně představuje její jednotlivé části, včetně rozboru důvodů vedoucích k právě takovému řešení.

Závěrečná kapitola přináší zhodnocení výsledného návrhu. Nejdříve ve zhodnocení technologickém posuzuje splnění zadaných cílů a následně ve zhodnocení ekonomickém sumarizuje investiční náklady nutné pro realizaci projektu a následné provozní náklady.

1. Automatizace a její metody

1.1 Definice pojmu

Termín automatizace obecně představuje soubor činností a procesů, které nahrazují práci lidí prací techniky.

Pro exaktnější vyjádření je dobré odlišit dva pojmy:

- Mechanizace – tedy nahrazování fyzické práce lidí (v minulosti i zvířat) prací strojů
- Automatizace – tedy nahrazování kromě fyzické i duševní práce lidí

[1] [2]

Platí tedy, že zatímco mechanizovaný proces vyžaduje i nadále lidskou invenci v podobě rozhodování, automatizovaný proces dokáže v různých mírách provést vyhodnocení situace a na základě toho učinit rozhodnutí – obvykle zvolit jednu z předem definovaných variant a může tak po delší dobu pracovat bez přímé účasti lidské obsluhy. [1] [2]

1.2 Proč automatizujeme

Důvody automatizace lze shrnout do několika bodů:

1.2.1 Odstranění náročné práce

Automatizovaná výroba může lidské pracovníky zbavit nutnosti vykonávat některé činnosti, které jsou pro ně z lidské podstaty problematické. Patří sem například:

- 1) Fyzicky náročné činnosti – činnosti, které nemohou lidé z důvodů ochrany zdraví dle norem BOZP dlouhodobě vykonávat. Jedná se typicky o manipulaci z těžkými břemeny.
- 2) Dlouhodobé repetitivní činnosti – neustále se opakující rutinní úkony nejsou pro lidské pracovníky dlouhodobě příliš vhodné, jednak z hlediska psychologického (lidé, kteří dlouhodobě vykonávají tutéž neměnnou činnost mají tendenci k frustraci a psychické únavě), tak ergonomického (dlouhodobá zátěž stále týchž svalů zvyšuje pravděpodobnost pracovního úrazu).
- 3) Práce se zvýšenými riziky – může se jednat o práce se zdravím ohrožujícími materiály nebo ve zdravím ohrožujících prostředích. Takovéto činnosti jsou problematické jak z pohledu nutnosti zajistit pracovníkům adekvátní ochranu zdraví (což není vždy jednoduché a skoro vždy to vyžaduje značné investice), tak z pohledu motivace pracovníků dodržet veškeré náležitosti jejich činností, neboť ochranné pomůcky jako například plynové masky či gumové ochranné obleky jsou obvykle značně nekomfortní

a velká část pracovníků má tudíž silnou tendenci vykonat svěřenou činnost co možná nejrychleji, což nezřídka znamená ne zcela svědomité splnění povinností.

[1] [3] [4] [5]

1.2.2 Zajištění opakovatelnosti výroby

Velkou předností automatizované výroby je její opakovatelnost. Zatímco žádný lidský pracovník nedokáže vytvořit dva výrobky zcela stejné a výsledná kvalita je časově proměnná, strojová výroba drží (s výjimkou určitého opotřebení nástrojů apod.) stabilní kvalitu v průběhu celé výrobní série.

[4] [6]

1.2.3 Snížení počtu neshodných výrobků

Je samozřejmostí, že lidští pracovníci mají vyšší „zmetkovitost“ než stroje.

1.2.4 Zajištění stability výrobního procesu

Jednou z hlavních předností automatizovaného výrobního procesu je jeho stabilita, a to jak ve smyslu opakovatelnosti výroby (viz. výše), tak ve smyslu konstantnosti tempa, plynulosti výstupů a prevence nepředvídatelných výkyvů.

Automatizovaná výrobní linka může jednoduše pracovat čtyřicet hodin denně, sedm dní v týdnu. Lidský pracovník oproti tomu může pracovat jen osm hodin denně, čtyřicet hodin týdně. To vyžaduje pravidelné střídání zaměstnanců, které s sebou nese řadu běžných problémů, jako jsou například:

- 1) Pozdní příchod zaměstnance na směnu – následkem musí pracovník z předešlé směny pracovat přes čas, což vede v lepším případě k osobním neshodám a následně negativní atmosféře na pracovišti, v horším i k administrativním komplikacím.
- 2) Nemocenská – v případě náhlého onemocnění zaměstnance je třeba velmi rychle obstarat náhradu v podobě jiného zaškoleného pracovníka, a pokud jich není dostatek (například v obdobích zvýšeného výskytu respiračních onemocnění nebo v malých firmách), může věc vést až k nutnosti přesčasů, nebo dokonce dočasnému pozastavení výroby z důvodu nedostatku pracovních sil.
- 3) Nutnost pravidelných přestávek – zaměstnanci mají dle zákoníku práce a BOZP nárok na přestávky během pracovní doby, přičemž není vždy snadné tyto přestávky organizovat tak, aby byl zachován plynulý výrobní proces. V menších a středních firmách je proto běžné, že se po dobu přestávek provoz přerušuje.
- 4) Zaučování nových pracovníků – zatímco automatizovaný proces je po svém plnohodnotném uvedení do provozu schopen plnit svoje úkoly se stabilní výkonností,

lidé potřebují čas na zaučení, během něhož mají výrazně sníženou vlastní produktivitu a současně potřebují asistenci již zaškoleného pracovníka, jehož čas tak vážou na sebe a snižují i jeho produktivitu.

- 5) Dovolená – přestože je lze předem organizovat, můžou představovat obdobný problém jako nemocenská, protože většina zaměstnanců má zájem vybírat dovolenou ve shodných a relativně, relativně krátkých časových intervalech – typický je červenec a období Vánoc. To vede mnoho firem až k tzv. závodním dovoleným, tedy celkové odstávce provozu a plošnému vypsání dovolené všem zaměstnancům (obvykle bývá tato doba využívána k větším servisním akcím).

[3] [4] [6] [7]

Kromě těchto potíží organizačního charakteru jsou zde i menší, okamžité problémy spojené s lidským faktorem, mezi které můžou patřit například:

- 1) Okamžité indispozice pracovníků (například náhlá, neodkladná návštěva toalety nebo svalová křeč jsou u pracovníků na kontinuální lince vážnými problémy)
- 2) Neúspěšné provedení úkonu (pokud se na kontinuální lince některý úkon nepovede napoprvé, vzniká skluz, který často vyžaduje zásah další osoby)
- 3) Nedisciplinovanost

[3] [4] [6] [7]

Ze všech zde vyjmenovaných faktorů je zřejmé, že automatizace je především v případech hromadné a velkosériové výroby velmi dobrou cestou, jak dosáhnout efektivní, předvídatelné a stabilní produkce. Stejně tak platí, že přestože se mohou lidští pracovníci (hlavně v případě nekvalifikované pracovní síly) zdát v porovnání s moderními technologiemi relativně levní, po započtení nejen jejich hrubých mezd, ale i všech ostatních nákladů (ochranné pomůcky, pracovní oděv,...) se celková cena práce značně zvýší, a pokud tuto část následně vynásobíme třemi (neboť na jedné pozici se v třisměnném provozu vystřídají minimálně tři zaměstnanci), dostáváme již značnou částku, která v dlouhodobějším horizontu ve většině případů překračuje náklady na zavedení a provoz automatizované výroby. [4] [5] [7] [8]

2. Průmyslové manipulátory

Za průmyslové manipulátory, obvykle nazývané zjednodušeným pojmem roboty, považujeme zařízení, která splňují alespoň některé z následujících znaků:

- 1) Schopnost manipulace s objekty – a to jak ve smyslu úchopu a přemístění, tak i ve smyslu práce s nimi.
- 2) Univerzálnost užití – základní zařízení (tedy bez efektorů či jiných nástrojů) by mělo být možné užívat pro různé účely.
- 3) Schopnost vnímání prostředí – zařízení tohoto typu (obzvláště ta montážní) jsou osazována různými čidly, která nahrazují smyslové vnímání lidských pracovníků (typickým příkladem jsou doteková polohovací čidla, umožňující precizní zasazení součástí na základě detekce tlaků a jejich vektorů).
- 4) Autonomní chování – zařízení musí samostatně zvládat plnění úkolů dle výrobního programu.
- 5) Prostorová soustřednost (integrovanost) – zařízení tohoto typu by měla být integrovaná do jednoho samostatného celku. Nepatří sem tedy tzv. stavebnicové stroje. Manipulátor by měl být přemístitelný a přeprogramovatelný jako jeden výrobní celek – tedy bez nutnosti jeho demontáže.

[8] [9]

Pro úplnost definice je dobré zdůraznit, že obecný pojem robot není v tomto případě zcela přesný, protože tento termín definuje zařízení schopné samostatného vyhodnocování situace, což ani zdaleka nespĺňují všechna zařízení spadající do kategorie průmyslových manipulátorů. Označení robot je vhodné pro zařízení vykonávající činnosti blížící se svou složitostí obvyklým úkonům lidského pracovníka – typicky o něm můžeme mluvit u těch manipulátorů, jejichž řídicí systém na základě informací ze senzorů průběžně generuje vlastní dráhy pro právě danou situaci (znovu jsou typickým příkladem zařízení pro přesnou montáž, která při zapolohovávání komponent mohou jezdit po povrchu součásti, dokud polohová čidla nedetekují pokles odporu, a teprve pak zahajují proces zasazení). Termín průmyslový manipulátor potom typicky náleží zařízením „bez vlastní inteligence“ – tedy zařízením, která jen vykonávají předem naprogramované pohyby v pravidelných cyklech bez vlastní invence. Je však důležité nezaměňovat termíny „průmyslový manipulátor“ a „manipulátor robotu“, kde druhý jmenovaný označuje mechanickou část průmyslového robotu (zvaný také mechanický subsystém robotu nebo akční subsystém).

[8] [9] [10]

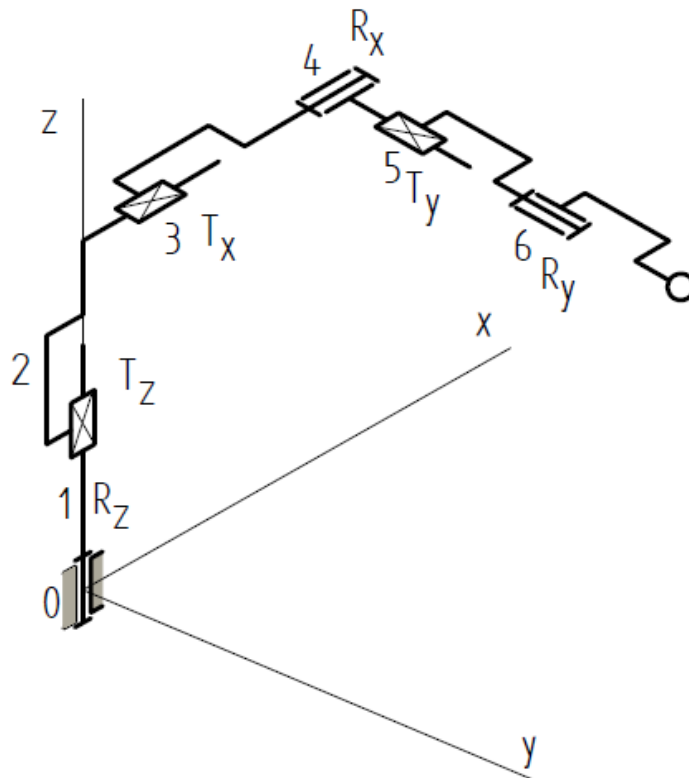
2.1 Princip fungování průmyslových manipulátorů a manipulátorů robotu

V této kapitole je mým cílem popsat základní principy fungování průmyslových manipulátorů a manipulátorů robotu. Zdůrazňuji, že se jedná jen o velmi úzké, zjednodušené pojetí, neboť tato problematika je velice obsáhlá, a není ani hlavním tématem této práce.

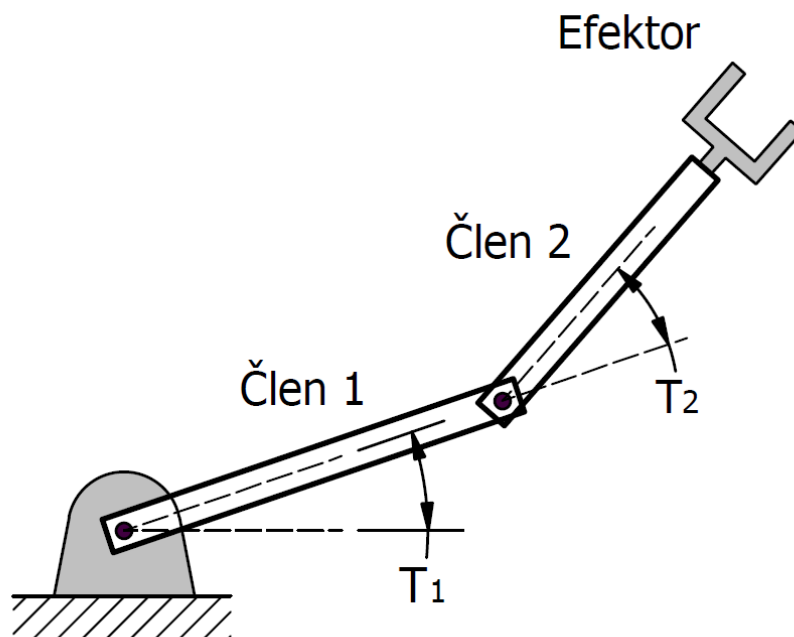
2.1.1 Mechanická podstata

Manipulátory lze v základním principu popsat jako soustavu kinematických dvojic, které mohou mít buď posuvný (translační) nebo rotační charakter. Naprostá většina zařízení tohoto druhu pak vychází z principu, že každá tato dvojice má právě jeden stupeň volnosti, který může být polohován. [10] [11]

Vzhledem k tomu, že standardní fyzikální prostor je trojrozměrný, pro plné pokrytí pracovního prostoru potřebujeme pohyb v šesti osách – třech translačních, standardně značených T_x , T_y a T_z (tedy posuv ve směru os x , y a z) a třech rotačních, standardně značených R_x , R_y a R_z (tedy rotace kolem os x , y a z). Platí přitom, že jak je znázorněno na obrázku 2, posuvy i natočení jednotlivých částí se vzájemně sčítají. Většina průmyslových manipulátorů a manipulátorů robotu je tak tvořena sestavou šesti kinematických dvojic, kde každá má právě jeden stupeň volnosti. Příklad takové sestavy je znázorněn na obrázku 1. [10] [11]



Obrázek 1 Sestava průmyslového manipulátoru se šesti stupni volnosti (čísla 1 – 6 označují jednotlivé členy sestavy) [10]



Obrázek 2 Vzájemné natočení dvou členů ve vztahu k základní rovině [11] – upraveno

Z výše uvedeného je patrné, že tímto principem lze vytvořit celou řadu různých typů konstrukcí. V praxi toto číslo ještě narůstá, protože konstruktéři jsou při volbě počtu členů (a tedy i kinematických dvojic) v sestavě omezeni v podstatě jen fyzikálními limity a výkonností řídicí techniky. Běžně se tak setkáváme se zařízeními majícími sedm i více stupňů volnosti. Jako další samostatné osy jsou pak někdy považovány pohyblivé části efektoru. Na některé nejrozšířenější koncepce se proto zaměříme v kapitole 3. Efektoru.

2.1.2 Princip fungování

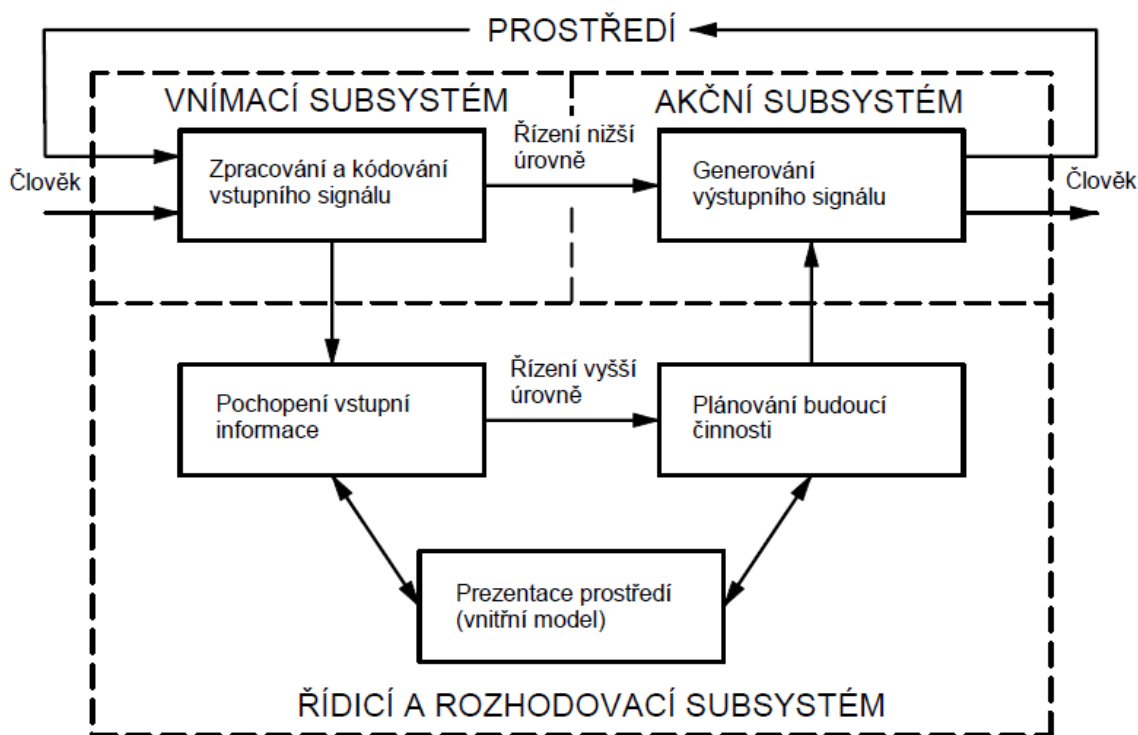
V předešlé části je definován základní princip mechanické soustavy manipulátoru. Ta ale pro svoji funkci potřebuje soustavu dalších strojních, hardwarových a softwarových prvků, které tvoří tzv. subsystémy. [10]

Standardně rozlišujeme tři základní:

- Akční subsystém
- Senzorický subsystém (někdy též nazýván vnímací)
- Řídicí subsystém

[10]

Základní schéma jejich spolupráce je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3 Schéma fungování a spolupráce tří základních subsystémů robotu [10]

2.1.3 Senzorický subsystém

Jak už z názvu vyplývá, tento subsystém v sobě zahrnuje veškeré senzory a sondy, které robotu, respektive řídicímu subsystému (či lidskému operátorovi) umožňují orientaci v prostředí a vyhodnocování momentální situace. Těmi nejzákladnějšími, zcela nezbytnými pro fungování zařízení, jsou snímač polohy a snímač rychlosti (spadají do kategorie tzv. snímačů vnitřních informací – tedy informací o ději v rámci robotu jakožto zařízení). Mimo nich jsou ale běžně užívány i například senzory síly, blízkosti dalších těles, ultrazvukové senzory nebo třeba kamery umožňující analýzu stavu z obrazu (spadají do kategorie tzv. snímačů vnějších informací – tedy informací o situaci v okolním prostředí). Kromě snímačů a senzorů jako takových spadá do této kategorie i elektronika, či přímo hardware, které tyto data zpracovávají, a případně i vyhodnocují pro potřeby řídicího subsystému. [8] [10] [11] [12] [13]

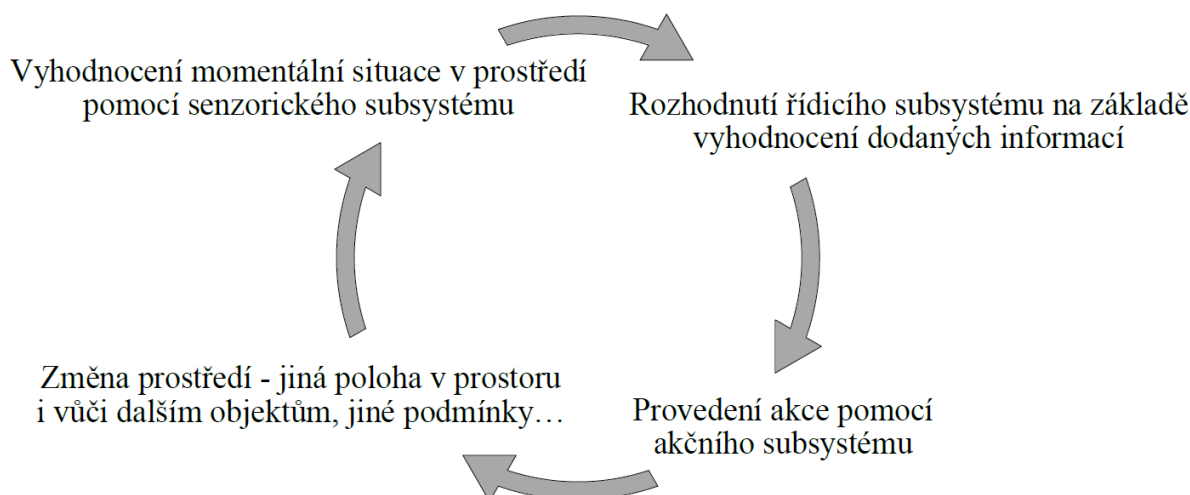
2.1.4 Řídicí subsystém

Řídicí subsystém představuje mozek celého zařízení – tedy řídicí software (spadá sem i jeho hardwarová část). Jeho účelem je provádět rozhodnutí na základě informací poskytovaných senzorickým subsystémem, s cílem splnit operátorem stanovené úkoly. Mezi jeho činnosti tak patří vytvoření, zapamatování, reprodukce a provedení programu. V případě vyspělejších systémů pak také jeho modifikace na základě okamžité situace. [8] [11] [12] [13]

2.1.5 Akční subsystém

Akční subsystémy v sobě zahrnují ty části, které umožňují na základě pokynů řídicího systému provádět akce, a tedy ovlivňovat prostředí. Patří sem ty části, které umožňují robotu pohyb – tedy především motory a jejich vlastní řídicí systémy, ale i všechny další akce (třeba změny teploty nebo spuštění elektromagnetu v rámci efektoru). [8] [10] [12] [13]

Z výše uvedeného tak vyplývá zjednodušené kruhové schéma znázorněné na obrázku 4.



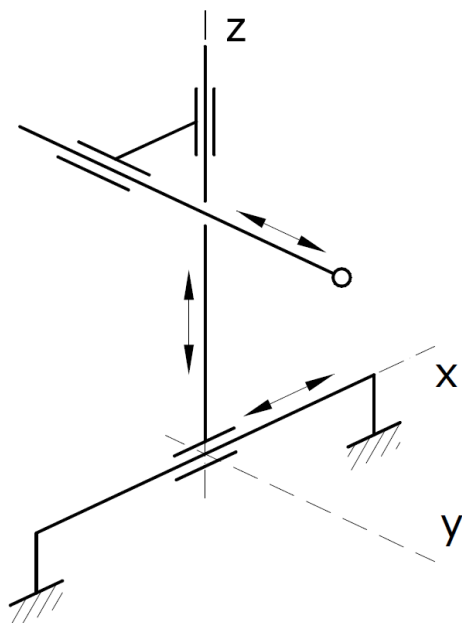
Obrázek 4 Praktické fungování jednotlivých subsystémů robotu [vlastní]

2.2 Základní konstrukce průmyslových manipulátorů a robotů

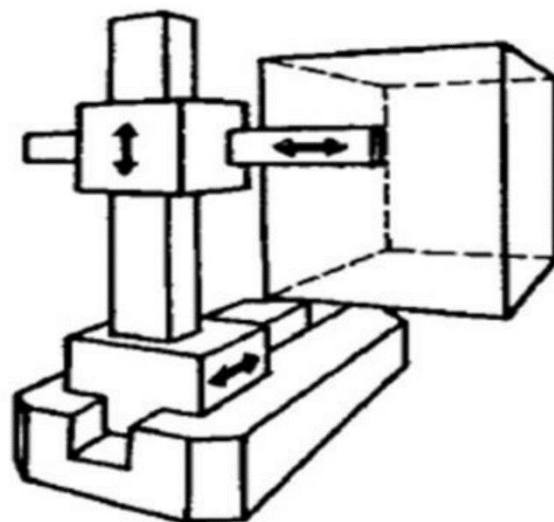
U průmyslových robotů a manipulátorů platí stejně jako u všech strojních zařízení, že konstruktér je omezen jen fyzikálními, technologickými (eventuálně také legislativními) limity a svou fantazií. I v tomto segmentu proto najdeme celou řadu různých univerzálních i specializovaných konstrukcí, z nichž některé jsou produkovány ve velkých sériích, zatímco v jiných případech se jedná o zcela unikátní kusy vytvořené pro konkrétní aplikaci. Přes tuto velkou diverzitu platí, že naprostá většina reálně užívaných zařízení vychází z několika základních konstrukčních koncepcí. Zde je stručný výčet těch nejrozšířenějších.

2.2.1 Kartézská konstrukce

Kartézská konstrukce znázorněná na obrázcích 5 až 7 umožňuje velmi univerzální použití. Principem je translační pohyb tří členů sestavy ve třech ortogonálních osách podle kartézských souřadnic, což vytváří kvádrový operační prostor. Velmi často bývá přidána čtvrtá – rotační osa, které umožní natáčení polohovaného předmětu kolem osy posledního členu (obvykle bývá součástí efektoru). [12] [14]



Obrázek 5 Kinematické schéma kartézského manipulátoru [10]



Obrázek 6 Znáznornění konstrukce a pracovního prostoru kartézského manipulátoru [46]

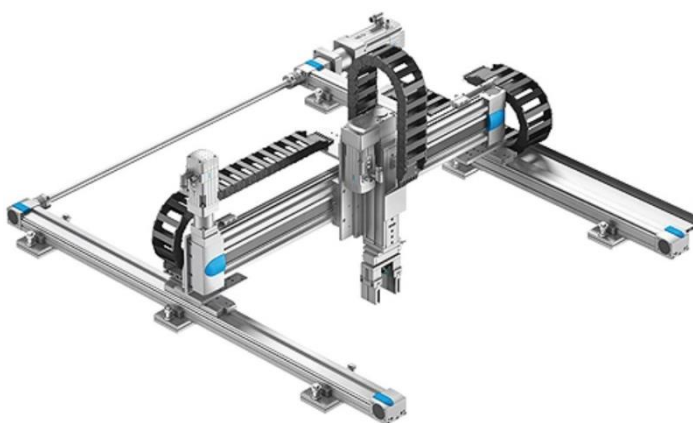
Jak je patrné, patří mezi hlavní výhody této konstrukce její jednoduchost. Je zcela ideální pro jednoduché úkony, ve kterých si vystačíme s prací ve třech základních rovinách, a během kterých se manipulátor nebude muset vyhýbat většímu množství překážek. S jednoduchou konstrukcí přichází taktéž relativně nízké pořizovací náklady (vztaženo k nejnámějším angulárním univerzálním robotům – viz 2.2.6 Angulární konstrukce) a nenáročné programování. Pozitivem je i velmi jednoduché zvýšení tuhosti a nosnosti zařízení, aniž bychom výrazně zvyšovali pořizovací náklady. Jednoduchá konstrukce s pouze třemi volnými vazbami rovněž snižuje celkovou chybu mechanismu, která je součtem chyb všech volných vazeb, a je tudíž logické, že zařízení s „pouze“ třemi (eventuálně čtyřmi) stupni volnosti dosahuje v součtu menší chybovosti oproti zařízením s větším počtem os. Taktéž lze podotknout, že jednodušší konstrukce zjednodušuje výrobu samotného manipulátoru, a tudíž i zmenšuje náklady nutné pro zvyšování přesnosti. Mezi nevýhody patří samozřejmě omezené možnosti pohybu a obcházení překážek, což ovšem velké množství aplikací nevyžaduje, a tak je tato koncepce stále velmi často využívána. [12] [14] [15] [16]

V konečném důsledku se tak jedná o velmi efektivní zařízení, které je často používáno v rámci stavebnicových strojů a výrobních linek. [12] [14] [15]

2.2.2 Portálová konstrukce

Portálový robot se příliš neliší od toho kartézského (některé publikace ho dokonce označují za jeho poddruh). Rozdílem je, že portálový manipulátor využívá ne jedenu, ale dvě osy X (a tedy i dva pohony v téže ose) paralelně, a propojuje je osou Y. Tím vzniká onen portál – portálová konstrukce. Rozdíl mezi portálovým a kartézským manipulátorem je naznačen na obrázcích 7 a 8. Výhoda takovéto konstrukce spočívá ve vyšší nosnosti.

[14] [15] [16]

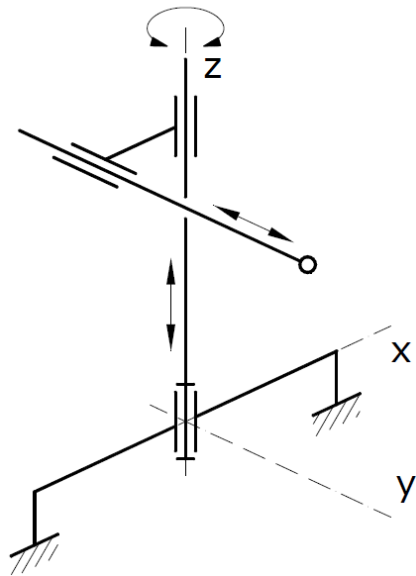


Obrázek 7 Kartézský manipulátor UMot [47]

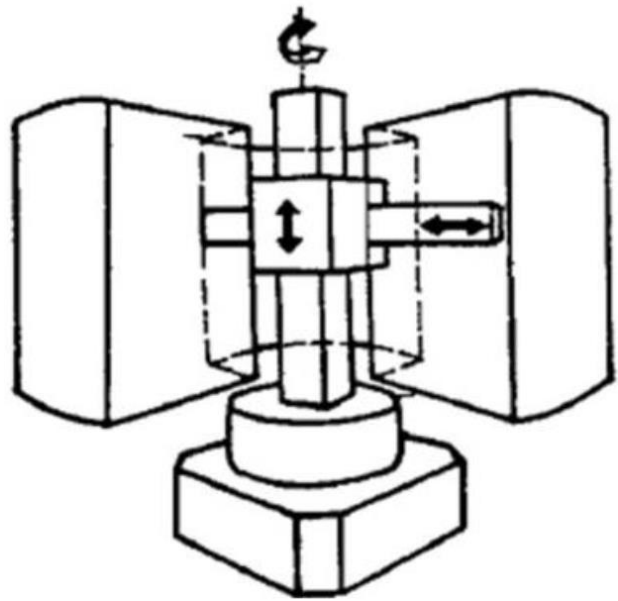
Obrázek 8 Portálový manipulátor [16]

2.2.3 Cylindrická konstrukce

Takováto konstrukce je tvořena dvěma členy, z nichž jeden koná rotační pohyb kolem své osy, zatímco druhý se podél ní pohybuje translačně a současně koná posuvný pohyb ve své vlastní ose. Dochází tedy ke dvěma pohybům translačním a jednomu rotačnímu, čímž vzniká válcový operační prostor. Mechanické schéma manipulátoru je znázorněno na obrázku 9 a na obrázku 10 je znázorněn pracovní prostor. [10] [14]



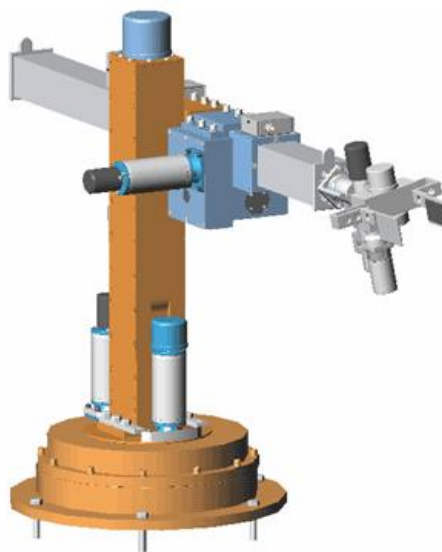
Obrázek 9 Kinematické schéma
cylindrického manipulátoru [10]



Obrázek 10 Znáznornění konstrukce
a pracovního prostoru cylindrického
manipulátoru [46]

V současnosti se manipulátory tohoto typu používají poměrně málo, protože ve většině aplikací je výhodnější využití manipulátorů angulárních nebo je lze nahradit SCARA roboty (viz 2.2.5 Konstrukce SCARA) v rovinných aplikacích. Často je ovšem najdeme jakožto součásti flexibilních výrobních linek. Příklad cylindrického robotu je na obrázku 11.

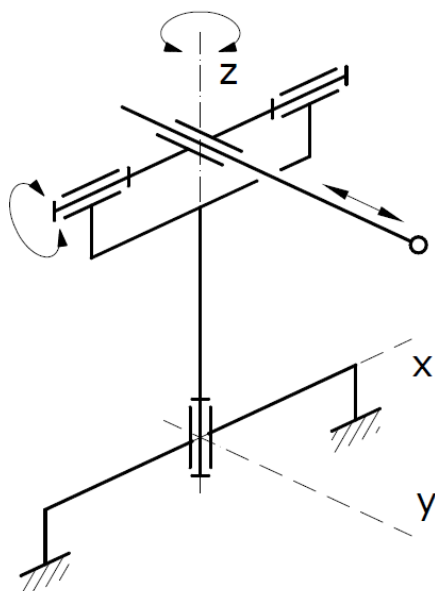
[10] [14] [17]



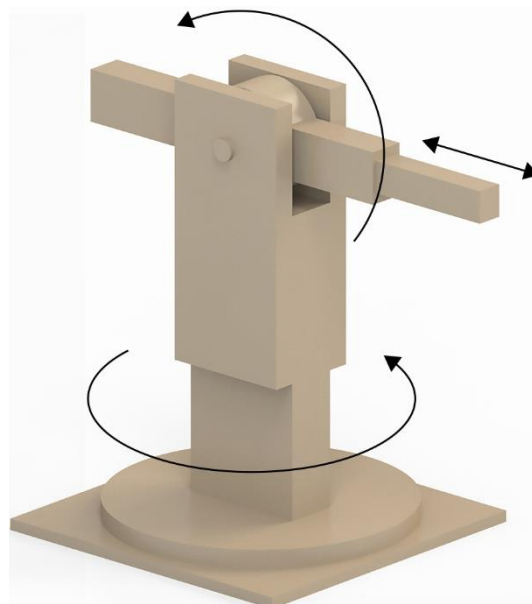
Obrázek 11 Cylindrický manipulátor [18]

2.2.4 Sférická konstrukce

I sférické manipulátory fungují na principu tří členů. První dva členy vykonávají rotační pohyb, přičemž první člen rotuje kolem své osy, zatímco k druhému členu je osa jeho rotace radiální. Poslední, třetí člen pak koná translační pohyb podél své osy, jak je znázorněno na obrázcích 12 a 13. [10] [19] [20]



Obrázek 12 Kinematické schéma sférického manipulátoru [10]



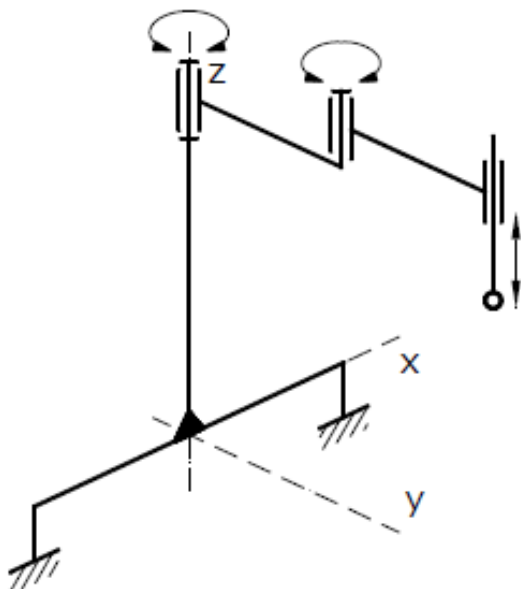
Obrázek 13 Schéma sférického manipulátoru [20]

Sférické manipulátory mají velmi podobnou pracovní obálku jako angulární (viz 2.2.6 Angulární konstrukce), díky čemuž jsou považovány za sofistikovanější zařízení než cylindrické nebo kartézské. Jejich konstrukce i řízení je však oproti angulárním jednodušší. V minulosti patřili k velice rozšířeným a byly jako první masově nasazeny v automobilovém průmyslu. V současné době však byly již téměř vytlačeny sofistikovanějšími šestiosými a SCARA manipulátory, stále se však ve velkém využívají jakožto technologická zařízení v řadě svařovacích aplikací, a také v rámci výuky programování, kde jsou díky svojí jednoduchosti využívány pro training začátečníků. [10] [19] [20]

2.2.5 Konstrukce SCARA

Zkratka SCARA znamená „*Selective Compliant Articulated Robot Arm*“, což v doslovném překladu znamená „*selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno*“ a její nosnou myšlenkou je, tzv. sériová architektura, podle které první motor má nést všechny ostatní motory. Ve své podstatě jde o čtyřčlennou konstrukci, v níž první člen tvoří statický sloupec, kolem kterého koná rotační pohyb člen druhý, na jehož konci je vazben třetí člen, který koná

totožný rotační pohyb kolem svého ukotvení. Poslední člen pak koná pohyb translační v ose rovnoběžné s prvním členem. Kinematické schéma SCARA manipulátoru je znázorněno na obrázku 14. [10] [14] [21] [22]



Obrázek 14 Kinematické schéma SCARA manipulátoru [10]



Obrázek 15 SCARA robot Fanuc SR-3iA/C [48]

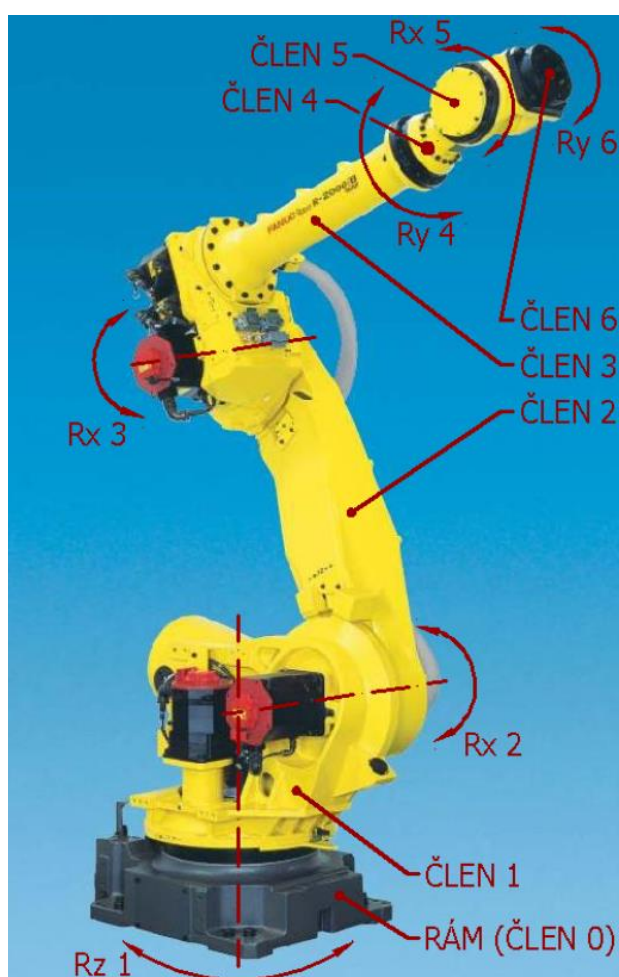
Typický příklad SCARA manipulátoru je znázorněn na obrázku 15. Jak z něj je patrné, jeho konstrukce neumožňuje žádné úhlové náklony efektoru (není-li efektor sám doplněn další osou, což v případě těchto zařízení není obvyklé). Manipulátory tohoto typu jsou tak užívány především pro montážní operace. Typickou aplikací je tzv. *pick-and-place*, tedy uchop a umístí. Velmi časté jsou například v elektrotechnickém průmyslu, kde rozmisťují jednotlivé komponenty do desek tištěných spojů. Tato zařízení dokáží na jednu stranu vyvíjet vysoké rychlosti, na druhou stranu dokáží některé pracovat s přesností až na deset mikronů. Za jejich slabinu můžeme naopak považovat poměrně malou nosnost – standardně vyráběné modely dosahují nosnosti do 2 kg (ve výjimečných případech do 10 kg). [10] [21] [22]

Je tedy zřejmé, že jde o relativně úzkoprofilovou, leč velice efektivní koncepci. V současné době jsou využívány v masivním měřítku, neboť jsou levné, výkonné a snadno programovatelné. [10] [21] [22]

2.2.6 Angulární konstrukce

Angulární konstrukce je v současné době bezkonkurenčně nejrozšířenější variantou sériově vyráběných průmyslových robotů a manipulátorů. Jejich konstrukce umožňuje provádění většiny standardních technologických, montážních i jiných aplikací. Oproti všem dříve zmíněným umožňuje provádění činností ve všech úhlových náklonech a nemá problém s obcházením běžných překážek. Ve spojení se zákonem zhromadnění a určitým stereotypem implementačních inženýrů tak zaujímá výsadní postavení. [8]

Tento typ manipulátoru je konstruován jako soustava na sebe navazujících členů propojených rotačními vazbami – veškerý pohyb manipulátoru je tak tvořen rotací jednotlivých členů, čímž je dosaženo cílové polohy. Většina angulárních manipulátorů pracuje se šesti členy a šesti osami rotace (poslední, šestá je určena pro interface efektoru – tedy na pozici manipulátoru nemá vliv a pohybuje až s efektořem). Tím je umožněn základní požadavek, a to dosah na všechny body v pracovním prostoru ze všech možných směrů. Typický šestiosý manipulátor je znázorněn na obrázku 16. [8] [10] [14]



Obrázek 16 Znáznornění členů a os rotace šestiosého angulárního manipulátoru [10]

Význam jednotlivých členů (číslování dle obrázku 16) je následující:

- Nultý člen – za nultý člen považujeme základnu (také nazývanou stojan nebo rám), za kterou je manipulátor ukotven.
- První člen – pohybuje se na základně v rozsahu až 360° a jeho primárním úkolem je natočení celého manipulátoru do optimální pozice pro danou operaci.
- Druhý a třetí člen – jejich osy rotace jsou rovnoběžné, obě kolmé na osu rotace členu jedna. Jejich primárními členy je horizontální dosah a současně konají hlavní manipulační pohyb.
- Členy čtyři a pět – společně s šestým členem tvoří tzv. zápěstí. Jeho hlavním úkolem je provádění přesnějších, pracovních pohybů. Jejich osy jsou navzájem kolmé (osa 4 je pak kolmá k ose 3), což spolu s osou 6 umožňuje optimální napolohování efektoru.
- Šestý člen – uzavírá celou sestavu. Jeho osa je kolmá na předešlou osu 5 a jeho hlavním účelem je upnutí efektoru a následná manipulace s ním.

Zjednodušeně lze říct, že členy 1 až 3 mají za úkol především přesunout efektor na pozici a konkrétní, přesné napolohování je pak úkolem zápěstí – tedy členů 4 až 6. [8] [10] [14]

Některé manipulátory si však vystačí i s menším počtem členů a os (pak mluvíme o manipulátorech deficitních, nebo též jednoduše pětiosých, čtyřosých atd.), pokud jejich aplikace nevyžaduje plnou prostorovou variabilitu. Stejně tak existují i manipulátory s vyšším počtem členů (takzvaně redundantní, nebo též jednoduše sedmiosé, osmiosé, ...), které se využívají především v případech, kdy se během činnosti musí „proplést“ složitou sestavou překážek. [8] [10] [14]

Pro úplnost informace je třeba doplnit, že v některých případech může sedmá osa znamenat také to, že celý manipulátor je usazen na kolejové (či jakékoliv jiné) dráze a pohybem v sedmé ose tak rozumíme pojíždění celého manipulátoru po její trajektorii. [8] [10] [14]

3. Efektory

V předešlé kapitole byly definovány průmyslové roboty a manipulátory jakožto zařízení samotná. Aby ale mohli být použity, potřebují ještě druhou klíčovou část, se kterou vytvoří funkční celek. Tou jsou takzvané efektory (nazývané též pracovní ústrojí, výstupní hlavice, výkonný orgán či ne vždy ne zcela přesně chapadlo). [8] [23] [24] [25]

Termínem efektor můžeme označit v podstatě jakékoliv zařízení určené pro upnutí na konec (tzv. zápěstí) manipulátoru, jehož úkolem je interakce s prostředím a samotné uskutečnění pracovní (nebo jiné) činnosti. [8] [23] [24] [25]

Těmito činnostmi jsou nejčastěji:

- 1) Manipulace – tedy jakékoliv přemísťování výrobků či komponent. Typicky sem patří vkládání polotovarů do pracovních prostorů výrobních zařízení, polohování, mezioperační manipulace nebo například odběr hotových výrobků a jejich ukládání na přepravní jednotky (například palety).
- 2) Technologické operace – tedy přímé provádění pracovních či výrobních úkonů. Nejčastěji se jedná o lakování, svařování, broušení a dělení materiálu i čím dál rozšířenější WAAM (Wire and Arc Additive Manufacture) navařování.
- 3) Získávání informací – tedy veškeré činnosti, jejichž cílem je dodat systému nebo obsluze informace. Jde například o snímání dotykovou sondou, měření teploty či získávání obrazové dokumentace (obvykle pro automatické vyhodnocení).
- 4) Další speciální činnosti

[8] [10] [25] [26]

Podle prováděné činnosti taktéž efektory rozdělujeme do těchto základních kategorií:

- 1) Manipulační
- 2) Technologické
- 3) Senzorické
- 4) Kombinované
- 5) Speciální

[8] [23] [24] [25]

Tato kapitola si klade za cíl provést základní výčet a popis nejrozšířenějších konceptů.

3.1 Princip fungování efektoru

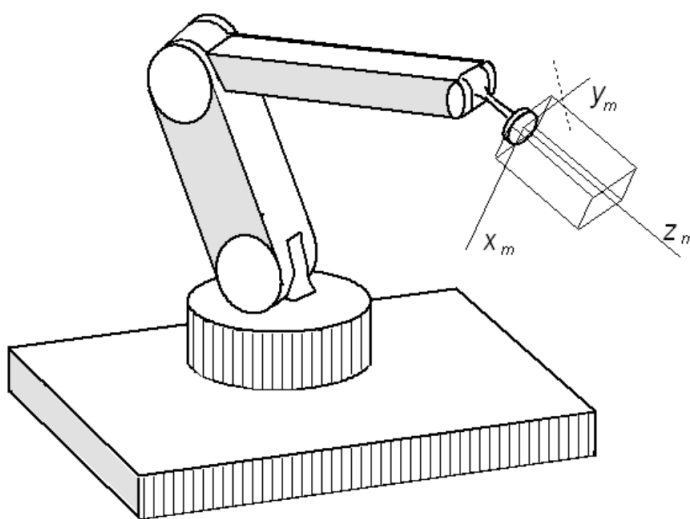
Vzhledem k tomu, že efektor může být v podstatě jakékoliv zařízení navazující na základní manipulátor či robot, nelze konkrétně definovat jejich fungování. Přesto existují určité obecné principy, které budou podrobně rozvedeny v následujících odstavcích. [8] [10]

Tím nejzásadnějším je, že efektor je považován za plnohodnotnou součást manipulátoru nebo robotu a jeho jednotlivé pohyblivé komponenty jsou považovány za další pohybové osy zařízení. Manipulátor i efektor jsou tak řídicím systémem robotu vnímány jako jeden funkční celek. [10] [11]

Jak již bylo zmíněno dříve (viz kapitola 2. Průmyslové manipulátory), jsou efektor upínány na konec posledního článku sestavy manipulátoru – tzv. zápěstí, standardně skrze přírubu (interface) k tomu určenou (znázorněno na obrázku 1). Tuhým spojením posledního článku manipulátoru a prvního článku efektoru vzniká z pohledu řízení jeden celek s jedním souřadným systémem. Dochází tak k návaznosti souřadného systému robotu a další, pohyblivé komponenty efektoru mohou nadále tento systém přejímat. Souřadný systém fixovaný na přírubu efektoru je znázorněn na obrázku 18. [11] [26]



Obrázek 17 Příruba robotu
Fanuc M-900iB/280 [29]



Obrázek 18 Souřadný systém fixovaný na přírubu
efektoru [26] – upraveno

3.2 Konstrukce efektorů

Konstrukce efektorů se velmi liší podle toho, o jakou kategorii (viz. úvod této kapitoly) se jedná, a tedy podle toho pro jakou činnost je určen. Zatímco v některých aplikacích dominují univerzální hlavice, v jiných masivně převládají ty optimalizované pro konkrétní účel. [8] [26] [27]

Sériově vyráběné efektorů dominují především v oblasti technologických hlavic, kdy například lakovací pistole či svařovací hořáky pro standardní svařovací metody jsou relativně univerzální a jsou hojně využívány například v oblasti automotive. Setkat se s nimi pak můžeme i v oblastech logistiky a balení, ve kterých se obvykle pracuje jen se „standardními kvádrovitými krabicemi“, jejichž uchopení nevyžaduje zvláštní nároky. [8] [26] [27]

V jiných aplikacích, především aplikacích montážních či manipulačních operacích v rámci velkosériové a hromadné výroby (typicky se jedná o roboty zakomponované jako součásti výrobních linek), převládá snaha o optimalizaci zařízení pro konkrétní aplikaci. [8] [26] [27]

V případě efektorů uplatňovaných v oblasti montáže je velmi často nutné zařízení uzpůsobit značně omezeným prostorovým možnostem, především v případech, kdy je třeba provádět montážní úkony uvnitř větších sestav. [8] [26] [27]

V případě efektorů uplatňovaných pro manipulaci v rámci velkých sérií se jednak vyplatí optimalizovat konstrukci pro maximalizaci užitečných vlastností, jednak platí, že právě v oblasti velkosériové výroby jsou i jednotlivé manipulované komponenty optimalizované pro minimalizaci výrobních nákladů a spotřebovaného materiálu, maximalizaci mechanických vlastností a optimální využití prostoru v rámci větších sestav, a jsou tudíž často velmi specificky tvarované, což znamená, že i jejich uchopení vyžaduje velmi specifické zařízení. To vše vede k tomu, že unifikace v této oblasti není příliš rozšířená. [8] [26] [27] [28]

Jedinými zcela univerzálními faktory jsou tak snaha o maximální životnost zařízení a jeho minimální hmotnost. Ta je důležitá především pro snížení energetické náročnosti výroby a zvýšení životnosti manipulátoru, je ale také třeba zohlednit, že průmyslové manipulátory a roboty jsou na rozdíl od efektorů v naprosté většině vyráběné sériově a jednotlivé modely mají výrobcem garantovanou nosnost, jejíž překračování znamená ztrátu záručního plnění a pochopitelně potenciální hrozbu nehody či minimálně snížení životnosti zařízení. Pokud je tak výrobcem garantovaná nosnost například 20 kilogramů, nesmí jeho zatížení (tedy hmotnost manipulovaného objektu a efektoru dohromady) v žádném okamžiku toto hranici

překročit. Pokud bychom se však dostali na finální hmotnost například 20,5 kilogramu, museli bychom zvolit model s vyšší nosností, která však (minimálně v rámci standardní nabídky velkých výrobců) nebude vyšší o dva kilogramy (tedy maximálně 22 kg), ale může to být například o deset (tedy maximálně 30 kg) a úměrně tomu bude vyšší i cena zařízení (včetně náhradních dílů) a s vyšší robustností i energetická náročnost jeho provozu. Při konstrukci efektorů tak musíme zohledňovat i tento faktor. [8] [26] [27] [29] [30] [31]

3.3 Manipulační hlavice

Manipulační hlavice, nazývané také úchopné hlavice jsou efekторы určené pro uchopení fyzických objektů a manipulaci s nimi. [8] [27]

Uchopení probíhá pomocí tzv. úchopných prvků (označujeme tak ty části efektoru, které jsou v přímém kontaktu s uchopeným objektem) a v ideálním případě by manipulované těleso mělo být vůči hlavici zcela znehybněno (pevnou fixací zajistíme řídicímu systému robotu maximální možnou kontrolu nad pohybem zařízení v prostoru a přesnost cílového umístění manipulovaného předmětu). [8] [27]

Manipulační hlavice, respektive úchopné prvky můžeme dělit z hlediska fyzikálního principu uchopení na:

- 1) Mechanické
- 2) Podtlakové
- 3) Magnetické
- 4) Speciální

[8] [27] [28]

Z hlediska způsobu držení na:

- 1) Silové
- 2) Tvarové

[26] [27]

Nebo z hlediska způsobu vyvození úchopné síly na:

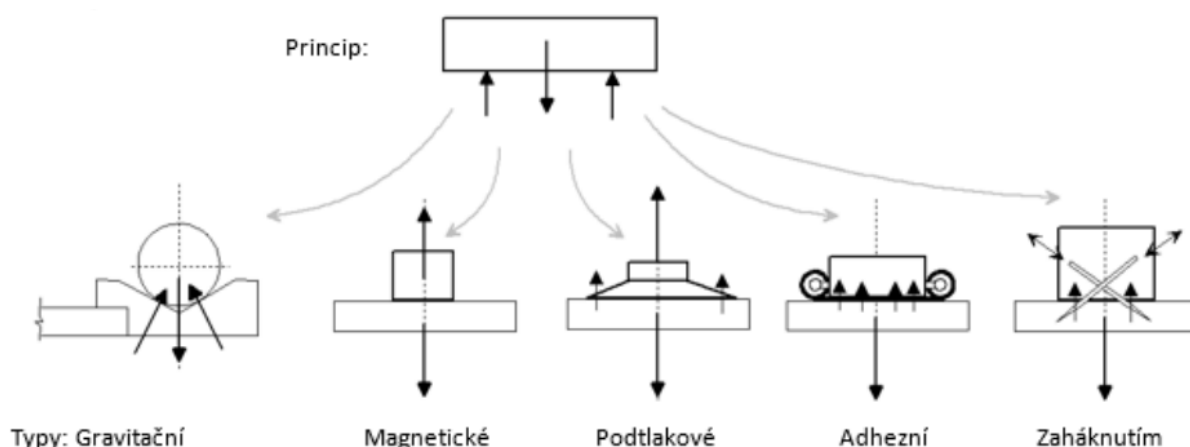
- 1) Aktivní
- 2) Pasivní

[8] [27] [28]

Dělením z hlediska způsobu držení je myšlen fakt, zda musí efektor pro zajištění manipulovaného objektu vyvíjet fyzikou sílu (až už je tím myšlena síla mechanická nebo třeba silové působení magnetického pole) – potom mluvíme o uchopení silovém nebo zda je pro uchopení předmětu využito jeho tvarových charakteristik – v takovém případě mluvíme o uchopení tvarovém. [27]

Dělením z hlediska vyvození úchopné síly je myšlen fakt, zda je možné úchopné prvky, respektive jimi vyvozenou sílu ovládat řídicím systémem zařízení. To je možné v případě členů aktivních, což zjednodušeně znamená, že jimi můžeme manipulovaný předmět uchopit, přemístit a zase pustit, přičemž celý proces je závislý pouze na pokynech řídicího systému. V případě členů pasivních je úchopná síla vázána pouze na úchopné prvky, které ovšem nelze více ovládat, a tak například často není možné jimi uchopený předmět „jednoduše pustit“ a musí tak zasáhnout další prvek mimo sestavu průmyslového robotu (či manipulátoru) a jeho efektoru. Podrobněji bude toto včetně příkladů vysvětleno v následujících kapitolách, které se zaměří na jednotlivé koncepce manipulačních hlavic. [8] [27]

Na obrázku 19 jsou některé metody znázorněny graficky. Uchopení gravitační využívá různá prizmata či jiné tvary úchopných prvků s tím, že objekt bude během přemísťování fixován gravitační silou. Uchopení adhezní pracuje s přilnavostí skrze molekulární síly. Příkladem mohou být adhezní fólie. Uchopení zaháknutím se pak běžně užívá v textilním průmyslu. Spočívá v zasunutí jehel do uchopovaného objektu – nejčastěji právě textilie nebo jiné porézní látky, což umožní dostatečnou fixaci, je však spojeno s určitým narušením manipulovaného objektu. [8] [27]



Obrázek 19 Modelové příklady způsobu uchopení [27]

Mechanické, magnetické a podtlakové způsoby uchopení jsou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách.

3.3.1 Mechanické manipulační hlavice aktivní

Při popisu těchto zařízení se neobejdeme bez jejich rozdělení na aktivní a pasivní.

Aktivní mechanické manipulační hlavice nazýváme zjednodušeně chapadla (tento termín je občas nesprávně používán pro souhrnné označování efektorů bez ohledu na jejich typ). Způsob uchopení těmito efektry je inspirován lidskou rukou – dodnes tím nejdokonalejším známým úchopným mechanismem. Lidská ruka uchopuje předměty stiskem (což je mechanické působení), při kterém je manipulovaný předmět tlačěn na dlaň prsty a protichůdný prst (palec) toto uchopení fixuje. Je zřejmé, že kopírovat tento princip v průmyslové praxi by bylo navzdory intenzivního vývoje a výzkumu v oblasti robotiky extrémně složité a v naprosté většině případů i extrémně neefektivní. Nejčastěji se proto využívá mnohem jednodušší stisk mezi dvě nebo více pohyblivými čelistmi, pro které se často používá tvar lidskými prsty inspirovaný, jindy ale může jít i o v podstatě standardní sklíčidlo. V konečném důsledku tak záleží především na rozhodnutí konstruktérů. [8] [27] [28] [32] [33]

Ukázka, jak takové zařízení může vypadat společně se způsoby uchopení pomocí takového mechanismu jsou znázorněny na obrázku 20.



Obrázek 20 Možné způsoby úchopu základních tvarů pomocí konvenčních chapadel [28]

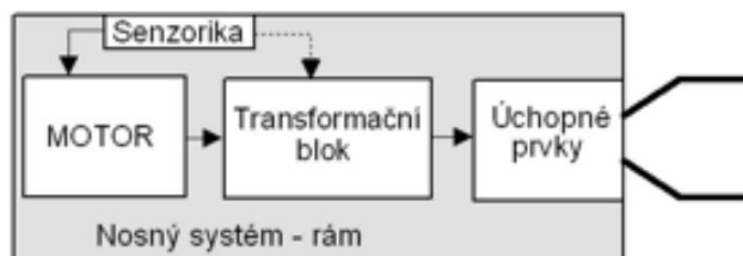
Hlavice tohoto typu se v obecném principu skládají z těchto pěti základních komponent:

- 1) Nosný systém – nebo také rám je základní těleso ve kterém jsou ostatní komponenty uloženy, a který je upnut na zápěstí průmyslového robotu nebo manipulátoru.
- 2) Motor – jeden nebo více. Jsou zdrojem pohybu upínacích prvků, který tvoří rozdíl mezi aktivní a pasivní variantou. Nejčastěji jsou využívány motory pneumatické přímočaré či kyvné. Pokud je třeba, aby byl pohyb upínacích prvků řízen (například protože uchopujeme křehké objekty variabilního tvaru), užívají se též elektromotory.

- 3) Transformační blok – jde o součást která v sobě zahrnuje mechanismu nutné pro správné plnění pracovních úkonů. Může se jednat například o zcela základní převod mezi rotačním pohybem zdroje pohybu a translačním pohybem upínacího prvku nebo převod rychlostí pohybů. Stejně tak se ale může jednat i o zařízení mnohem sofistikovanější. Příkladem může být, chceme-li stisknout mezi tři úchopné čelisti (princip sklíčidla) součástku nepravidelného tvaru. V takovém případě tedy potřebujeme, aby se každá ze tří čelistí pohybovala jinou rychlostí, aby došlo ke kontaktu ve všech třech úchopných bodech naráz a máme-li efektor vybaven jen jedním motorem, zdrojem pohybu, musí transformační blok jeho pohyb správně rozvést. Obecně se v této části mohou vyskytovat všemožné mechanismy – mimo ozubených převodů jsou to často například kloubové, šroubové, vačkové a mnoho dalších.
- 4) Úchopné prvky – součásti které jsou v přímém styku s chápaným objektem, a tedy provádí uchopení jako takové. Jako v předešlém případě je i zde veliká variabilita konstrukčních pojetí, od nejjednodušších čelistí až po sofistikované kloubové mechanismy imitující prsty. Jsou to právě úchopné prvky, které mají na charakter upnutí největší vliv, protože právě skrze ně působí fyzikální vazby umožňující uchopení v požadovaných parametrech. Klíčový může být jejich tvar, tvrdost, počet, rozmístění, přesnost (jak tvaru, tak i pohybu) i další vlastnosti. Právě tyto součásti jsou také často měněny (jsou nejvíce vystavovány opotřebením), proto je moderním trendem doplňovat je o vyměnitelné výložky.
- 5) Sensorický systém – je soustavou snímačů, které dodávají řídicímu systému informace o momentálních polohách jednotlivých komponent, síle působící na úchopné prvky či jeho momentální polohu v rámci pracovního prostoru.

[8] [27] [28] [32] [33]

Schematicky je jejich propojení znázorněno na obrázku 21.



Obrázek 21 Pět základních komponent ve schématu základní standardní aktivní mechanické manipulační hlavice [27]

Příklady některých častých koncepcí jsou znázorněny na obrázku 22.



Obrázek 22 Příklady konstrukčních pojetí aktivní mechanické úchopné hlavice. Zleva: Chapadlo se třemi posuvnými úchopnými prvky, chapadlo se dvěma otočnými úchopnými prvky a chapadlo se čtyřmi pružnými, otočnými úchopnými prvky [26] [33] [32]

3.3.2 Mechanické manipulační hlavice pasivní

Stejně jako v předešlé kapitole, i v případě pasivních mechanických manipulačních hlavic jde o zařízení, jehož účelem je chápat a manipulovat fyzické objekty. Rozdílem je, že zatímco v případě hlavic aktivních dochází k uchopení aktivním pohybem úchopných prvků – tedy pohybem, který je iniciován a řízen řídicím systémem, v případě hlavic pasivních je uchopení i následné držení zcela mimo kontrolu řídicího programu a dochází k němu čistě mechanickými (nebo jinými) vlivy. [8] [27] [28]

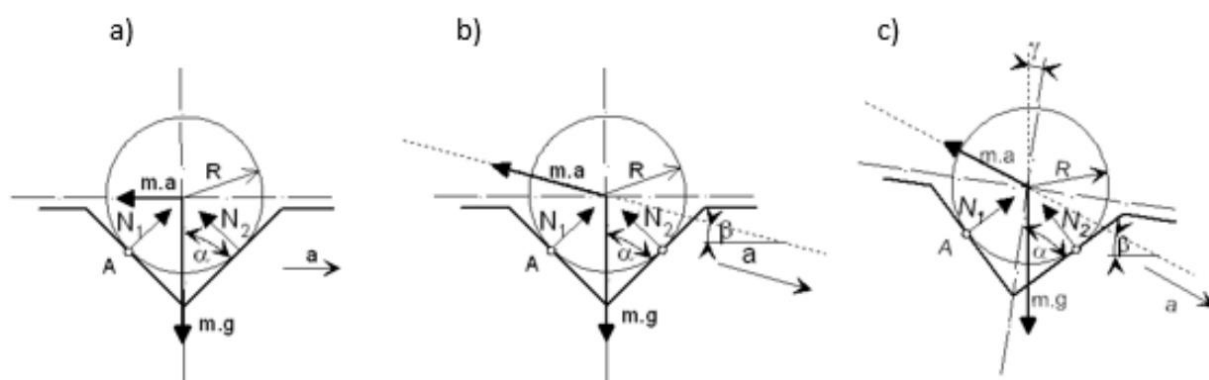
Ve zjednodušeném podání to vypadá následovně:

V případě hlavic aktivních navede manipulátor hlavici na místo, kde na ni čeká k manipulaci určený objekt. Když je efektor na místě, řídicí systém spustí motor (ten v efektoru) a jeho energie uvede do pohybu úchopné prvky, které manipulovaný objekt zafixují v rámci hlavice. Poté je manipulátorem přemístěn na cílovou pozici a další spuštění motoru znovu rozpohybuje úchopné prvky, čímž je manipulovaný objekt uvolněn. [8] [27] [28] [32]

V hlavicích pasivních ovšem chybí (minimálně v rámci úchopného mechanismu jako takového) motor, a tudíž nedochází ani k řídicím systémem kontrolovanému pohybu úchopných prvků. Jediný řízený pohyb je pohyb samotného manipulátoru. K uchopení tedy může docházet například tak, že manipulátor objekt „zahákne“ s tím, že bude na efektoru držet gravitační silou a po přemístění na cílovou pozici ho buď zavěsí na připravené háčky, nebo ho prostě „vyklopí“. Efektor je tedy po celou dobu zcela pasivní (v tomto konkrétním případě by mohl být dokonce teoreticky tvořen jen jediným monolitickým kusem) a veškerá činnost je v kompetenci průmyslového robotu nebo manipulátoru. [8] [27] [28]

Z hlediska principu jsou standardně využívány dvě koncepce pasivních efektorů. Jejich výčet a stručná charakteristika následuje zde: [8] [27]

První možností je využití takzvaných prizmatických lůžek (termín se při použití takovýchto hlavic používá zobecněně, bez ohledu na konkrétní tvar lůžka). Jde o jednoduché upnutí gravitační, což znamená, že objekt je po celou dobu na efektoru „pouze položen“. Aby byl alespoň částečně fixován, využívá se různých tvarových lůžek, velice často prizmatických (viz obrázek 23). Z toho je zřejmé, že tento způsob uchopení je vhodný pouze pro přemisťování z pozice na pozici, nikoliv však pro změnu výchozí pozice – je-li předmět uchopen (či spíše odebrán) v horizontální pozici (na rozdíl od jiných forem upnutí, při kterých ho můžeme takřka bez omezení polohovat) ho lze umístit znovu jen v horizontální pozici. Mimo toho je nutné přizpůsobit dynamické podmínky pohybu manipulátoru tak, aby další síly na objekt působící (odstředivá, dostředivá, kinetická, ...) nepřekonaly energii gravitační a nezpůsobily tak pád manipulovaného objektu během manipulace (příklady různých kombinací silového působení jsou znázorněny na obrázku 23). Současně platí, že efektor se nesmí po celou dobu manipulace naklonit více, než mu dovolí konkrétní tvar lůžka, což snižuje možnosti obcházení překážek. [8] [27]



Obrázek 23 Uložení manipulovaného objektu (kulatiny) v prizmatickém lůžky a příklady sil působících na něj během různých pohybů manipulátoru. [27]

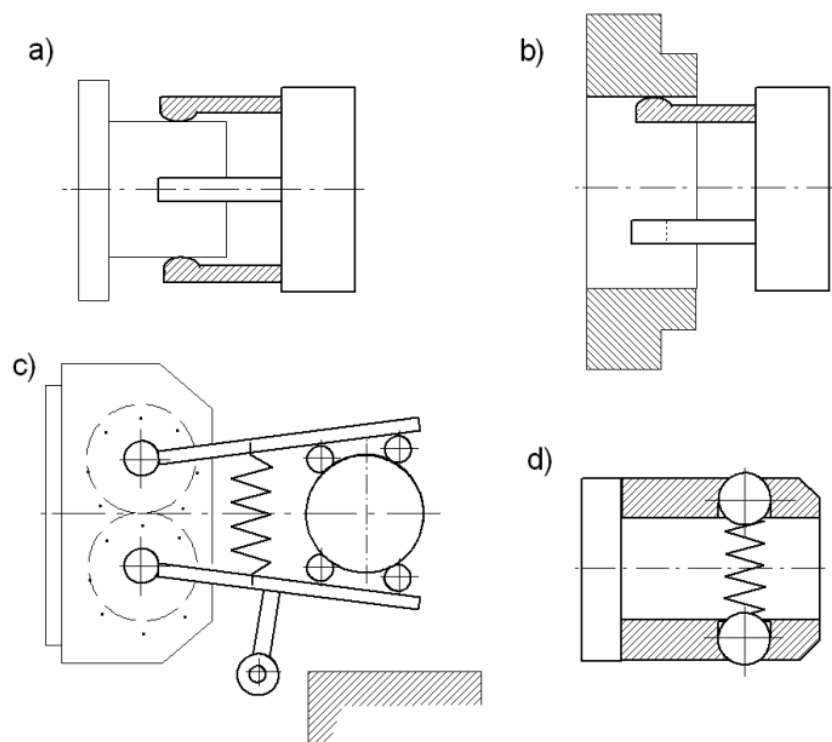
Druhou možností je využití odpružených čelistí. V tomto případě jsou úchopné prvky nebo některá z následujících komponent pružné. Na základě toho, jaké to jsou, existují dvě podobné koncepce:

- 1) V prvním případě jsou pružné samotné úchopné prvky. Při užití takového efektoru musí být manipulovaný objekt před počátkem manipulace nějakým způsobem ve své pozici fixován (například upnut ve sklícidle výrobního stroje nebo třeba držen

efektorem dalšího manipulátoru). Efektor je následně na předmět natlačen (konkrétně právě úchopnými prvky), čímž dojde k jejich pružné deformaci a síla této deformace vytvoří svěrné spojení, které je dostatečně silné pro provedení manipulační operace. Tento koncept je znázorněn na obrázku 24 – a) a b).

- 2) Ve druhém případě mají upínací prvky jako takové (teoreticky) stálý tvar a pružná reakce připadá na pružiny tvořící sestavu hlavice. Užití takového efektoru se od první varianty neliší, rozdíl je v tom, že natlačením na k manipulaci určený objekt nedojde k deformaci samotných úchopných prvků, ale pouze k jejich vyklopení (v případě otočných) nebo posunutí (v případě posuvných). Proti směru tohoto pohybu pak z jejich (úchopných prvků) druhé strany působí pružiny, které vyvodí svěrný tlak. V takovémto případě pak mluvíme o čelistech odpružených. Tento koncept je znázorněn na obrázku 24 – c) a d).

[8] [27] [34]



Obrázek 24 Mechanická schémata koncepcí pasivních úchopných mechanických hlavíc využívajících odpružení. Význam jednotlivých: a) odpružené čelisti využívající svěrného spoje pro uchopení vnější b) odpružené čelisti využívající svěrného spoje pro uchopení vnitřní c) otočné odpružené čelisti využívající síly pružiny pro uchopení vnější d) odpružené čelisti využívající síly pružiny pro uchopení vnitřní (s kuličkovou západkou) [26]

Svěrný spoj samozřejmě není jedinou variantou uchopení pasivní mechanickou úchopnou hlavici. Stejně tak lze manipulovaný objekt upnout pomocí tvarové specifikace, a tedy využít větší pružné deformace či stlačení pružiny pouze k „zacvaknutí“ objektu na místo, a potom již vyvíjet jen mnohem nižší sílu pro jeho fixování. Takovýto způsob je znázorněn na obrázcích 24 – c) a 25. [8] [27] [34]

Pokud jsou čelisti pevné, tedy v případě, kdy je svěrná síla vyvíjena pružinou, bývají (především otočné) čelisti v místech prvního kontaktu s uchopovaným předmětem vybaveny kladkami, které mají za cíl jednak usnadnit rozvor (eventuelně stlačení) čelistí (kleštin) upínacího prvku, jednak zabránit mechanickému poškození jak efektoru, tak upínaného objektu (velmi snadno zde dochází především k porušení povrchových úprav). [8]

Oproti využití prizmatických lůžek s gravitačním upnutím je velkou výhodou odpružených čelistí možnost s upnutým předmětem libovolně manipulovat, a tedy i změnit jeho cílovou polohu oproti počáteční. S tím je spojena i výhoda mnohem variabilnější trajektorie pohybu manipulátoru a snazšího obcházení překážek. Další výhodou je, že tyto čelisti dokáží předmět udržet i při působení mnohem větších kinematických sil, což umožňuje mnohem větší rychlosti pohybu manipulátoru. [8] [27] [34]

Jak již bylo řečeno výše, nejsou pasivní technologické hlavice vybaveny motorem, který by umožňoval řízený pohyb upínacích prvků. V předešlých odstavcích jsme si podrobně definovali způsoby, jakým může být do takového zařízení manipulovaný objekt upnut. Potíž ovšem nastává na konci manipulační operace, kdy je třeba objekt uvolnit a jelikož upínací prvky nejsou nijak ovládány, není zde ani přímý způsob, jak toto uvolnění provést. [8] [27]

Nejjednodušeji je toto řešeno v případě prizmatických lůžek. Vzhledem k tomu, že jediná vazba, která manipulovaný předmět na efektoru drží je ta gravitační, je možné objekt jednoduše „vyklopit“ nebo umístit konci na dva pevné body, mezi kterými efektor projede. [8] [27]

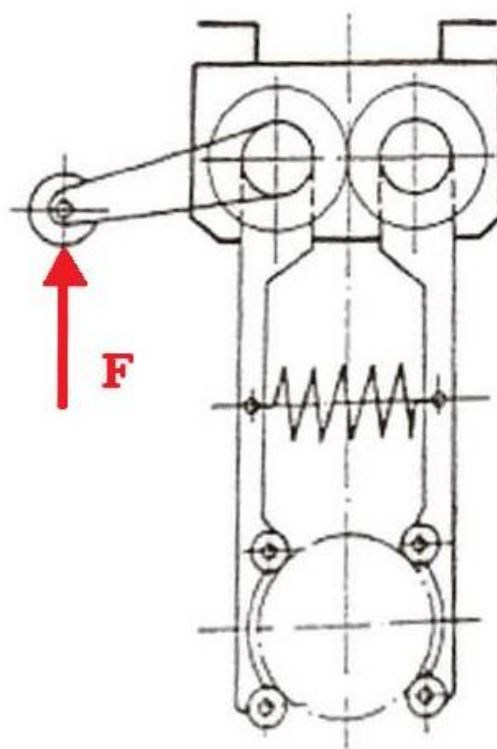
Mnohem větší problém nastává v případě upnutí pomocí odpružených čelistí. Čelisti jsou pevně sevřené fyzikálními silami a na zařízení není žádný zdroj energie, které by je uvolnila. Možnosti, jak v jejich případě uvolnění provést jsou následující: [8] [27] [28]

V případě prvním musí být manipulovaný objekt vyjmut („vytrhnout“) nějakou další silou. To znamená, že buďto je předmět upnut do dalšího zařízení a zdrojem uvolňovací síly je samotný manipulátor nebo je ze současného upnutí vytažen nějakým jiným zařízením (eventuelně i lidským pracovníkem). Příkladem první varianty je zakládání materiálu

do soustruhu. Poté, co je polotovar umístěn na požadovanou pozici, dojde k jeho upnutí do sklíčidla. V ten moment je již na místě pevně fixován. Manipulátor robotu pak může zpětným pohybem překonat sílu sevření a efektor od polotovaru odpojit. Příkladem druhé varianty může být soustava dvou průmyslových robotů. Poté, co jeden umístí objekt v pasivní hlavici na požadovanou pozici, efektor druhého robotu ho uchopí a vlastním tahem překoná sílu sevření. Takle varianta je typická pro variantu, ve které je svěrná síla tvořena deformací samotných úchopných prvků. [8] [27]

Další možností je použití vyhazovače. Ten může mít více forem. Tou jednou je samozřejmě ten poháněný elektricky nebo stlačeným vzduchem. I s tímto doplňkem by se jednalo o zařízení spadající do kategorie pasivních hlavic, protože samotné upnutí a stisk jsou stále vyvozeny pouze pasivními vlivy. Mnohem

častější je ale využití vyhazovače mechanického. Takle varianta je naopak typická pro kleštiny, na kterých je svěrná síla iniciována pružinou. Odpružené čelisti vybavené tímto typem vyhazovače jsou obvykle konstruovány (různé konstrukce mohou být samozřejmě pojaty jinak) tak, že konce kleštín jsou propojeny ozubením a na jednu z nich je navázána páčka, která vyčnívá mimo rám zařízení. Jejím stlačením dojde k přetlačení úchopné síly, a tudíž k rozevření čelistí. (V případě, kdy je jedna z čelistí pevná, není samozřejmě ozubení třeba.) Stisknutí pak obvykle provede samotný manipulátor tím, že páčkou (která je součástí efektoru) zatlačí na nějaký pevný (obvykle právě pro tento účel vytvořený) prvek na pracovišti. Podrobně je toto schéma znázorněno na obrázcích 24 – c) a 25. [8] [27]



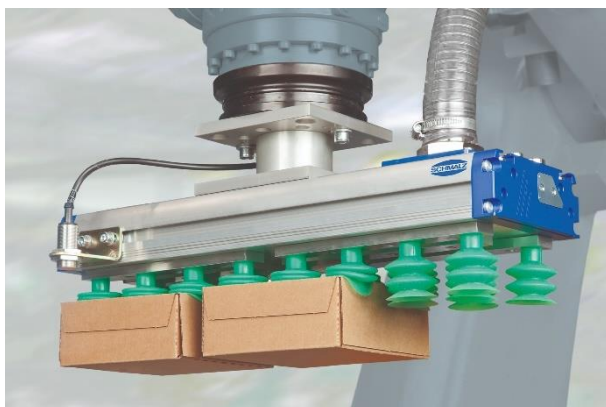
Obrázek 25 Pasivní hlavice s odpruženou čelistí a vyhazovače. Červená šipka znázorňuje sílu nutnou pro uvolnění sevření [8]

3.3.3 Podtlakové manipulační hlavice aktivní

Aktivní podtlakové manipulační hlavice jsou další možností, jak uchopovat předměty. Úchopná síla je v tomto případě vyvozována podtlakem (tedy tlakem v rámci úchopného prvku nižším oproti pracovnímu prostředí), který pomocí vývěvy nebo ejektoru vytvoříme v prostoru mezi

úchopným prvkem a manipulovaným předmětem, který funguje jako podtlaková komora. Jedná se tak vždy o uchopení silové (nikoliv tvarové). [8] [26] [27] [28] [32] [33]

Ukázka, jak takové zařízení může vypadat, společně se způsobem uchopení pomocí manipulačních hlavic využívajících podtlaku jsou znázorněny na obrázcích 26 a 27.



Obrázek 26 Příklad použití podtlakové manipulační hlavy v logistice [52]



Obrázek 27 Příklad použití podtlakové manipulační hlavy v oblasti balení a logistiky potravin [53]

Hlavy tohoto typu se v obecném principu skládají z těchto pěti základních komponent:

- 1) Nosný systém – nebo také rám je základní těleso, ve kterém jsou ostatní komponenty uloženy, a který je upnut na zápěstí průmyslového robotu nebo manipulátoru.
- 2) Zdroj vakua – vývěvy, vakuová dmychadla nebo ejektory, které nám odsávají vzduch z vakuových komor.
- 3) Obvod a ventily – aparatura, kterou je veden vzduch, zakončená přísavkou. Pro zjednodušení sem můžeme zařadit i některé mechanické aspekty (například průchozí kuplové čepy – viz. dále) sloužící pro optimalizaci funkce efektoru, a které obvykle spadají do obvodu vedoucího vzduch.
- 4) Přísavky – koncové součásti, které jsou v přímém kontaktu s manipulovaným objektem, a které společně s ním tvoří vakuovou komoru.
- 5) Senzorický systém – tedy soustava senzorů, která řídicímu systému podává aktuální informace o přítomnosti upnutého předmětu, intenzitě podtlaku, okamžité poloze efektoru a celé řadě dalších parametrů, které dohromady umožňují efektivní řízení.

[8] [26] [27]

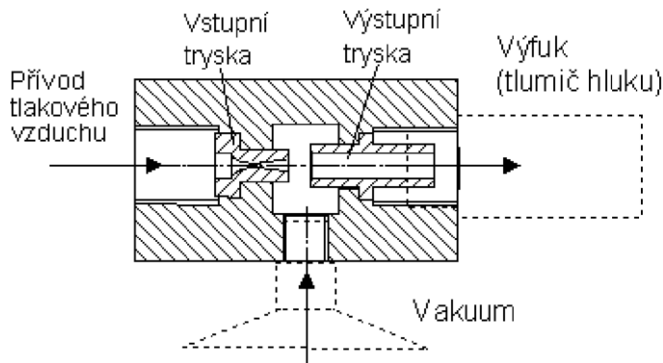
První důležitou součástí pro fungování aktivní podtlakové manipulační hlavy je zdroj vakua, tedy zařízení, které nám z podtlakové komory odčerpá vzduch (či jakýkoli jiný plyn v jehož prostředí k činnosti zařízení dochází). Toto může být řešeno buďto centrálně,

kdy mluvíme o takzvaném externím zdroji vakua (funguje obdobně jako centrální rozvod vzduchu) nebo lokálně, kdy vakuum vytváříme přímo na místě potřeby. Máme zde na výběr z několika technologických řešení, která jsou mimo svých technických parametrů definována dvěma zásadními parametry – velikostí dosažitelného podtlaku a sacím výkonem. Ten první nám (velmi zjednodušeně) udává sílu, jakou bude uchopený objekt fixován, ten druhý nás informuje o tom, jak rychle je zařízení schopno vzduch z podtlakové komory odsát, a především zda a jak silný podtlak dokáže udržet v případě netěsností. Porovnání těchto parametrů pro jednotlivá technologická řešení je znázorněno na obrázku 30. Možnosti jsou tedy následující:

- 1) Vývěvy – které nám z těchto možností umožňují dosahovat nejvyšších hodnot podtlaku při relativně nízkém sacím výkonu. Jsou ideální pro dobře utěsněné prostory, ve kterých nevznikají velké ztráty (tedy případy, kdy chápeme například plech, na kterém může přísavka dobře přiléhat). Podle konstrukce je lze rozdělit na ty s během na sucho, které lze užívat ve všech polohách a ty na vodokružné nebo olejové bázi, které lze používat pouze v horizontální poloze, a tudíž jsou více vhodné jako centrální zdroj. Velikost podtlaku dosahovaného vývěvami se běžně pohybuje v rozmezí 30 až 80 kPa.
- 2) Vakuová dmychadla – která naopak umožňují dosahovat spíše nižších hodnot vakua, ale dosahují vysokého sacího výkonu, který dovoluje kompenzovat ztráty z netěsností, což znamená, že jsou vhodné pro aplikace, při kterých nelze zaručit ideální dosednutí přísavky na manipulovaný povrch – například při manipulaci s potravinami v rámci zpracovatelského průmyslu nebo třeba chápání částečně prodyšných materiálů.
- 3) Podtlakové ejektory – tyto umožňují jen relativně malý sací výkon, umožňují ale dosažení relativně vysokých hodnot vakua (byť nižších než vývěvy). Jejich hlavní předností je, že pracují na takzvaném Venturiho principu, což (pro účely této práce jen velmi zjednodušeně) znamená, že do komory nad přísavkou je vháněn tlakový vzduch skrze velmi úzkou vstupní trysku, čímž rychlost jeho proudění dosáhne hodnoty rychlosti zvuku. Tento proud sebou strhává klidný vzduch ve vakuové komoře, a následně je společně s tím tlakovým hnán skrze výstupní trysku a tlumič hluku mimo prostor komory. Schéma konstrukce takového zařízení je znázorněno na obrázku 28. Z hlediska dosahovaných charakteristik jde o relativní kompromis předešlých, velkou předností ale je fakt, že nevyžaduje vlastní specializovaná zařízení – tedy vývěvu nebo ejektor, nýbrž jej lze napojit na standardní rozvod tlakového vzduchu, který spadá do běžného vybavení většiny výrobních podniků.

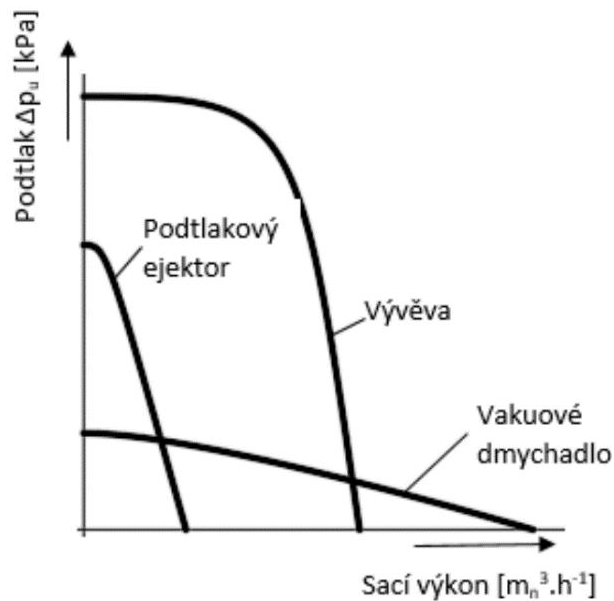
Je ovšem třeba říci, že spotřeba tlakového vzduchu je u hlavic vybavených podtlakovými ejektory enormní, což je ovšem kompenzováno jejich výrazně nižší cenou. Na obrázku 29 je ukázka reálného injektorového modulu, který je přímo určen pro užití v rámci průmyslových efektorů.

[8] [27] [28] [32] [35]



Obrázek 28 Základní schéma ejektoru [26] - upraveno

Obrázek 29 Podtlakový modul VEE s integrovaným ejektorovým modulem ecoPump SEP [54]



Obrázek 30 Poměr velikosti dosažitelného podtlaku vůči sacímu výkonu pro jednotlivé zdroje vakua (platí pro standardní atmosférický tlak a teplotu 0 °C). [27]

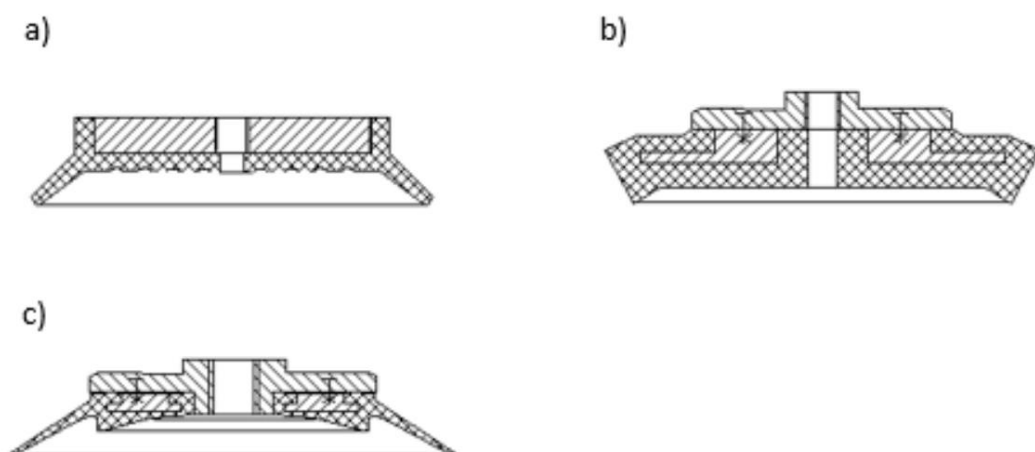
Druhou klíčovou součástí jsou přísavky, tedy ta část podtlakové hlavice, která je v kontaktu s manipulovaným objektem, a která společně s ním tvoří podtlakovou komoru. Konstrukce samotné přísavky je relativně jednoduchá. V naprosté většině případů jde buď o pryžové kotouče, které jsou pomocí dalších kovových komponent doformovány do kónického

tvaru, nebo o sofistikovanější tvarovanou pryž vulkanizovanou ve formách. V obou případech jsou pak zpevnovány kovovými komponentami. Existují ale také různé speciální varianty. Ty nejzákladnější jsou popsány v následujících odstavcích. [8] [27] [28] [32]

První velkou skupinou jsou ploché kruhové přísavky, které jsou užívány ve třech základních variantách:

- 1) Jednobřítá plochá – má po obvodu jednoduchý těsnicí břit. Je vhodná pro ty nejjednodušší aplikace, tedy uchopování předmětů s rovným a hladkým povrchem – plechy, plasty, skleněné tabule, ... Základní schéma je znázorněno na obrázku 31 – a). Příklad reálné jednobříté ploché přísavky SFP je znázorněn na obrázku 32. Praktický příklad užití takové přísavky je znázorněn na obrázcích 27 a 33.
- 2) Plochá s těsnicím kroužkem – má po svém obvodu těsnicí kroužek deformující se tlakem. Je vhodná pro uchopování předmětů s drsným povrchem – například kámen. Základní schéma je znázorněno na obrázku 31 – b).
- 3) Dvoubřítá plochá – spojuje v sobě vlastnosti obou předešlých – je vybavena jak těsnicím břitem, tak deformačním kroužkem a je tvořena vysoce elastickým materiálem. Na základě těchto vlastností je určena pro nejnáročnější aplikace, především pro velmi drsné povrchy nebo objekty se značným prověsem – například okujené plechy. Základní schéma je znázorněno na obrázku 31 – c).

[8] [27]



Obrázek 31 Tři základní konstrukce plochých kruhových přísavek. a) jednobřítá plochá b) plochá s těsnicím kroužkem c) dvoubřítá plochá [27]

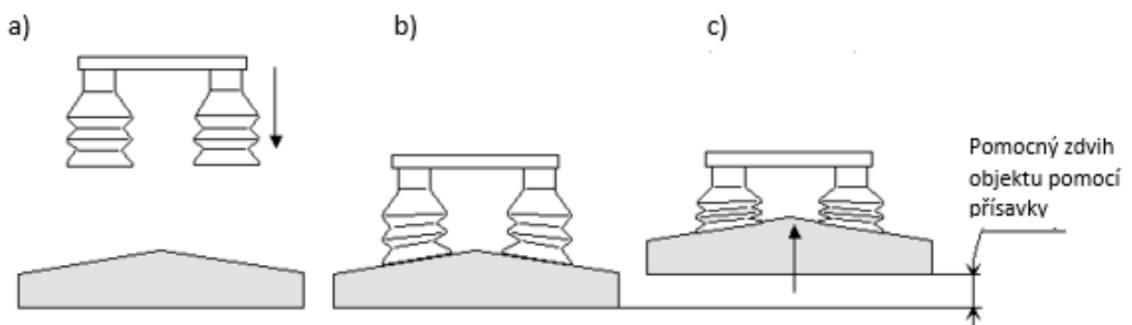


Obrázek 32 Jednobřítá plochá přísavka [55]



Obrázek 33 Použití jednobříté ploché přísavky [53]

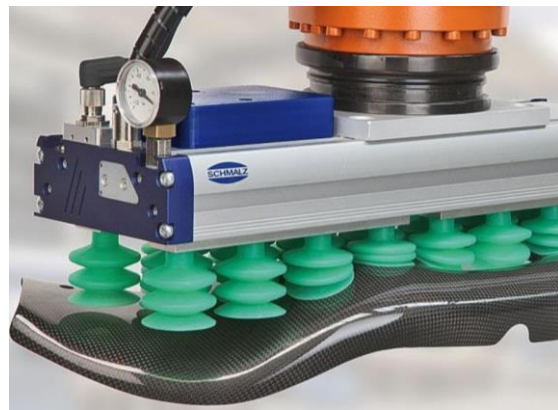
Druhou skupinou jsou skládané přísavky, které jsou tvořeny takzvaným vlnovcem s nejčastěji jedním a půl nebo dvěma a půl záhyby. Jejich hlavní předností je možnost upínat předměty, jejichž povrch je zakřiven nebo zvlněn. Samotné uchopení probíhá v tomto případě tak, že se přísavky musí nejdříve dotknout chápáné plochy. Následně se díky svému specifickému tvaru – vlnovci lehce zdeformují a zaujmou vůči ploše kolmou pozici, což je právě ta vlastnost, která je činí schopnými kompenzovat nerovnosti. Teprve poté dojde ke spuštění zdroje vakua a odsátí vzduchu z nově vzniklých vakuových komor, čímž dojde k pevnému „přisátí“, během kterého se všechny přísavky stáhnou do na minimální možný rozměr tak, aby si udržely svou optimální polohu (kolmo k ploše povrchu manipulovaného předmětu), a zároveň aby byly schopny přenášet sílu (a zachovat rovnoměrnost v jejím rozložení na jednotlivé přísavky), a současně si uchovat optimální přilnavost k ploše. Toto stažení je provázáno i takzvaným pomocným zdvihem – tedy nadzvednutím objektu právě o velikost stažení přísavek, čehož se využívá jako přidavného manipulačního pohybu. Celý proces uchopení je znázorněn na obrázku 34. Příklad reálné skládané přísavky SPB1 s jedním a půl záhybu je znázorněn na obrázku 35. Praktický příklad užití takové přísavky je znázorněn na obrázcích 26 a 36. [8] [27] [28] [32]



Obrázek 34 Princip uchopení a kompenzace nerovností pomocí skládaných přísavek [26]



Obrázek 35 Skládaná přísavka [56]



Obrázek 36 Užití skládané přísavky pro kompenzaci nerovnosti chápané plochy [26]

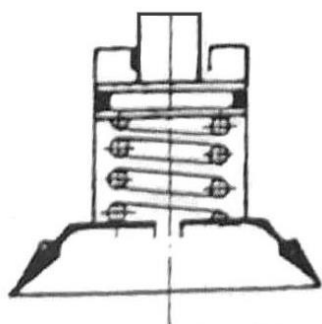
Mimo tyto dosud zmíněné přísavky existuje ještě velice široká kategorie speciálních typů pro široké spektrum specializovaných aplikací. Mezi ně patří například přísavky specifických tvarů (populární jsou především oválné) nebo například vakuové polštářky vhodné pro upínání objektů s vysokou tvarovou variabilitou. [27]

3.3.4 Podtlakové manipulační hlavice pasivní

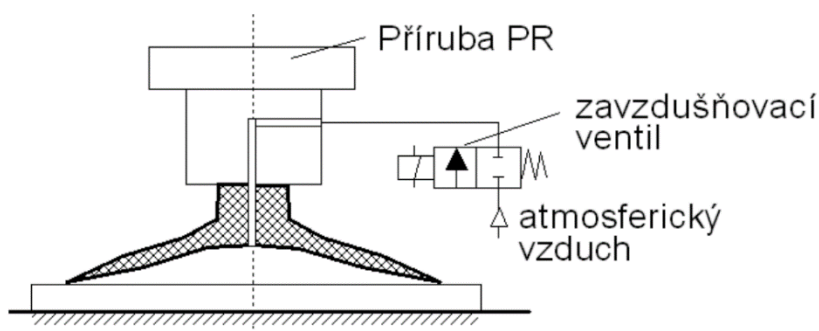
Základní fyzikální princip pasivních podtlakových manipulačních lavic se nijak neliší principu těch aktivních. Rozdíl je pouze ve zdroji vakua. V případě aktivních hlavice je to nějaký vnější zdroj (tedy mimo samotnou přísavku), který je ovládán řídicím systémem. V případě těch pasivních je zdroj mnohem prostší. Přísavka (respektive podtlaková hlavice) je manipulátorem natlačena na upínaný předmět, čímž dojde k její pružné deformaci. Vzhledem k širokoúhlému kónickému tvaru se deformace projeví rovnoměrným roztažením přísavky do šíře, a tím současně i zmenšením vnitřního prostoru přísavky, a tedy i podtlakové komory, přičemž přebytečný vzduch unikne během stlačování, ale díky konstrukci přísavky se po uvolnění tlaku již nedokáže vrátit, čímž vzniká žádoucí podtlak. [8] [27] [28] [32]

Pasivní přísavky jsou tedy konstrukčně velmi jednoduché. Pro základní aplikace postačí jen pryžové těleso upnuté na čepu. Pro náročnější aplikace vyžadující také vyšší tlak jsou doplňovány dalšími komponenty. Velmi běžné je například použití takzvaného odpruženého pístu. V takové případě je podtlaková komora přísavky vyšší o válcovou část, která vyčnívá nad základní kuželovou. Tato (válcová) část je vyplněna pružinou, jejímž stlačením společně se základní částí se celková změna objemu výrazně zvýší a společně s tím dojde i k úměrnému

zvýšení výsledného podtlaku. Schéma pasivní přísavky s odpruženým pístem je znázorněno na obrázku 37. [8]



Obrázek 37 Příklad přísavky s odpruženým pístem [8]



Obrázek 38 Princip zavzdušnění podtlakové komory pomocí zavzdušňovacího ventilu [26]

Mezi nevýhody pasivních podtlakových hlavic patří velká citlivost na těsnost styku mezi přísavkou a manipulovaným předmětem z důvodu, že oproti těm aktivním není úroveň podtlaku nijak udržována, a tudíž v případě jakéhokoliv proniknutí vzduchu do podtlakové komory dochází ke snížení úchopné síly. Tuto technologii tak lze aplikovat jen na hladké povrchy. Naopak zásadní výhodou je jejich jednoduchost a s tím spojená relativně nízká cena. S jejich jednoduchostí je spojená i univerzálnost, a je tak možné je užívat i za specifických okolností, například v kapalném či dokonce výbušném prostředí. [8]

Pro přísavky všech typů (tedy i aktivní) současně platí, že musíme zajistit uvolnění objektů po konci manipulační operace. Standardně se toto řeší jednoduchým přívodem tlakového vzduchu do podtlakové komory, k čemuž nám obvykle slouží elektricky ovládaný pneumatický ventil. Schéma tohoto mechanismu je znázorněno na obrázku 38. [27] [28] [32]

Dalším důležitým aspektem je upnutí přísavek všech typů, které nemusí být nutně zcela fixní, nýbrž může existovat určitá variabilita jejich pohybu. Asi nejrozšířenější koncepcí je upnutí na kulový čep, díky čemuž se můžou v určité omezené rovně naklánět, a tím lépe uzpůsobit povrchu a tvaru konkrétního objektu. [8] [32]

Poslední důležitý aspekt všech přísavek, který si zde zmíníme je fakt, že nejsou zcela vhodné pro namáhání radiální silou. Při namáhání axiálními silami je veškerá váha břemene držena silou vakua a přísavka je namáhána rovnoměrně. Při tom radiálním se ale přidává zatížení třením a nerovnoměrnost v silovém působení na přísavku samu. Pokud tak hodláme během

manipulace osy přísavek naklánět, musíme úměrně tomu uzpůsobit celou podtlakovou hlavici.

[27]

3.3.5 Magnetické manipulační hlavice

Další možností úchopu manipulovaných objektů jsou magnetické manipulační hlavice. Vzhledem k zaměření této práce bude jejich problematika zmíněna jen stručně.

I v tomto případě jsou hlavice rozděleny na aktivní a pasivní.

V případě aktivních magnetických manipulačních hlavic jsou užívány elektromagnety. Jde tedy o velmi jednoduchou koncepci, kdy uchopení provedeme prostým připojením zdroje elektrického proudu (obvykle stejnosměrného) k budícímu vinutí elektromagnetu a uvolnění provedeme opačně jeho odpojením.

[8] [27] [28] [32] [33]

V případě pasivních magnetických manipulačních hlavic jsou užívány permanentní magnety. Uchopení v takovémto případě probíhá prostým přiložením magnetické hlavice k manipulovanému objektu. Jeho uvolnění je již komplikovanější – upnutý předmět je třeba doslova odtrhnout. Pro tyto účely se užívají různé dorazy nebo v hlavici zabudované uvolňovací planžety.

[8] [27] [28] [32] [33]

Velkou nevýhodou těchto hlavic (aktivních i pasivních) je limitace pouze na feromagnetické materiály. V případě magnetů permanentních také dochází k zachytávání feromagnetických nečistot a vyžadují tak pravidelné čištění. Stejně tak je třeba uzpůsobit pracoviště, aby nebyly zachytávány nežádoucí objekty. Škodit může také remanentní magnetismus či změny teploty elektromagnetů při dlouhém užívání.

[8] [27] [28] [32] [33]

3.4 Technologické hlavice

Technologické hlavice, respektive technologické koncové efekторы, jsou zařízení, která mají za cíl přímý výkon technologických operací. Zatímco tedy manipulační hlavice probírané v předešlé kapitole mají při nasazení ve výrobních procesech za cíl pouze dopravit polotovary (či cokoli jiného) na místo zpracování, v tomto případě je efektor samotný přímým vykonavatelem výrobního procesu.

[8] [10] [27] [34]

V návaznosti na tento fakt také platí, že zatímco manipulační hlavice jsou upínány na široké spektrum manipulátorů, technologické jsou poměrově v mnohem větší míře upínány na multiúhlové typy průmyslových robotů a manipulátorů – nejtypičtěji pochopitelně masově rozšířené manipulátory angulární.

[8] [27]

Mezi nejčastější aplikace těchto hlavic patří:

- 1) Svařovací aplikace
- 2) Obráběcí aplikace
- 3) Nanášení

[8] [10] [27]

3.4.1 Svařovací technologické hlavice

Jde o jedno z nejrozšířenějších technologických užití průmyslových robotů. Takováto technologická hlavice je v podstatě standardním svařovacím hořákem (viz obrázek 39) či kleštěmi (viz obrázek 40), jen upravenými pro upnutí na průmyslový robot. Užitím této technologie lze snadno automatizovat vytváření svarů i na velmi složitých konstrukcích – například karoseriích aut. Příklad plně robotizovaného svařování je znázorněn na obrázku 41).

[8] [10] [27]



Obrázek 39 Robot pro obloukové svařování Fanuc ARC Mate 100iD [43]



Obrázek 40 Průmyslový robot vybavený bodovacími kleštěmi pro tlakové svařování [27]



Obrázek 41 Plně robotizovaný proces svařování [49]

3.4.2 Obráběcí technologické hlavice

Technologie tzv. robotického obrábění využívá dva základní principy. [8] [27]

První možností je, že robot prostě nese obrobek a přikládá ho (tedy koná přísuv a posuv) k pevně ukotvenému nástroji, který koná pouze hlavní pracovní pohyb (například rotace vrtáku nebo brusného kotouče). Efektor v tomto případě tedy koncepčně odpovídá hlavicím manipulačním, s tím rozdílem, že mimo hmotnosti obrobku a setrvačných sil musí snést i síly řezné. [8] [10] [27]

Druhou možností je přesný opak, tedy že je nástroj je součástí efektoru a je přikládán k pevně upnutému obrobku. V takovém případě jsou všechny pracovní pohyby konány manipulátorem robotu. V takovémto případě efektor v zásadě odpovídá běžnému výrobnímu zařízení – jde o vřeteno s již zcela standardními nástroji upnutými standardním způsobem jako vidáme v běžných obráběcích centrech (nebo jiných zařízeních). Příklad takového způsobu obrábění můžeme vidět na obrázku 42. [8] [10] [27]

Mezi nejčastější takto prováděné operace patří například frézování, vrtání, broušení nebo gravírování. [27]



Obrázek 42 Příklad 5D obrábění pomocí průmyslového robotu [50]

Zvláštní, a zatím spíše akademickou variantou, je pak technologie tzv. kolaborativního obrábění, která je kombinací obou předešlých. V takovémto případě je obrobek upnut v technologické hlavici jednoho robotu a je obráběn technologickou hlavicí druhého robotu. Jde o jakousi alternativu ke standardním pětiosým obráběcím centrům, stále však nepříliš užívanou především kvůli nižší tuhosti manipulátorů robotu, která se v tomto případě násobí dvěma. [27] [36]

Podle toho, zda jsou tyto hlavice určeny pouze pro jednu specifickou operaci nebo více, je lze taktéž rozdělit na multifunkční (pro více operací) a monofunkční (pro právě jednu operaci). Multifunkční hlavice lze koncepčně pojmout buďto jako revolverové hlavy, nebo můžeme užít možnosti automatické výměny pracovní hlavice. [8] [34]

3.4.3 Nanášecí technologické hlavice

Podobně jako v případě svařovacích hlavic se i zde jedná v podstatě o standardní zařízení – například lakovací pistole, modifikované pro upnutí na manipulátor robotu. Typicky se robotizace užívá pro práškové i mokré lakování, ale není neobvyklé zaznamenat je i například u žárového nastřikování či dalších metod nanášení povlaků. Na rozdíl od svařování je ovšem užití průmyslových robotů v této oblasti stále pouze okrajovou záležitostí. Ve větším měřítku se užívá pouze v oblasti automotive. Důvodem je, že na rozdíl od aplikací svařovacích musí být roboty (nebo přinejmenším manipulátory robotu) schopné

práce ve výbušném (v případě práškového lakování také prašném) prostředí a jejich řídicí systém musí obsahovat funkce řízení lakovacího (nebo jiného nanášecího) procesu v reálném čase (problém představují hlavně mechanická zpoždění vznikající v regulátorech či měničích barvy). Příklad takovéto technologické hlavice, konkrétně pro práškové lakování, je znázorněn na obrázku 43, celý proces je pak znázorněn na obrázku 44. [27] [37]



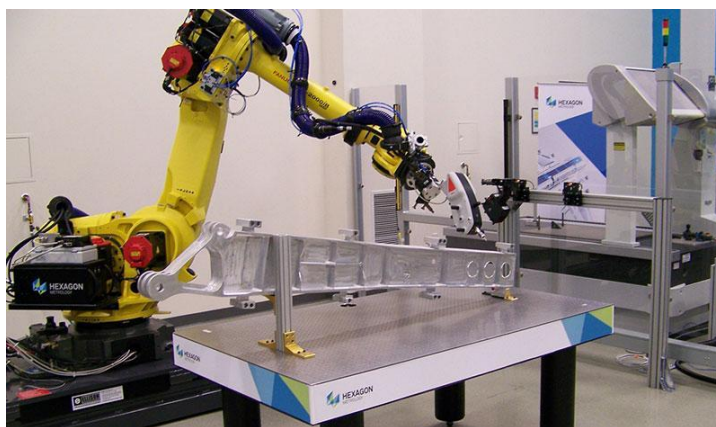
Obrázek 43 Příklad práškovací pistole na zápěstí průmyslového robotu [51] – detail



Obrázek 44 Práškové lakování pomocí šestiosého angulárního robotu [51]

3.5 Senzorické hlavice

Efektory spadající do této skupiny jsou zařízení určená pro sbírání informací. Takovéto hlavice tedy mohou nést jedno nebo více zařízení určených pro sběr dat. Může se jednat například o 3D scannery, kamery, dotykové sondy, snímače vzdálenosti, ale i drsnoměry, termometry, termokamery či tloušťkoměry. Příklad použití průmyslového robotu osazeného efektem s dotykovou sondou je znázorněn na obrázku 45. [23] [25] [27] [38]



Obrázek 45 Aplikace průmyslového robotu Fanuc v metrologické laboratoři [38]

3.6 Kombinované hlavice

Jak už název napovídá, do této kategorie spadají efektory, které na sobě nesou dva nebo více prvků, z nichž minimálně jeden spadá do jiné z dříve zmiňovaných kategorií (definovaných v kapitolách 3.3 Manipulační hlavice až 3.5 Senzorické hlavice) než zbývající. Přestože by se na základě tohoto popisu mohlo zdát, že jde spíše o nestandardní, velmi úzce specializovaná zařízení, opak je pravdou a kombinované hlavice jsou v průmyslové praxi masově rozšířené. [8] [27]

Asi nejrozšířenější je kombinace technologické a manipulační hlavice, tedy taková, která má za cíl jak manipulaci s předmětem (v tomto případě to bývá často polotovár výrobku), tak vykonání další operace na něm. Příkladem mohou být hlavice užívané pro vyjímání plastových výrobků ze vstřikovacích lisů. Jejich činnost obvykle zahrnuje jednak vyjmutí samotné, tedy uchopení a přemístění, což jsou činnosti příslušící efektorům manipulačním, jednak odstranění vtoku pomocí do efektoru integrované frézovací jednotky, což je činnost příslušící efektorům technologickým. [8] [27]

Častou možností je i spojení hlavice technologické (typicky obráběcí) a senzorické, díky čemuž může být po vykonání určité technologické operace stejným zařízením (myšleno stejným efektorom) provedena i mezioperační (eventuálně i finální) kontrola. [27]

V souvislosti s tím, že efektor se stává kombinovaným i integrací prvků příslušných těm senzorickým, je pro úplnost důležité říci, že různými senzory jsou vybaveny téměř všechny efektory, což je ještě nemusí řadit mezi efekторы kombinované. Pokud jsou dotyčné senzory určeny pouze pro řízení primárního procesu, k jakému byla hlavice určena (například měření vzdálenosti pro správné přiblížení a prevenci kolize), pak do kategorie kombinovaných nepatří. Aby tomu tak bylo, musí být integrovaný senzor užíván pro provedení jednoho nebo více úkonů, které nesouvisejí s provozem robotu nebo efektoru samotných, ale se samotnou vykonávanou činností. Typickým příkladem, jak již bylo zmíněno výše, je kontrola výsledku technologické operace provedené technologickou částí koncového efektoru. [8] [25] [27]

Obrovskou kapitolou problematiky kombinovaných hlavic jsou pak hlavice montážní. Automatizujeme-li montáž prostřednictvím průmyslových robotů a manipulátorů, musí náš efektor vždy vykonat dva úkony. Uchopení a přemístění komponenty na místo určení (tedy na místo zamontování), což je manipulační úkon, a následně zamontování samotné, což je technologickým úkonem. Běžným příkladem může být tvorba šroubových spojů. Uchopení a umístění šroubu na pozici je úkon manipulační, zašroubování pomocí šroubovací

jednotky je úkon technologický. Montážní lavice proto standardně řadíme do kategorie kombinovaných hlavic. [8] [27]

3.7 Speciální hlavice

Do této kategorie začleňujeme všechny efektory, které nelze zařadit do žádné z předcházejících. Jde o různé, velice specializované konstrukce pro nestandardní aplikace. Často do této kategorie spadají například zařízení pro medicínské aplikace. [27]

4. O společnosti P-D Refractories

V této kapitole je mým cílem provést základní seznámení se společností, pro kterou je tato práce zpracovávána a jejím výrobním portfoliem, zejména pak s jejich keramickými komínovými vložkami, jejichž výroba je ústředím tématem této práce.

4.1 Seznámení se společností

Společnost P-D Refractories CZ a.s. je součástí nadnárodní skupiny P-D Refractories spadající pod koncern Preiss-Daimler Group. Hlavním oborem její činnosti je výroba žárovzdorných materiálů a v tomto oboru patří mezi světovou špičku. [39]

4.1.1 Historie společnosti

Historie společnosti se začala psát v roce 1892 v tehdejší Rakousku – Uhersku. Firma Gessner a Pohl, provozující v té době těžbu jílu v oblasti Březiny, se rozhodla ve Velkých Opatovicích, hned vedle nově vzniklé železniční trati, vybudovat továrnu na žáruvzdorné výrobky s cílem zpracovávat jemnější frakce, které do té doby tvořily odpadní materiál. Nově vzniklé továrně produkující šamotové cihly a matly se podařilo na trhu uchytit, a ještě před začátkem nového století, v roce 1897 mohla začít rozšiřovat svou kapacitu. V té době již dodávala čtyři až devět a půl tisíce tun šamotových cihel ročně. [40]

Po komunistickém převratu v únoru 1948 byla společnost transformována na státní podnik a od roku 1950 nese název Moravské šamotové a lupkové závody Velké Opatovice. V tu dobu už vlastní několik výrobních poboček a během následujících desetiletí je rozšiřován o další. V šedesátých letech se navíc stává největším producentem šamotových výrobků ve střední Evropě. Jeho produkce toho času dosahuje až sto dvaceti tisíc tun výrobků ročně. [40]

V letech 1981 až 1985 byl vystaven závod Dinas Svitavy, který měl za úkol pokrýt výrobu produktů z tohoto materiálu (dinasu) a tuto funkci plní dodnes. [40]

Po listopadu 1989 se firma znovu transformuje v akciovou společnost a v roce 2000 odkupuje majoritní podíl společnost P-D Glas und Feurfestwerke Wetrow GmbH, čímž se stává součástí skupiny Preiss-Daimler Group („P-D“) a dostává současný název P-D Refractories CZ (slovo „Refractories“ lze do češtiny přeložit jako „žáruvzdorný materiál“). [40]

4.1.2 Současnost

V současné době je společnost jedním z největších výrobců žáruvzdorných materiálů. Do jejího portfolia spadají šamotové, dinasové či izolační kameny, žáruvzdorné jíly, ostřiva, malty, tmely

i betony a další produkty. Mezi její největší odběratele patří cementárny, vápenky, hliníkárny, ocelárny, sklárny, elektrárny, teplárny či spalovny, ale také stavební společnosti zabývající se běžnou výstavbou. [39]

Od roku 1992 jsou v závodu Dinas Svitavy (na obrázku 46) vyráběny také keramické komínové vložky. Jedná se o velmi úspěšnou sérii, se zcela unikátními vlastnostmi, jejíž úspěch spočívá mimo jiné ve speciálních křemenných píscích z dolů PD Kremen Doo, nacházejících se ve Slovinsku u města Mirna. Poptávka po nich dalece překračuje střední Evropu a kouřovody se svitavským jádrem tak nalezneme i například v USA nebo Japonsku. [39] [41]



Obrázek 46 Výrobní závod Dinas Svitavy

Mimo svůj výrobní program věnuje společnost v současné době značnou pozornost také možnostem automatizace výroby. V posledních letech tak mohlo dojít k několika projektům, během kterých se podařilo zmodernizovat některá pracoviště. Firma úzce spolupracuje se Strojní fakultou Českého vysokého učení technického v Praze, která se tak na některých z těchto projektů mohla podílet, a díky čemuž vznikly i unikátní technologická řešení. Na základě této spolupráce mohla vzniknout a stále vzniká i celá řada diplomových prací, přičemž tato je jednou z nich.

4.2 Keramické komínové vložky

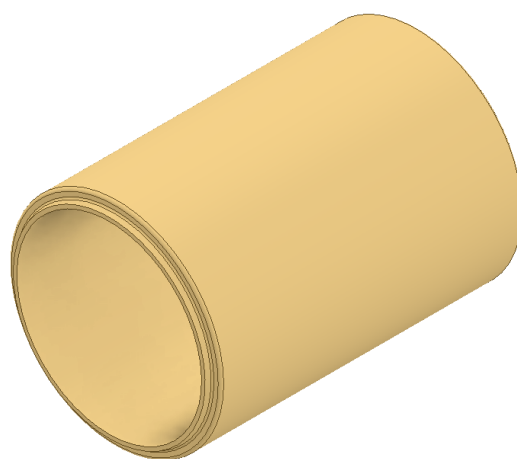
Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, keramické komínové vložky jsou v současné době důležitou součástí sortimentu P-D Refractories. Díky unikátnímu složení a vynikajícímu mixu vlastností, mimo jiné velmi vysoké životnosti a odolnosti proti vlivu spalin či kyselých kondenzátů, univerzálnosti použití či na poměry stavebního materiálu vysoké rozměrové přesnosti, je o ně mezi zákazníky velký zájem. [42]

Společnost očekává pokračující růst jejich prodeje i v budoucnu, a rozhodla se proto jejich výrobu automatizovat. V minulých letech byla proto zřízena plně automatizovaná linka, o které bude řeč v kapitole 5. Analýza současného stavu.

Vysoké poptávce odpovídá i šíře jejich rozměrového a tvarového portfolia. Mimo jednoduchých „trubkovitých“, třístáctimilimetrových základních komínových vložek KZ (viz. obrázky 47 a 48) existují i další varianty, nezbytné pro praktické aplikace. Přehled těch důležitých pro tuto práci (viz. kapitola 6.1 zadání). [42]



Obrázek 47 Základní komínová vložka o délce 330 mm KZ [42]

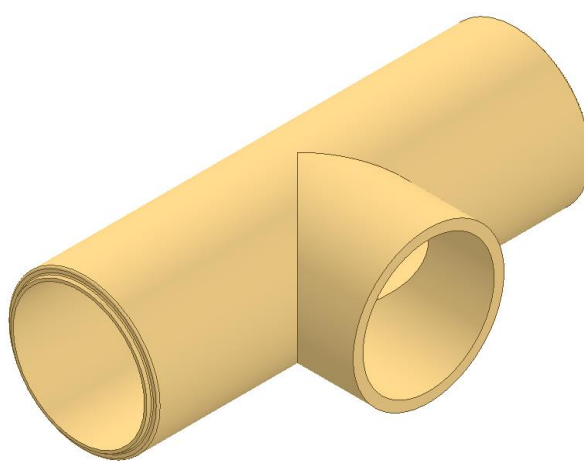


Obrázek 48 Základní komínová vložka KZ – CAD model [vlastní]

První z řady je tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90°, o délce 660 mm, označovaná jako KS 90. Je znázorněna na obrázcích 49 a 50.

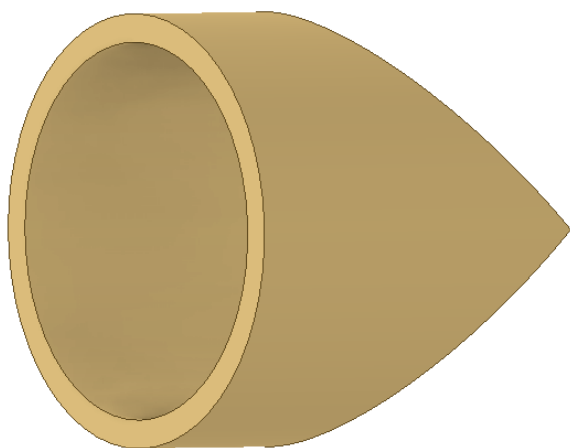


Obrázek 49 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90° o délce 660 mm KS 90 [42]

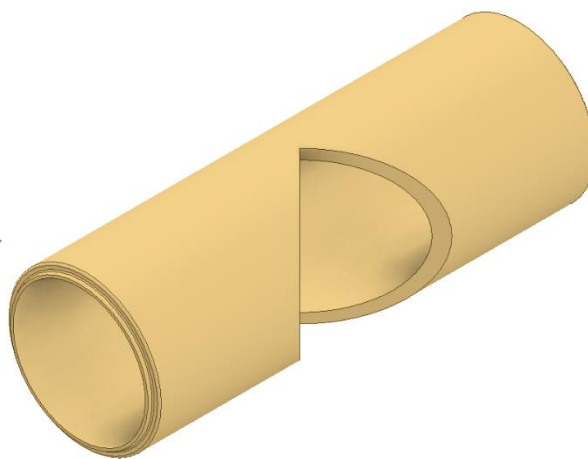


Obrázek 50 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90° o délce 660 mm KS 90 – CAD model [vlastní]

Je tvořena základní komínovou vložkou o délce 660 mm, pro potřeby této práce nadále značené jako KS 66, do které je vytvořen výřez k zasazení tzv. nátrubku pro připojení kouřovodu o úhlu 90°, značeným jako NATR 90 (viz obrázek 51). Komínová vložka KS 66 opatřená tímto výřezem bude pro účely této práce nadále značena KS 66 V 90 (viz obrázek 52).



*Obrázek 51 NATR 90 – CAD model
[vlastní]*

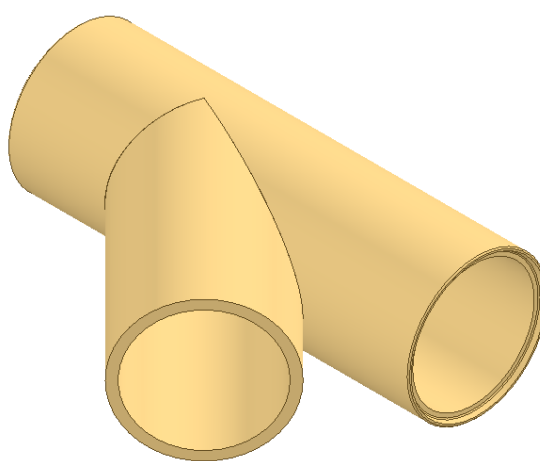


*Obrázek 52 KS 66 V 90 – CAD model
[vlastní]*

Druhou variantou je tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 45°, o délce 660 mm, označovaná jako KS 45. Je znázorněna na obrázcích 53 a 54.



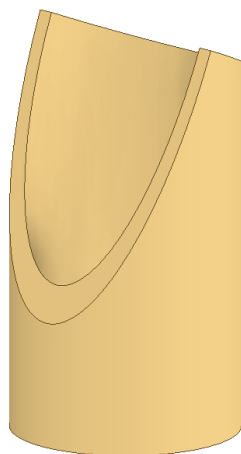
*Obrázek 53 Tvarovka pro
připojení kouřovodu pod úhlem
45° o délce 660 mm KS 45 [42]*



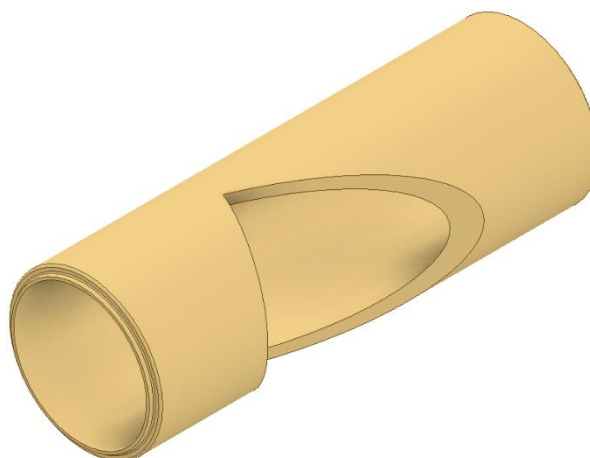
*Obrázek 54 Tvarovka pro připojení kouřovodu
pod úhlem 45° o délce 660 mm KS 45 – CAD model
[vlastní]*

Je tvořena základní komínovou vložkou o délce 660 mm – KS 66, do které je vytvořen výřez pro zasazení tzv. nátrubku pro připojení kouřovodu o úhlu 45°, značeným jako NATR 45

(viz obrázek 55). Komínová vložka KS 66 opatřená tímto výřezem, bude pro účely této práce nadále značena KS 66 V 45 (viz obrázek 56).



Obrázek 55 NATR 45 – CAD model [vlastní]

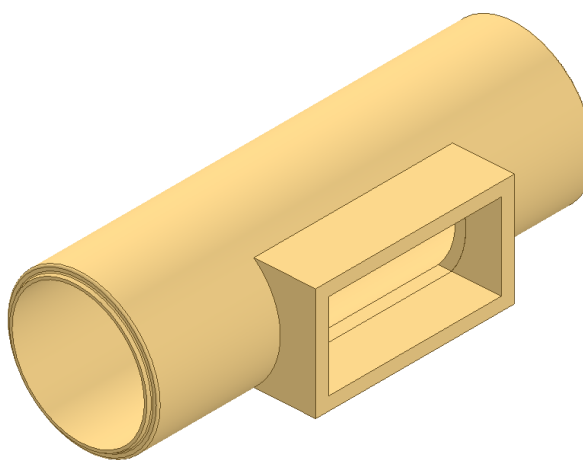


Obrázek 56 KS 66 V 45 – CAD model [vlastní]

Třetí podstatný produkt je komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek, označovaná jako KC. Je znázorněna na obrázcích 57 a 58.

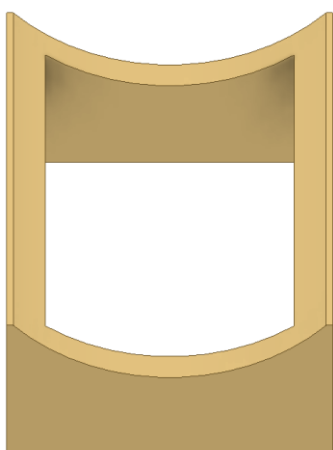


Obrázek 57 Komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek KC [42]

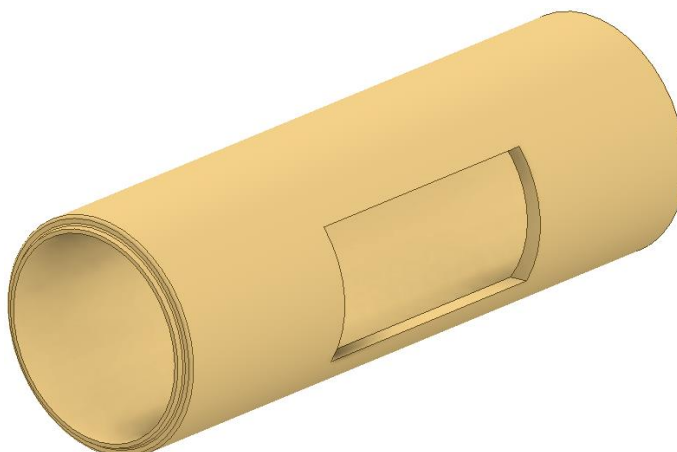


Obrázek 58 Komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek KC – CAD model [vlastní]

Je tvořena základní komínovou vložkou o délce 660 mm – KS 66, do které je vytvořen výřez pro dvířka, k němuž je přilepen rámeček pro čistící otvor komína, značený jako KC RAM (viz obrázek 59). Komínová vložka KS 66 opatřená tímto výřezem bude pro účely této práce nadále značena KS 66 D (viz obrázek 60).

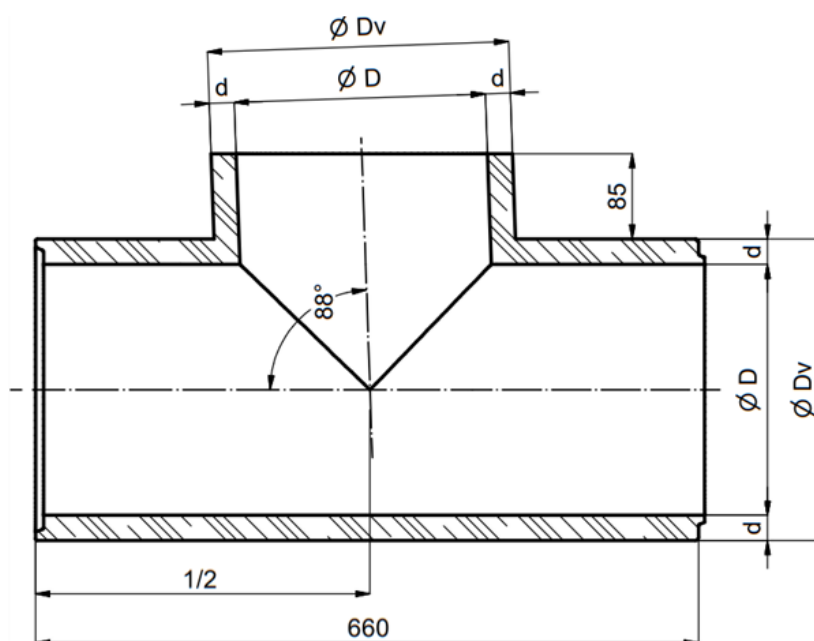


Obrázek 59 KC RAM – CAD model [vlastní]



Obrázek 60 KS 66 D – CAD model [vlastní]

Veškeré tyto varianty jsou samozřejmě k dispozici v různých rozměrových modifikacích, lišících se jak nominální světlostí, tak tloušťkou stěn. Příklad pro komínovou vložku KS 90 je znázorněn na obrázku 61 a v tabulce 1.



Obrázek 61 Variabilní rozměry v řadě keramických komínových vložek KS 90 [42]

Tabulka 1 Rozměrová řada keramických kominových vložek KS 90 [42]

Rozměry v [mm]			
POZICE	ØD	ØDv	d
KS 30	300	360	30
KS 25	250	300	25
KS 20	200	230	15
KS 18	180	210	15
KS 16	160	190	15
KS 14	140	170	15

5. Analýza současného stavu

V této kapitole je mým cílem v první části co možná nejpodrobněji popsat stávající výrobu a v té druhé tento stav analyzovat.

5.1 Momentální stav výroby

Produkce keramických komínových vložek probíhá momentálně v závodu Dinas Svitavy.

Výroba samotné „trouby“, tedy základu v podobě KZ nebo KS 66 probíhá na relativně nově zřízené, plně automatizované výrobní lince, které je zobrazena na obrázku 62. Její fungování je popsáno v následujících odstavcích.



Obrázek 62 Výrobní linka keramických komínových vložek [42]

Celý proces v této fázi výroby začíná kontejnery s unikátní směsí na bázi křemičitých písků a pojiv, ve kterých je směs uváděna do optimálního stavu pro výrobní proces – je tedy optimalizována například její vlhkost, teplota či samozřejmě homogenita.

Z nich je tento materiál pomocí pásových dopravníků dopravován na první stanoviště, na kterém je za pomoci šnekového lisu vtlačován do formy, ze které nám vyjíždí nekonečný profil komínové vložky. Ten je následně dělen na jednotlivé kusy. Původně k tomu bylo užíváno standardních technologií, ale vzhledem ke kontinuálnímu pohybu nekonečného profilu bylo zvoleno odvážnější řešení – obvodové řezání, pro které bylo ve spolupráci se Strojní fakultou ČVUT v Praze vyvinuto unikátní zařízení.

Pohyb nově vzniklých komínových vložek kontinuálně pokračuje i po oddělení, protože v okamžiku dělicího procesu se již větší část jejich těla nalézá na pásovém dopravníku,

po kterém jejich pohyb pokračují až k prvnímu kartézskému manipulátoru, jenž je přemístí na druhý dopravník kolmý k předešlému a usadí je do tvarového lůžka, ve kterém můžou pokračovat v pohybu (teď už radiálním vůči jejich ose).

Na dalším stanovišti jsou nově vytvořené „troubky“ oboustranně osazeny pro jejich budoucí propojování (osazení je patrné na obrázcích 47, 48 a 61). Tím je pro tuto chvíli dosaženo finálních tvarových charakteristik, a ty jsou na dalším stanovišti zkontrolovány za pomoci tzv. laser scanningu.

V případě že by nebylo dosaženo očekávaných výsledků, zůstane neshodný výrobek na své pozici na dopravníku a s jeho dalším pohybem je sklopen do drtiče a po rozemletí (je třeba si uvědomit, že stále nedošlo k žádnému vytvrzovacímu procesu) se vrací do kontejneru, kde se smísí s původní směsí, stabilizuje vlastnosti a může celý proces opakovat. V opačném případě jsou shodné výrobky uchopeny za pomoci průmyslového robotu vybaveného podtlakovým efektozem, modifikovaným právě pro chápání těchto vložek v nevytvrzeném stavu tak, aby nedocházelo k jejich deformaci (tato manipulace je považována za nejkritičtější část procesu), a jsou vertikálně umístěny na odkládací pozici, ze které jsou pomocí druhého robotu rovnány (nebo v případě kratších verzí, např. KZ, stohovány) na pecní vůz. Tento proces je zachycen na obrázku 63.



Obrázek 63 Rovnání syrových komínových vložek na pecní vozy [42]

Na pecních vozících syrové komínové vložky putují do sušících pecí, ve kterých se ještě, procesem vypálení sníží jejich vlhkost a tím i množství páry, které se uvolní během vypalování. To přichází na řadu hned po procesu sušení a probíhá v tzv. tunelových pecích, za teplot okolo 1250 °C. Po jeho skončení tak musí následovat ještě proces chladnutí.

V tento moment jsou základní komínové vložky v podstatě hotové. Současně mají po vypálení již pevný tvar, což umožňuje relativně jednoduchou manipulaci. Na řadu nyní přicházejí kontrolní procesy. V případě základních komínových vložek KZ jsou tyto kontroly již finální, a jsou-li uznány shodnými s požadavky, mohou být expedovány.

V případě ostatního sortimentu – tedy tvarovek jde však teprve o polotovary. V jejich případě jsou expedovány na pracoviště dělení – respektive tvorby tvarových výřezů, jako jsou například NATR 40 a KS 66 V 45 (obrázky 55 a 56). Tvorba těchto výřezů probíhá na standardních dílenských okružních pilách obsluhovaných lidským pracovníkem.

Vzniklé výřezy jsou následně transportovány na pracoviště lepení. Těch je v Dinasu Svitavy hned několik. Jde o velké haly, ve kterých jsou výřezy typu KS 66 V 45, KS 66 V 90 a KS 66 D umístěny na dlouhé stoly výřezem vzhůru, zatímco protikusy, tedy NATR 45, NATR 90 a KC RAM, jsou postaveny (v případě KC RAM položeny) na již vzniklé výřezy svou neseříznutou plochou. Toto rozmíst'ování přitom provádí ručně lidští pracovníci.

Stejně tak jako rovnání, i samotné lepení je prováděno lidmi. Pracovníci si vždy na konkrétní pracoviště nosí dvě plastová vědra, přičemž jedno obsahuje lepicí směs – „maltu“ a druhé vodu. Samotný proces lepení pak probíhá následovně:

- 1) Odložení horního protikusu „na stranu“
- 2) Náběr lepicí malty za pomoci destičkové stěrky
- 3) Nanesení malty po obvodu výřezu
- 4) Uchopení protikusu a zasazení do výřezu
- 5) Krátké dotlačení pro optimální přilnutí
- 6) Ruční odstranění vyroněné malty zevnitř i zvenčí
- 7) Omytí zbytků vyroněné malty pomocí namočené houby

Po tomto již následuje jen schnutí. Slepými tvarovkami nikdo nemanipuluje a čeká se na jejich vyschnutí v podmínkách běžného pracovního prostředí, po čemž znovu následuje kontrola a v případě jejího kladného výsledku export.

5.2 Rozvaha

V této kapitole bych rád současný stav a automatizační potenciál zhodnotil jak na základě informací od vedení společnosti a mého vedoucího práce, tak i na základě svých vlastních dojmů z návštěvy firmy.

Jak je z minulé kapitoly zcela zřejmé, proces automatizace provozu je již v chodu a první fáze – tedy samotná výroba již velmi dobře automatizována byla. Prostor pro automatizaci tedy spočívá ve druhé fázi – tedy tvorbě tvarovek. Důvodů k tomu vedoucích je celá řada.

V první řadě se samozřejmě jedná o práci jejíž kvalita a rychlost provedení jsou velmi závislé na lidském faktoru, respektive především umu, preciznosti a výkonnosti pracovníků. V tomto ohledu je na místě tyto zaměstnance vyzvednout, protože tempo, ve kterém dokázaly svoje úkoly plnit, bylo (minimálně z mého osobního pohledu) skutečně vysoké a dosahované výsledky působily velmi přesvědčivě.

Navzdory řečenému je ale zřejmé, že tento um musel být získán dlouhou praxí, a přestože se jedná o relativně jednoduchou činnost, probíhá v takovém tempu, které vyžaduje její velmi dobré zapsání do svalové paměti, což znamená, že zapracování nově příchozích pracovníků musí trvat značnou dobu, během které je jejich výkon mnohem nižší oproti pracovníkům zkušeným. Stejně tak je zde důležité říci, že toto pojetí je náročné nejen na výkonnost zaměstnanců, ale taktéž na jejich počet, který musí být mnohem vyšší než počet zaměstnanců obsluhy v automatizovaném provozu.

Jako největší problém se jak z pohledu vedení firmy, tak i mého ale jeví obrovská prostorová náročnost. Vzhledem k tomu, že tvarovky schnou po slepení na svých místech, zabírají prostory těmto činnostem vyhrazené neúměrnou plochu, což je podpořeno faktem, že schnutí v pracovním prostředí (v době mé návštěvy v podzimních měsících jsem se zde cítil komfortně v lehké bundě) probíhá mnohem pomaleji, než by tomu mohlo být v prostředí vysoušecí pece.

Všechny tyto činnosti tak nesou velký optimalizační i automatizační potenciál.

6. Návrh řešení

V této kapitole je mým cílem definovat zadání projektu prezentovat mnou navrhované řešení. V první části tedy shrnuji požadavky společnosti P-D Refractories. V té druhé popisují celkový výsledný návrh, jeho jednotlivé části a funkce. Ve třetí části bych rád hlouběji rozebral jednotlivá technologická řešení a prezentoval důvody vedoucí ke konkrétním rozhodnutím, volbám a řešením.

6.1 Zadání

Společnost P-D Refractories plánuje v závodu Dinas Svitavy vybudovat linku na výrobu tvarovek, jejíž první část – tvorba výřezů je námětem této práce. V této kapitole přináším stručný výčet požadavků na výsledný výstup:

- 1) Automatizace se týká tvarovek typu KS 45, KS 90 a KC, ovšem pouze dvou nejrozšířenějších rozměrových variant o nominální světlosti 180 mm a 200 mm.
- 2) Očekávaný výstup je 1 000 kusů za den při dvousměnném provozu, přičemž každá směna trvá 7,5 hodiny (což znamená nový výrobek každých 54 sekund).
- 3) Je předpokládáno, že linka bude spouštěna v případech potřeby – tedy jakožto okamžitá reakce na novou objednávku. Přáním společnosti tak je, aby její spuštění nebylo časově příliš náročné a nevyžadovala nadstandardní množství přípravných úkonů.
- 4) Je žádáno rapidní snížení momentální plochy vázané pro tuto činnost.

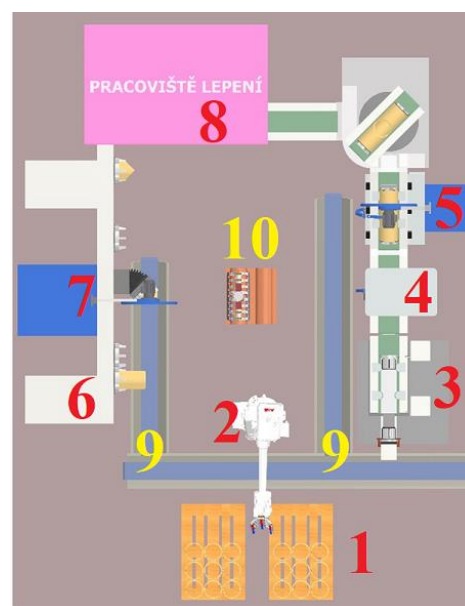
Toto je tedy úkol této práce.

6.2 Výsledný návrh

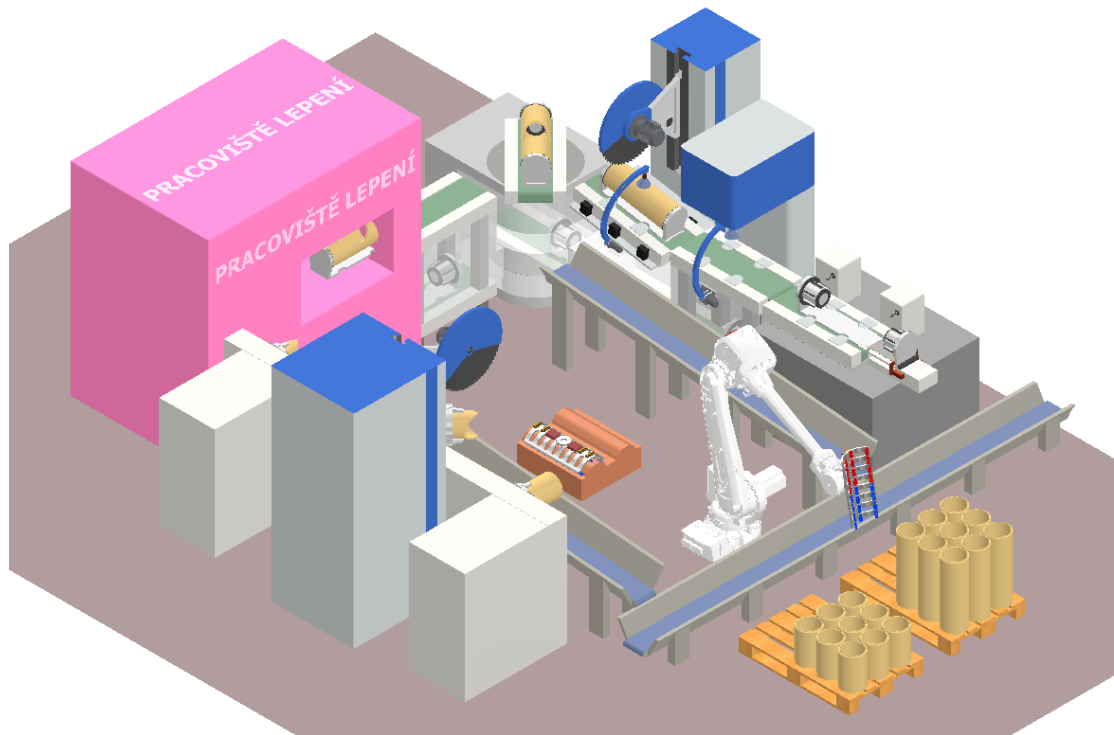
Celkový pohled na výsledný návrh je znázorněn na obrázcích 65 až 67. Jedná se o plně automatizovanou výrobní linku, do jejíž činnosti nemusí lidský pracovník, s výjimkou doplňování materiálu – tedy v tomto případě komínových vložek KS 66 a KZ, nijak zasahovat.

Celý proces je možno rozdělit do několika fází, které budou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách. Zde nicméně přináším základní, velmi stručné shrnutí. Jednotlivé části procesu jsou barevnými čísly označeny na obrázku 64 (větší verze půdorysu viz obrázek 67).

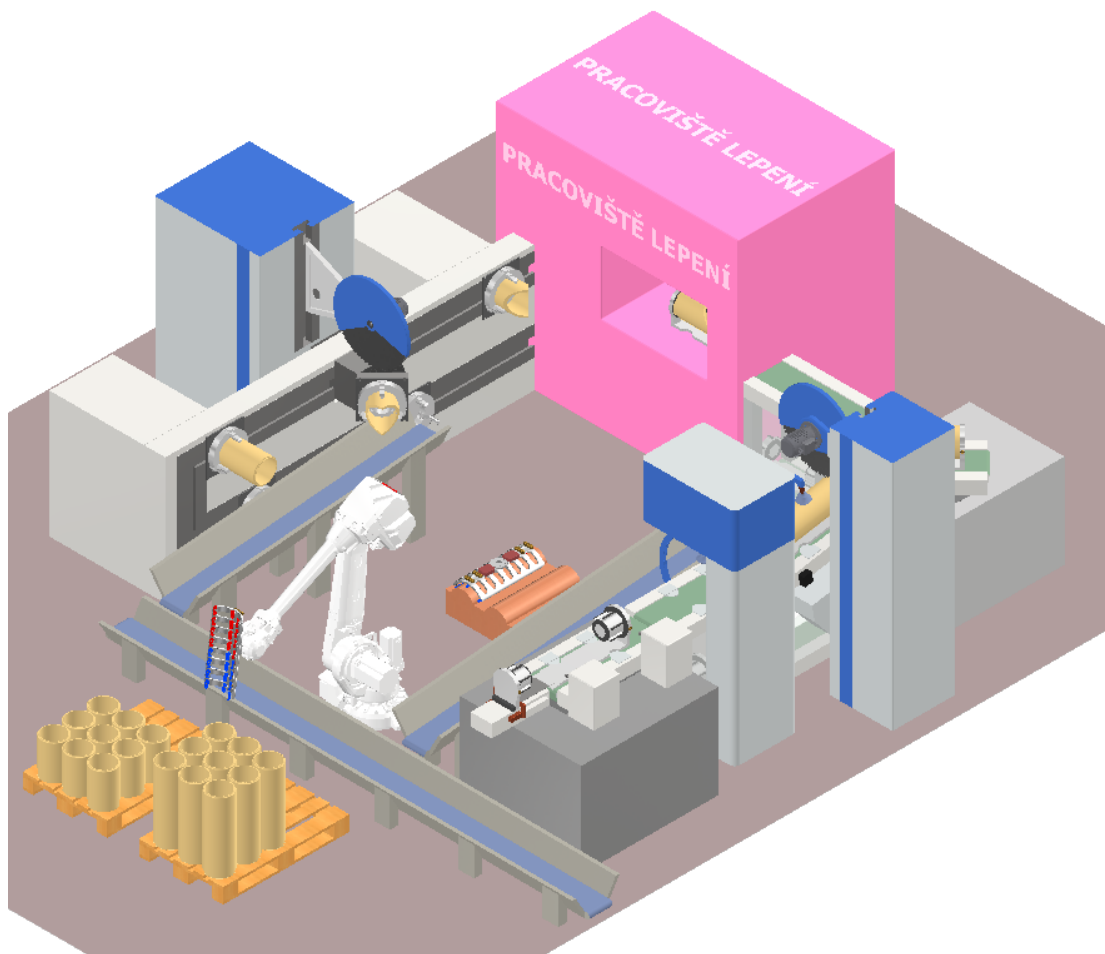
Proces začíná na čísle 1, umístěním europalet s komínovými vložkami KS 66 (na obrázku vpravo) a KZ (na obrázku vlevo) na definovanou pozici. Jednotlivé komínové vložky jsou pak odebírány pomocí průmyslového robotu s podtlakovým efektozem (číslo 2) a umísťovány na začátek linky samotné. Pokud se jedná o vložky KS 66, tedy z pohledu výroby tvarovek polotovary pro KC, KS 45 a KS 90, umístí je robot do upínacího přípravku, ve kterém bude za pomoci upínacího zařízení (obojí pod číslem 3) zafixován, a ve kterém setrvá po zbytek procesu. Následně je spuštěn pohyb pásového dopravníku a přípravek i komínovou vložkou se zastaví na jednom z pracovišť tvorby výřezu, tedy buď na pozici 4 pro výřez typu KC nebo 5 pro výřez typu KS 45 a 90. Poté pokračuje na pracoviště lepení (číslo 8). Pokud se jedná o vložky KZ, tedy z pohledu výroby tvarovek polotovary pro NATR 45 a 90, jsou umístěny do upínacího zařízení na pozici 6 a i s ním jsou pomocí dopravníku přesunuty k pile (číslo 7) kde proběhne seříznutí a pokračuje na pracoviště lepení 8. Odpad je dopravován mimo pracoviště za pomoci pásových dopravníků (číslo 9). Mimo toho je na obrázku ještě vyznačena pozice 10. Jde o stanoviště výměny efektozů.



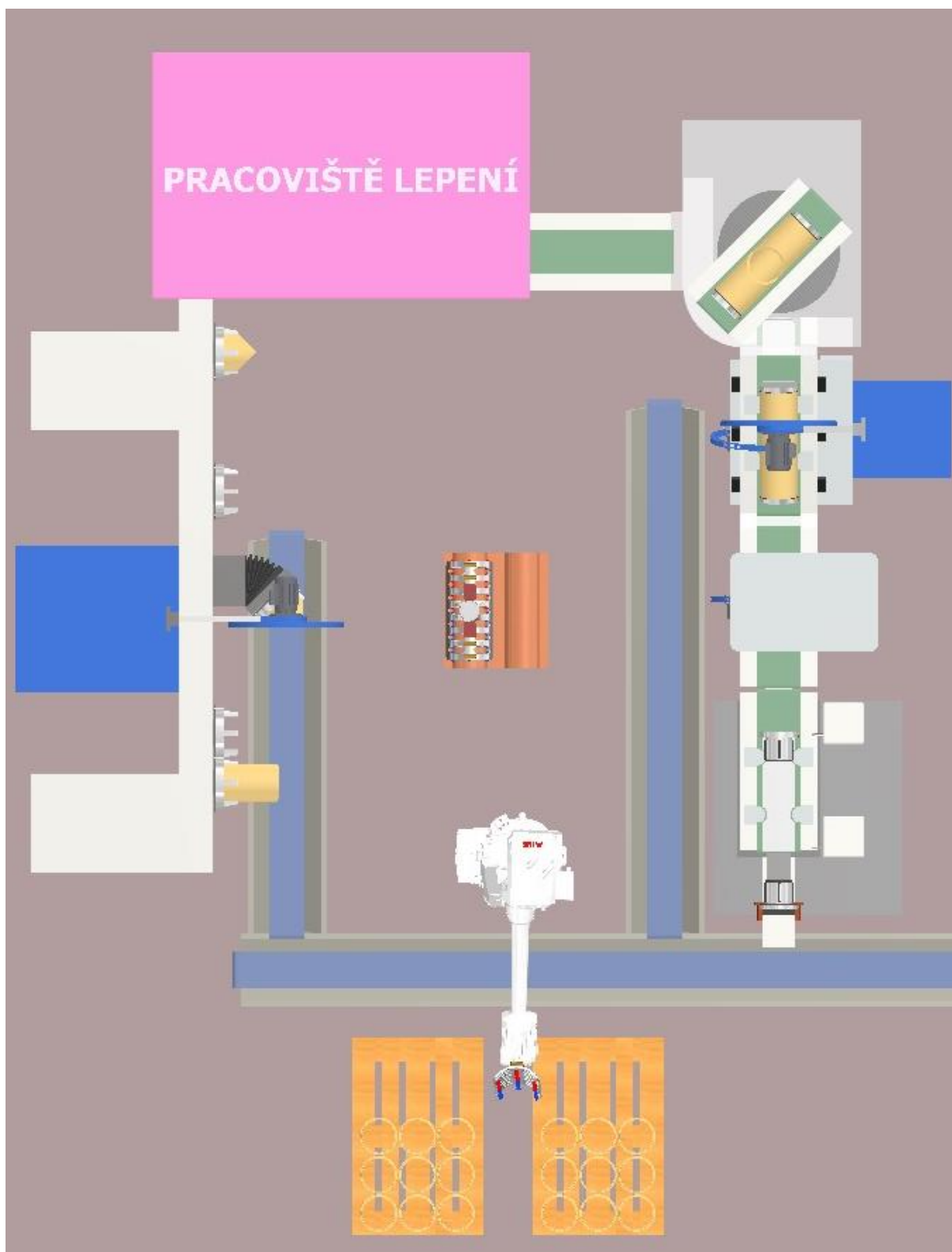
Obrázek 64 Jednotlivé části výrobní linky [vlastní]



Obrázek 65 Výsledný návrh pracovní linky – pohled na zpracování KS 66 [vlastní]



Obrázek 66 Výsledný návrh pracovní linky – pohled na zpracování KZ [vlastní]

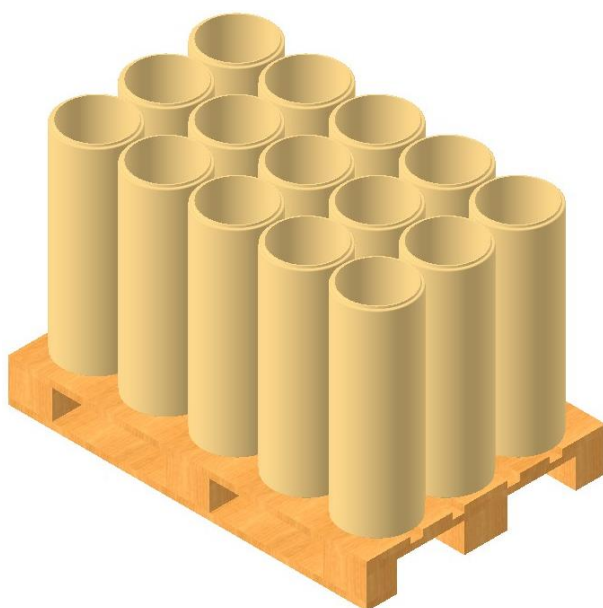


Obrázek 67 Výsledný návrh pracoviště tvorby výřezů v půdorysném pohledu [vlastní]

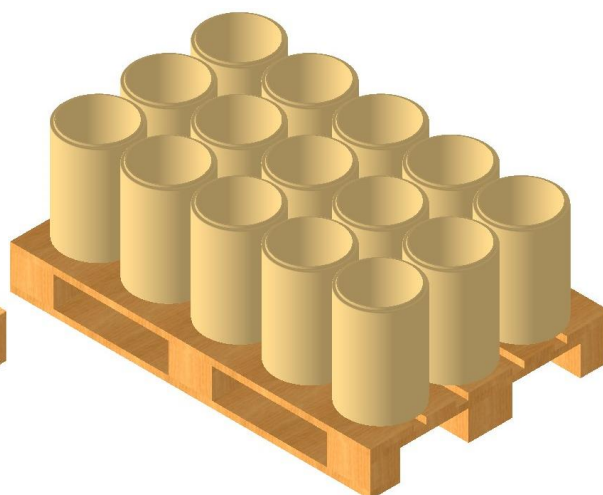
6.3 Vstup

Jak již bylo řečeno v kapitole 5.1 Momentální stav výroby, komínové vložky jsou po svém vytvoření umisťovány na pecní vozíky a na nich podstupují nejdříve vysoušení a následně vypálení. Po těchto na sebe přímo navazujících procesech jsou narovnány na standardní europalety, na kterých se dopravují nejdříve na pracoviště kontroly a následně buď expedují nebo pokračují na další zpracování – tedy tvorbu tvarovek.

Vstupem pro celou výrobní linku jsou tedy komínové vložky KS 66 a KZ vertikálně vyrované (slovo vertikálně zdůrazňuji) na standardních europaletách (viz. obrázky 68 a 69).



*Obrázek 68 Komínové vložky KS 66
na europaletě [vlastní]*



*Obrázek 69 Komínové vložky KZ
na europaletě [vlastní]*

Vzhledem k tomu, že jejich poloha je zcela klíčová pro problematiku volby efektoru (viz kapitola 6.4 Průmyslový robot a jeho efektor, uvažoval jsem nad možností tuto polohu změnit, a to buď způsobem přerovnání nebo modifikací předešlé fáze. Konkrétně se mi jednalo o možnost jejich vstupu ve vodorovné poloze, neboť by to znamenalo možnost velmi snadného a efektivního uchopení mechanickým chapadlem za vnitřní stěnu. Pro tuto jsem i vytvořil jeden návrh efektoru (viz obrázek 70). Nicméně obě varianty jsem rychle zavrhl z následujících důvodů:

Možnost přerovnání nedává smysl – v praxi by to totiž znamenalo, že bych komínovou vložku musel uchopit jedním způsobem (a tedy mít ji již uchopenou) a napolohovat, abych ji následně mohl (znovu) uchopit jiným způsobem. Modifikace v nedávné době

již automatizovaných procesů by zase byla komplikovaná jak z pohledu projekce, tak z pohledu plynulosti výroby. A co více, vodorovná pozice je pro dutý válec sice výhodnější z hlediska možností uchopení (ať už člověkem či manipulátorem), ovšem pro přepravu na paletách je zcela nevhodná, jelikož by se jednoduše „kutálely“ a bylo by je tak nutné fixovat.

Vstup tedy zůstává v původní podobě.

6.4 Průmyslový robot a jeho efektor

Poté co jsou palety s komínovými vložkami KS 66 a KZ umístěny na pozici je nutné jednotlivé kusy postupně odebírat a umisťovat na začátek linky do upínacích přípravků, to vše v reálném čase výrobního taktu. K tomuto účelu jsem se rozhodl využít průmyslového robotu. Z možností uvedených v kapitole 2.2 Základní konstrukce průmyslových manipulátorů a robotů jsem zvolil standardní angulární šestiosý robot. Dle požadovaných vlastností bych po rešerši nabídky doporučil zařízení ABB IRB 4600-40/2.55 (je zobrazován na obrázcích v této práci) nebo Fanuc M-20iD/35 (preferovaná varianta). Důvody této volby jsou následující: [43] [44]

V první řadě tato konstrukce umožňuje naklánění manipulovaného objektu, což je vzhledem k tomu, že upínání probíhá ve zcela jiné poloze, než v jaké jsou komínové vložky na místo dopravovány nezbytné. V druhé řadě jí nedělá problém obcházení překážek a pozitivním bonusem je i relativně velký dosah při poměrně malé zástavné ploše (v porovnání například s portálovým), Kromě těchto konstrukčních charakteristik je výhodou i velmi široká nabídka robotů této konstrukce na trhu a samozřejmě s tím spojené také velké množství firem, které se jejich instalacemi a seřizováním zabývají, což usnadní následnou realizaci projektu. Mezi výhody patří samozřejmě také to, že zařízení stejného typu pracuje v Dinasu Svitavy už několik, což znamená, že zaměstnanci již mají s tímto typem zkušenosti a firma disponuje adekvátním technologickým i softwarovým vybavením.

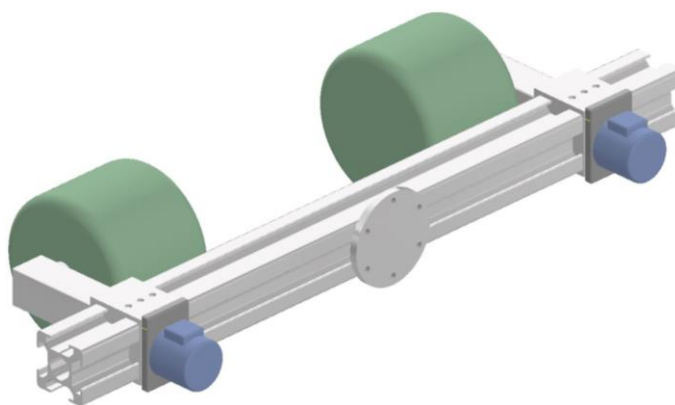
Nezbytnou součástí průmyslového robotu je jeho efektor, v tomto případě efektor manipulační. Z jednotlivých typů definovaných v kapitole 3.3 Manipulační hlavice přichází v úvahu buď mechanický aktivní nebo podtlakový aktivní.

Magnetické hlavice byly vyloučeny okamžitě, jelikož manipulované objekty jsou v tomto případě keramické, tedy z diamagnetického materiálu. Jak v případě mechanických, tak i podtlakových byly rovněž vyloučeny pasivní varianty. Jelikož komínové vložky stojí vertikálně vyrovnané na paletě bez dalšího zajištění a váha jedné přesahuje v případě KS 66 dvanáct kilogramů, není možné na ně zatlačit silou dostatečnou pro upnutí pasivní přísavkou nebo pružnými čelistmi, aniž by se, především v případě těch stojících v poslední řadě,

nezhroutily. Vzhledem ke svislé vstupní poloze (důvody viz. kapitola 6.3 Vstup) je vyloučena i varianta gravitačního upnutí, jelikož není přístupná žádná stěna, za kterou by bylo možné gravitační uchopení provést.

Stejně tak se ukázalo být problematické využití klasických aktivních čelistí pro vnější uchopení. Na první pohled se sice jeví takřka ideálně, totiž ovšem přichází s faktem, že vložky jsou narovnané velmi těsně k sobě, což znamená, že k těm uprostřed palety může být přístup jen z jejich sto osmdesáti stupňů obvodu, což na mechanické uchycení válce nestačí. Současně vzhledem k váze přesahující pro KS 66 dvanáct kilogramů není možné při užití běžných technologií a materiálů navrhnout chapadla tak, aby byla dostatečně tenká, a aby se dala mezi chápanou a zbývající vložky zasunout (tedy aniž by ty ostatní nebyly poraženy nebo minimálně posunuty) a současně měli dostatečnou nosnost pro jejich váhu.

V rámci úvah o nejvhodnější variantě jsem vytvořil několik návrhů, z nichž příklad jednoho z nich je znázorněn na obrázku 70. Jeho princip měl spočívat v zasunutí tlakových vaků (na obrázku zeleně) do dutiny komínové vložky a jejich následném natlakování, čímž by byla zajištěna pevnost úchopu a současně kompenzovány rozměrové odchylky objektu. Variabilita pro rozdílné rozměry KZ a KS 66 měla být zajištěna axiálním pohybem úchopných prvků po nosné liště a hlavní předností této hlavice měla být velmi nízká cena vzhledem k tomu, že je tvořena z univerzálních stavebnicových montážních profilů. Tato varianta byla ale jako mnohé další zamítnuta, především protože by vyžadovala vodorovnou vstupní pozici.

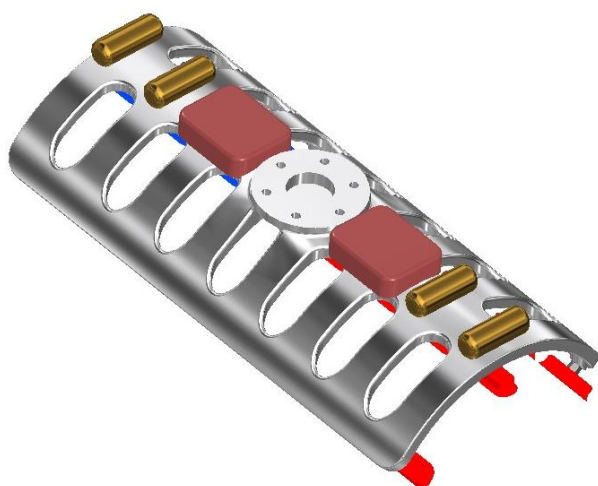


Obrázek 70 Jeden z možných návrhů efektoru [vlastní]

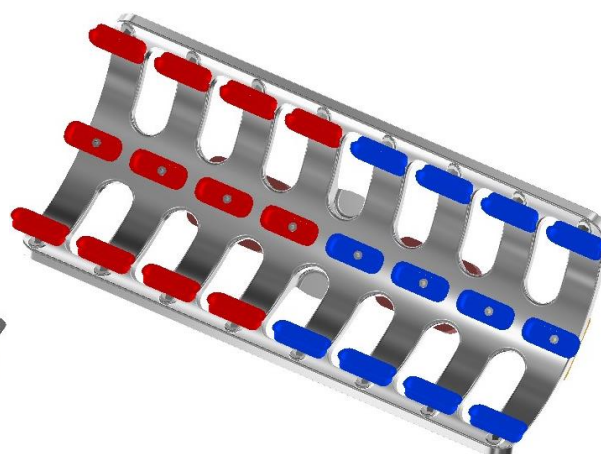
Jak už tedy z předchozích odstavců vyplývá, jako jednoznačně nejvýhodnější volba se jeví aktivní podtlaková úchopná hlavice. Podtlakové přísavky lze dostatečně pevně přisát i na relativně malou plochu manipulovaného předmětu a samotné přisátí nevyvine na komínovou vložku takový tlak, aby způsobil její pád. Současně je s jeho pomocí snadno

chápat předměty v různých polohách, tedy i v této vertikální. Bonusovou výhodou je i fakt, že efekторы tohoto druhu jsou v Dinasu Svitavy již užívány, což znamená jak již zkušené pracovníky, tak i například usnadnění nákupů náhradních dílů.

Pro konkrétní konstrukci (na obrázcích 71 a 72) jsem zvolil tvarové (obdélníkové) přísavky, umístěné ve třech řadách. Odsávání vzduchu musí být rozvedeno tak, aby bylo možné přepínat mezi režimem pro uchopení KS 66 o délce 660 mm, což předpokládá zapojení všech přísavek, a režimem pro uchopení KZ o délce 330 mm, což předpokládá zapojení pouze poloviny přísavek, na obrázcích 71 a 72 vyznačených modrou barvou. Vzhledem k faktu, že stavební materiály nemají tak striktní rozměrové tolerance jako je standardem ve strojírenství, je třeba tyto nepřesnosti kompenzovat. Volím proto upnutí pomocí kulového čepu, což umožní lehký náklon přísavek v závislosti na tlaku při dosedání součásti.



Obrázek 71 Podtlakový efektor – horní pohled [vlastní]

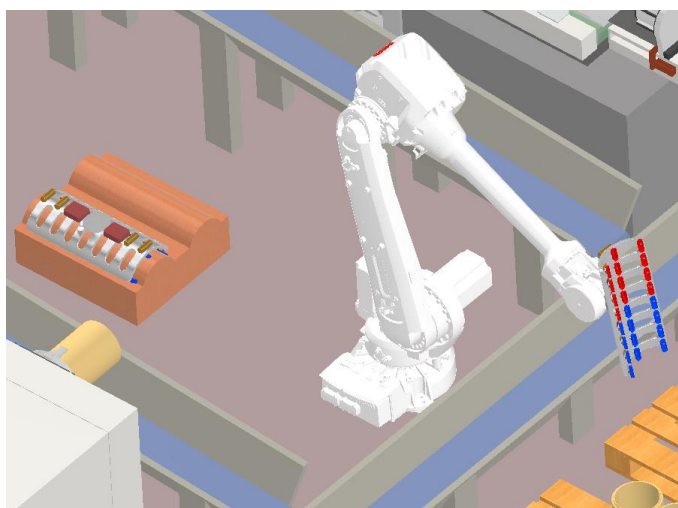


Obrázek 72 Podtlakový efektor – spodní pohled [vlastní]

Dalším aspektem v konstrukci efektoru je fakt, že rozměrové portfolio zpracovávaných komínových vložek se skládá ze dvou nominálních průměrů – 180 mm a 200 mm. To lze řešit buď tvarově nastavitelnou konstrukcí úchopné hlavice nebo jednodušeji vytvořením dvou – každé pro jiný nominální rozměr a jejich výměnou při každé změně. Varianta nastavitelného efektoru se z hlediska plynulosti provozu jeví jako efektivnější, neboť takováto transformace by zabírala mnohem méně času než proces výměny (čas na přenastavení odhaduji na 2 až 3 sekundy, čas výměny na 10 až 20 sekund). Nicméně by to vyžadovalo mnohem složitější konstrukci.

Vzhledem k tomu, že tyto změny nebudou probíhat příliš často (viz. 6.1 Zadání), nemá předpokládaná úspora času potenciál kompenzovat výrazně složitější (a tím také výrazně dražší a potenciálně poruchovější) konstrukční pojetí.

Na základě tohoto jsem se tedy rozhodl pro vytvoření dvou podtlakových aktivních úchopných hlavic, které budou při změně výrobků automaticky měněny. Výsledný návrh je znázorněn na obrázcích 71 a 72. Na obrázku 73 je pak detail robotu a jeho efektorů na pracovišti.



Obrázek 73 Výsledná aplikace průmyslového robotu osazeného výsledným efektoem a odkládacím prostorem pro výměnu a uložení neaktivního efektoru [vlastní]

6.5 Upnutí

Upnutí je jedním ze zásadních bodů celého procesu. V této práci je mým úkolem automatizovat tvorbu výřezů. Jak ale již bylo řečeno v kapitole 6.1 zadání, na tuto činnost přímo navazuje proces lepení. Během něj je klíčové, aby na sebe součásti dosedly s požadovanou přesností. Jak je patrné z obrázků v kapitole 4.2 Keramické komínové vložky, především pak obrázek 61, je během lepení nutné „trefit se středy výřezů do sebe“.

V kapitole 2.1.3 Senzorický subsystém jsem psal o možnostech senzorického subsystému, který by umožňoval dosažení přesného spojení buď pomocí kontaktního či nekontaktního odměření polohy na počátku děje nebo zapolohování za pomoci silových senzorů. Obě tyto varianty v sobě ale nesou další náklady jednak na senzory jako takové, ale především vyžadují mnohem složitější zařízení než jen v jednom směru se pohybující pinolu, neboť by bylo nutné mezi proces odměřování a proces lepení včlenit ještě proces napolohování obou protikusů do správné – tedy protilehlé pozice.

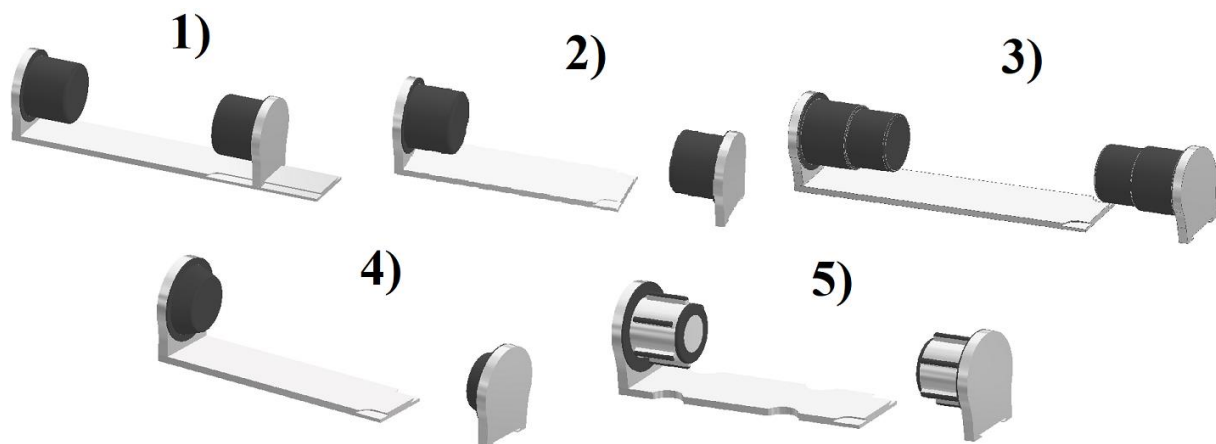
Rozhodl jsem se proto pro zcela jiný přístup. Komínové vložky budou na začátku linky, tedy v době, kdy mají ještě prostý tvar dutého válce, ihned pevně upnuty do upínacího přípravku. Pevně upnuté v tomto přípravku podstoupí tvorbu výřezu, což znamená že výsledný řez bude mít vůči tvarově jednoznačně definovanému přípravku jednoznačnou polohu. Následně bude během lepení možné oba protikusy přesně spasovat, neboť přípravky budou jednoznačně tvarově definované a poloha řezu zase bude jednoznačně definována vůči přípravku.

Jak již bylo řečeno v kapitole 6.4 Průmyslový robot a jeho efektor, komínová vložka bude na místo dopravena za pomoci průmyslového robotu osazeného podtlakovou aktivní úchopnou hlavicí. Konstrukce přípravku tedy musí umožňovat přístup tohoto zařízení. Dále je nutné, aby přípravek nepřekážel dalším činnostem – tedy tvorbě výřezu ani následnému lepení. A samozřejmě musí být schopen upnutý objekt udržet v pozici i během vystavení rezným silám.

Vzhledem k tomu, že máme dva různé vstupy – KS 66 a KZ na nichž budou tvořeny odlišné typy výřezů, bylo nutné vytvořit také dva různé upínací přípravky.

6.5.1 Přípravek pro upnutí KS 66

KS 66 slouží jako polotovar pro výrobu KS 45, KS 90 a KC. Těmto všem je společné, že jejich výřez se nalézá na boční stěně a nezasahuje do části větší než 180° jejich obvodu, zatímco konce jsou netknuté. To znamená, že výřez je možno snadno vytvořit na jedno upnutí ve vodorovné poloze, a že k jejich upnutí jsou ideální koncové části. Z logiky prostoru se pak jeví jako výhodnější upnutí vnitřní, což nese rovněž výhody pro snadnější zasazení manipulátorem. Na základě toho jsem navrhl základní koncepci, pro kterou jsem následně vytvořil několik variant. Všechny tyto jsou znázorněny na obrázku 74.



Obrázek 74 Jednotlivé návrhy upínacího přípravku [vlastní]

Varianty 1) až 2) předpokládají upnutí nasazením mezi dva pryžové trny a stlačením mezi nimi. Jejich problémem je, že nejsou variabilní pro změnu nominální světlosti – tedy střídání výroby komínových vložek o nominálních světlostech 180 mm a 200 mm, což znamená, že by je bylo nutně při každé změně výrobního programu vyměnit (ať už ručně nebo za pomoci automatizace), což znamená prodlevu a nadbytečnou činnost. Návrhy 3) až 5) se tento problém snaží řešit. Varianta 3) se pokouší řešit nutnost výměny osazením trnu. To by ovšem znamenalo značné prodloužení upínacího tělesa, se všemi důsledky toho (vyšší váha, komplikovanější manipulace, ...). Ani jedna z dosud definovaných variant navíc neřeší rozměrové odchylky komínových vložek, což nese riziko, že na některé nebude působit dostatečné tření proti řezným silám během zpracování, zatímco jiné by nemuselo být možné nasadit. Všechny tyto problémy se pokouší řešit varianta 4), která zvažuje možnost použití kuželového trnu. Ten by jak kompenzoval rozměrové odchylky, tak i řešil změnu upínaných průměrů. Jeho problém je, že tření by bylo přenášeno jen velmi malou styčnou plochou, která by pro zde užívané řezné podmínky nebyla dostačující. Všechny tyto problémy řeší varianta 5), stavící na principu mechanického sklíčidla. Výsuvné čelisti lze dotahovat bez ohledu na tvarové odchylky definovaným momentem, který zajistí dostatečné přetížení proti řezným silám a současně je lze velmi snadno přenastavit při změně výrobního programu.

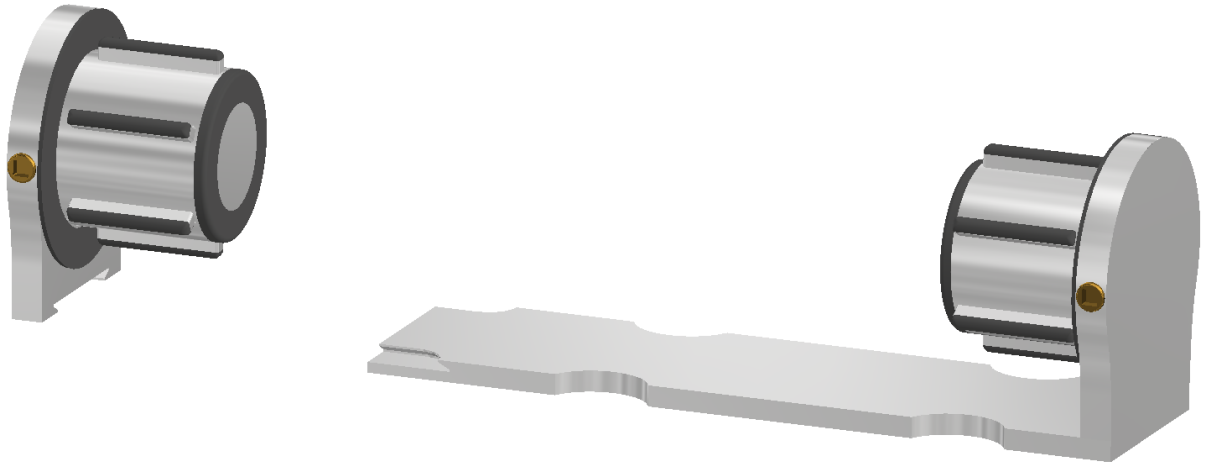
Mimo problému definovaného v předešlém odstavci je také nutné řešit samotné vsazení komínové vložky průmyslovým robotem. Ve všech pěti variantách je nutné od sebe upínací prvky oddálit, aby mohli být následně vsunuty dovnitř. Vzhledem k délce těchto trnů 150 mm se přitom jedná o relativně velkou vzdálenost. Návrh 1) se toto pokouší řešit za pomoci prodloužení základní lišty. To ale celé upínací zařízení znovu výrazně prodlužuje. Proto je třeba vytvořit specializované automatické zařízení, na kterém bude možné tento proces provádět při „vyjetí“ celého jednoho koníku mimo základní lištu, což je cesta, kterou se ubírají všechny ostatní návrhy.

Na základě této rozvahy byla vybrána varianta 5), znázorněná samostatně na obrázku 75.

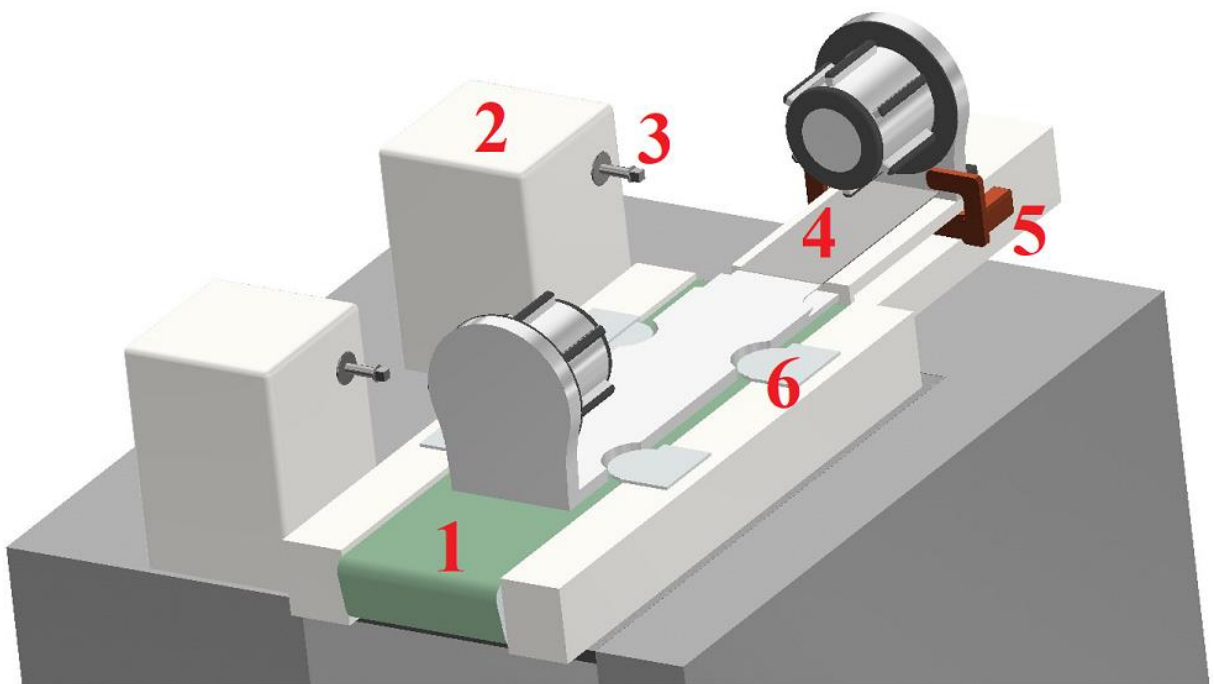
Jak již bylo zmíněno výše, samotné upnutí musí být provedeno za pomoci speciálního k tomuto účelu vytvořenému zařízení. Jeho návrh je znázorněn na obrázku 76 i s číselným označením jednotlivých funkčních prvků. Jeho princip je tedy následující:

Upínací prvek je uložen na pásovém dopravníku (číslo 1) a na své konkrétní pozici fixován pomocí mechanických upínek (číslo 6). Pohyblivý koník je za pomoci zařízení označeného číslem pět odsunut po liště (číslo 4) kopírující tvar tvarové dráhy na upínacím

prvku, fixován na jejím konci po dobu, než efektor umístí komínovou vložku na pozici a poté je zase nasunut zpět, čímž je komínová vložka axiálně zafixována. Zařízení označené číslem 2 následně vysune pinolu zakončenou čtyřhranem (číslo 3) a jejím otáčením „dotáhne“ sklíčidlo na požadovaný moment, čímž je komínová vložka zafixována radiálně a současně je zajištěna hlavní upínací síla. Toto zařízení bude třeba vyrobit na zakázku.



Obrázek 75 Výsledný upínací prvek [vlastní]

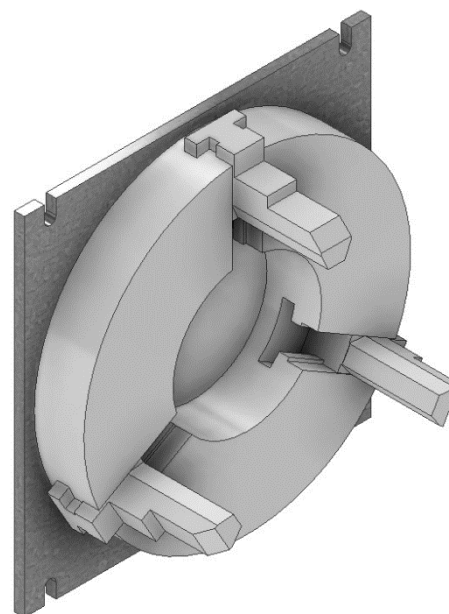


Obrázek 76 Upínací zařízení [vlastní]

6.5.2 Přípravek pro upnutí KZ

KZ slouží jako polotovar pro výrobu NATR 45 a 90. V obou případech dochází k oříznutí pouze na jednom konci, přičemž osa pilového kotouče musí být v tomto případě kolmá k ose komínové vložky. Současně ovšem platí, že vzhledem k celkové délce vložky KZ 330 mm, jejíž ořez je v případě NATR 45 cca 203 mm ve směru její osy, což znamená, že pro upnutí zbývá délka maximálně 127 mm, a to včetně bezpečné vůle mezi upínacími prvky a pilovým kotoučem.

Na základě těchto parametrů jsem se rozhodl pro upnutí do jednoduchého sklíčidla znázorněného na obrázku 77.



Obrázek 77 Upínací zařízení pro výrobu NATR 45 a 90 [vlastní]

6.6 Dopravníky

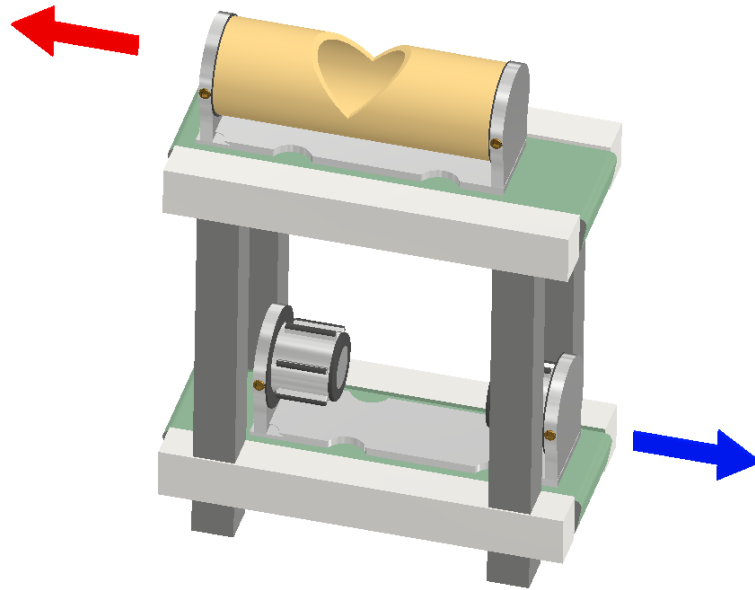
Komínové vložky upnuté v upínacích přípravcích je nyní nutné transportovat na jednotlivé pracoviště. Za tímto účelem jsem se rozhodl použít dopravníků. Vzhledem k odlišným způsobům upnutí, i zde se použité koncepce KS 66 a KZ liší.

6.6.1 Dopravník pro KS 66

Pro dopravu upnutých komínových vložek KS 66 jsem se rozhodl zvolit pásový dopravník. Důvodem je jednoduchost, a přitom dobrá funkčnost takového řešení.

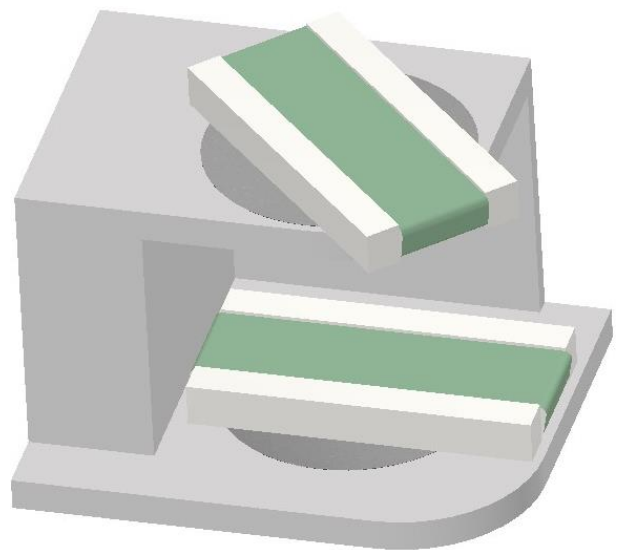
Jednou z důležitých faktorů při navrhování tohoto pracoviště byla nutnost zajistit nejen dopravu samotných komínových vložek na jednotlivá pracoviště, ale také návrat prázdných upínacích zařízení zpět na začátek výrobní linky. Zvažoval jsem několik možností, mezi nimi například vést dopravníky paralelně, nebo vytvořit druhý okruh z vnější strany pracoviště. Všechny tyto zvažované možnosti byly relativně složité, a navíc by zvětšovaly zástavnou plochu.

Jako finální možnost jsem proto zvolil umístit dva pásové dopravníky pod sebe. Zatímco na tom horním budou dopravovány komínové vložky, ten dolní bude sloužit pro návrat prázdných upínacích zařízení. Součástí upínacího zařízení (viz 6.5.1 Přípravek pro upnutí KS 66) je pak zdvižná plošina, která nově přichozí prázdné přípravky vyzdvihne na úroveň horního dopravního pásu. Zjednodušeně je tento pohyb znázorněn na obrázku 78.



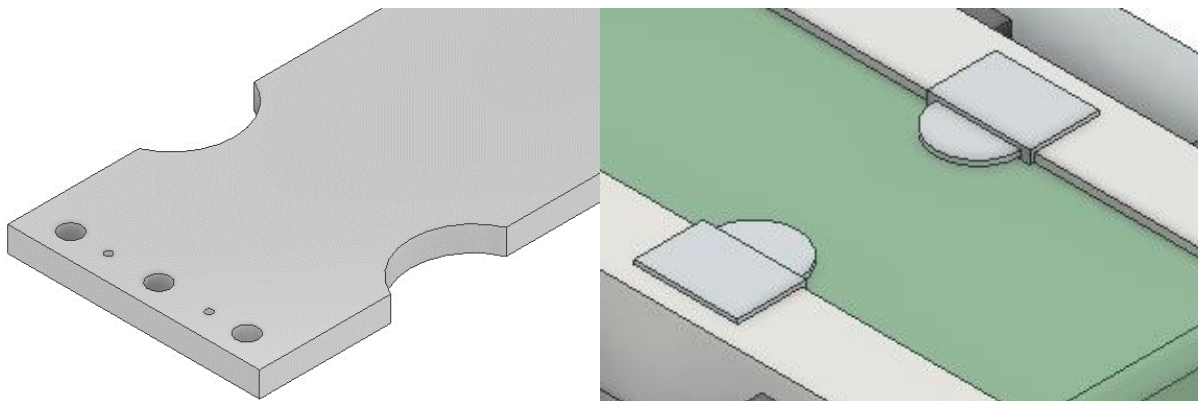
Obrázek 78 Pohyb komínových vložek a upínacích zařízení na dvoupatrovém pásovém dopravníku [vlastní]

Dalším problémem představoval fakt, že linka je vystavěna ve tvaru písmene „L“. Je proto nutné přepravované upínací zařízení natočit o devadesát stupňů. Rozhodl jsem se proto instalovat točnu. Stejně jako v případě pásového dopravníku, i zde se jedná o dvoupatrové zařízení a je nezbytné, aby dokázaly fungovat nezávisle. Návrh zařízení je znázorněn na obrázku 79.



Obrázek 79 Dvoupatrová točna osazená pásovými dopravníky [vlastní]

Mezi nevýhody tohoto řešení patří možný lehký prokluz, a ne příliš velká přesnost tohoto zařízení. To jsem se rozhodl kompenzovat pomocí mechanických upínek umístěných na bocích dopravníku (viz obrázek 81) a zapadajících do výřezů v základní liště upínacího zařízení – viz obrázek 80. Jejich primárním účelem je pochopitelně fixace během výrobních operací, ať už řezání nebo lepení. Současně je ale jejich úkolem kompenzovat nepřesnosti vzniklé během přepravy. Kruhovitý tvar umožňuje snadné vycentrování během vysouvání upínek a jelikož jsou ve všech případech právě čtyři, je pro výrobní operace zajištěna přesná poloha.



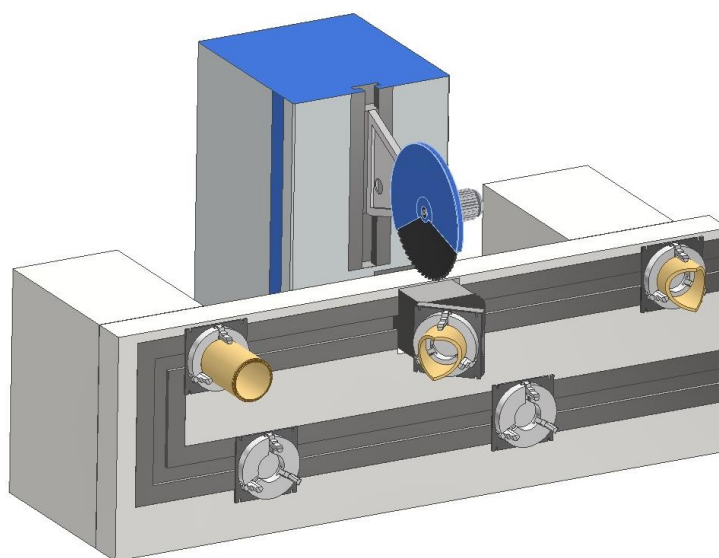
Obrázek 80 Negativní výřezy v základní liště upínacího zařízení [vlastní]

Obrázek 81 Mechanické tvarové upínky na boční straně pásového dopravníku [vlastní]

6.6.2 Dopravník pro KZ

Jak již bylo řečeno v kapitole 6.5.2 Přípravek pro upnutí KZ, komínové vložky KZ slouží jako polotovary pro výrobu NATR 45 a 90. Vzhledem k charakteru jejich řezu a způsobu upnutí, je nejvýhodnější užití svislého dopravníku.

Upínací zařízení jsou v tomto případě pevnou součástí zařízení a pohybují se po obdélníkové trajektorii. Na začátku horní dráhy dochází k upnutí KZ a celý přípravek postupuje na pracoviště tvorby výřezu. Zde je dráha dopravníku přerušena, přičemž na ni navazuje technologicky ekvivalentní čelo výsuvné pinoly pily (popis funkce viz 6.7 Tvorba výřezů). Po provedení řezné operace může přípravek postupovat na pracoviště lepení. Prázdný přípravek pak putuje po spodní dráze zpět na začátek okružní dráhy.



Obrázek 82 Svislý dopravník s upínacími prvky pro KZ [vlastní]

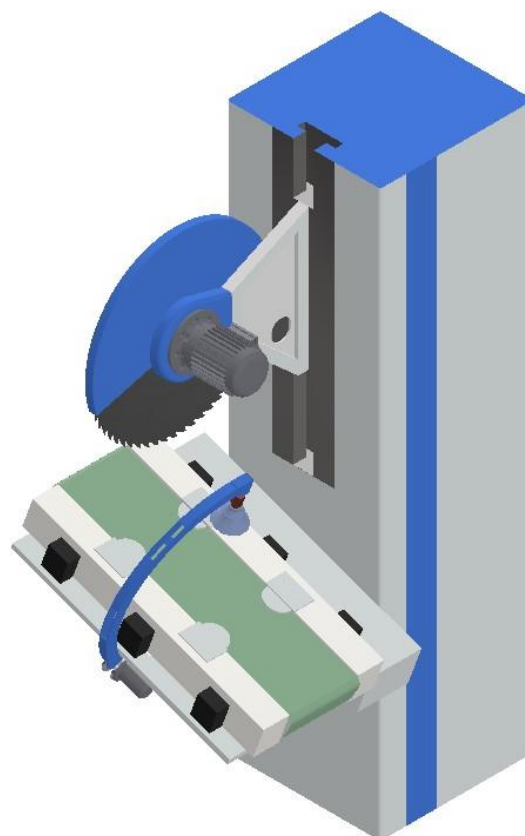
6.7 Tvorba výřezů

Tvorba samotných výřezů probíhá na třech pracovištích.

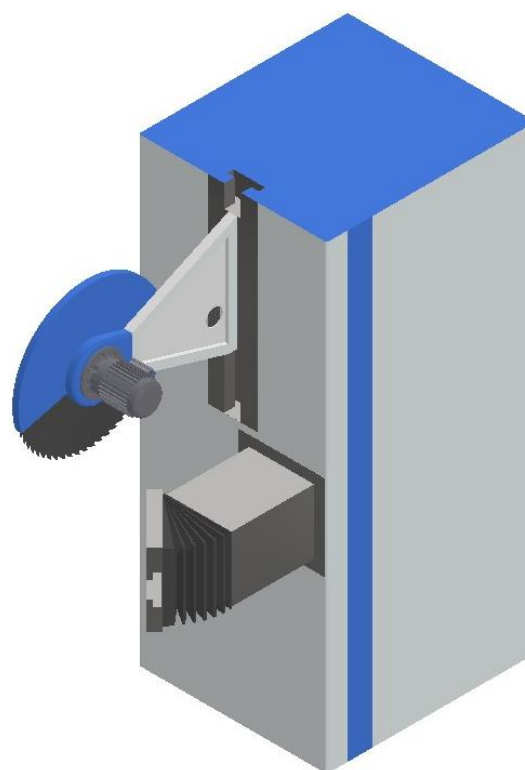
Výřezy komínových vložek KS 66 V 45 a 90 probíhají na pile s náklonným stolem, jehož součástí je i pásový dopravník. Upínací zařízení s upnutou komínovou vložkou KS 66 tak na stůl jednoduše najede, po čemž je jeho poloha zafixována pomocí mechanických upínek (viz 6.6.1 Dopravník pro KS 66). Následně je stůl naklopen do polohy odpovídající úhlu zářezu a rameno s pilovým kotoučem provede řez pohybem v ose Z. Odpadní materiál je po ukončení řezu odhozen vyhazovačem a nově vzniklá KS 66 V 45 nebo 90 může pokračovat na pracoviště lepení. Celé zařízení je znázorněno na obrázku 83.

Výřezy komínových vložek KS 66 D (tedy polotovaru pro KC) probíhají obdobně. I zde je pomocí mechanických upínek zafixován upínací přípravek s KS 66, na rozdíl od předešlého ale může operace probíhat přímo na dopravníku. Nejdříve jsou provedeny dva rovnoběžné řezy v axiálním směru komínové vložky. Poté může zaujmout polohu vyhazovač na následné dva řezy ve směru radiálním výřez dokončí.

Výřezy komínových vložek NATR 45 a 90 jsou uskutečňovány následujícím způsobem. Poté co upínací přípravek zaujme pozici na konci výsuvného zařízení v místě přerušení dopravníku (viz 6.6.2 Dopravník pro KZ), je vysunut do prostoru. Následně dojde k jeho horizontálnímu náklonu tak, aby vůči pilovému kotouči zaujal úhel



Obrázek 83 Pila s náklonným stolem [vlastní]

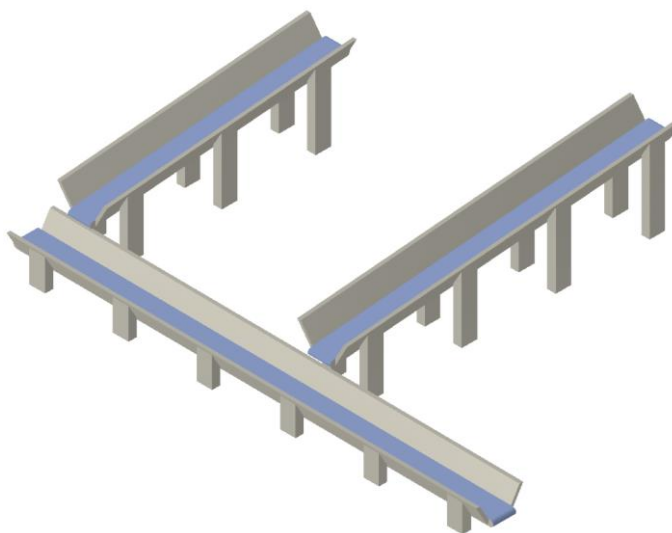


Obrázek 84 Pila pro tvorbu výřezů NATR 45 a 90 s naklonenou výsuvnou částí [vlastní]

odpovídající požadovanému úhlu řezu. Současně s tím je zahájen pohyb ramene pilového kotouče ve směru osy Z, čímž dojde k řezu. Po jeho ukončení je upínací přípravek otočen o 180°, a je-li to nutné (tedy v případě NATR 45), upraven i horizontální náklon. Po čemž následuje druhý řez. Tím je operace ukončena a přípravek s komínovou vložkou může být vyrovnán a zasunut zpět na úroveň dopravníku, po čemž přípravek i s nově vzniklým NATR 45 nebo 90 může pokračovat na pracoviště lepení. Zařízení k tomuto určené je znázorněno na obrázku 84 a i s přímo navazujícím dopravníkem na obrázku 82.

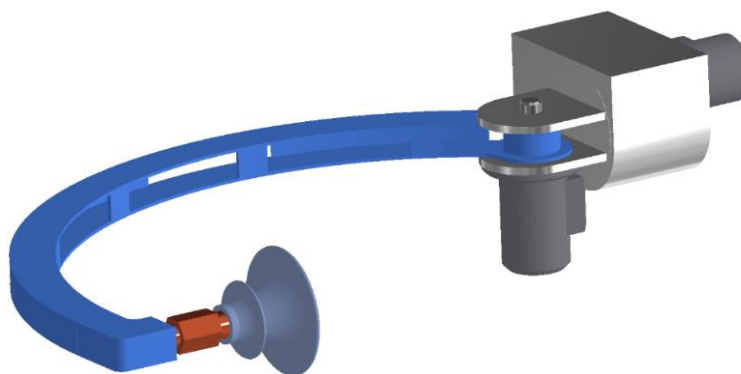
6.8 Odpad

Odpad v tomto případě představují především odřezky. Pro jejich odvod mimo pracoviště jsou instalovány pásové dopravníky se zvýšenými bočnicemi a náklonem 5° (viz obrázek 85).



Obrázek 85 Pásový dopravník pro odvod odpadu [vlastní]

V případě NATR 45 a 90 odpadávají odřezky přímo na pásový dopravník. Ve zbývajících případech jsou pily doplněny o vyhazovače s podtlakovou přísavkou, znázorněné na obrázcích 83 a 86.



Obrázek 86 Vyhazovač [vlastní]

6.9 Pracoviště lepení

Cílem této práce je vytvořit návrh automatizace tvorby výřezů. Samotné lepení již do jejího rámce nespadá a je předpokládáno, že poslouží jako námět pro další diplomovou práci. Přesto se na mém návrhu výsledného procesu pracoviště lepení objevuje v podobě „růžové kostky“, znázorněné také zde na obrázku 87. Růžovou barvu jsem vybral z důvodu, že je výrazná a zcela odlišná od všech ostatních barev na pracovišti užitých, takže by mělo být patrné, že se jedná jen o ilustraci. Jedná se ale jen o znázornění jeho předpokládané budoucí polohy, ke které se můj vlastní návrh vztahuje.



Obrázek 87 Pracoviště lepení [vlastní]

7. Technicko-ekonomické zhodnocení

V této kapitole je mým cílem zhodnotit výstup své práce. V první části – technickém zhodnocení je mým cílem zhodnotit splnění požadavků P-D Refractories a zhodnotit přednosti i zápory oproti současnému stavu. Ve druhé části – ekonomickém zhodnocení je mým cílem kalkulovat investiční a provozní náklady pro tento projekt.

7.1 Technologické zhodnocení

Jak bylo stanoveno v kapitole 6.1 Zadání, hlavními cíli bylo:

- 1) Plně automatizovat proces tvorby výřezů komínových vložek.
- 2) Dosáhnout kapacity 1 000 ks za dvě směny (2x 7,5 hodiny).
- 3) Vytvořit proces tak, aby jej bylo možné rychle uvést do chodu.
- 4) Snížit plochu kterou výroba tvarovek zabírá.

V tuto chvíli mohu konstatovat, že prvního z cílů, dosažení plné automatizace, se mi podařilo dosáhnout. Celý mnou navržený proces je plně autonomní a jedinou činností, která zůstala na lidském pracovníkovi je pravidelné zakládání palet s novými polotovary a jejich následný odvoz. Podotýkám ovšem, že i toto lze do budoucna relativně snadno přenechat technice v podobě autonomních paletových vozíků.

Druhého bodu, čili kapacity tisíce kusů za den (resp. za dvě směny), což odpovídá „kadenci“ jednoho kusu za 54 sekund, se rovněž podařilo dosáhnout u všech třech typů tvarovek.

Bod tři považuji rovněž za splněný, neboť jakmile budou založeny palety se vstupními komínovými vložkami KS 66 a KZ a pochopitelně spuštěn celý systém se všemi úkony k tomu náležitými, je jediným dalším zdrojem potenciálního zdržení výměna efektoru, což představuje přibližně deset až dvacet sekund a jedná se tak o zdržení zcela marginální.

Splnění bodu 4 je v tomto případě poněkud relativní, neboť naprostou většinu prostorových kapacit výroby tvarovek zabírá ruční lepení samotné, a především následné schnutí. To, zda mnou navržené automatizované pracoviště zabírá větší či menší plochu oproti současnému s lidskou obsluhou, nedokážu bez přesného naměření jeho současné rozlohy posoudit, nicméně v rámci většího celku – tedy kompletního projektu automatizace výroby tvarovek bude výsledná úspora plochy veliká. Tento bod proto považuji za splněný taktéž.

Mimo těchto bodů jsem v rámci kapitoly 5.2 Rozvaha vyjádřil i názor, že automatizace umožní snížení množství výrobků, které nesplní požadavky, stabilizuje výstupní kvalitu

a zabrání některým problémům, jako je například pomalé tempo pracovníků v závěru či neočekávané výpadky pracovních kapacit z důvodů nemocí či jiných důvodů. S potěšením mohu konstatovat, že i tyto problémy se podařilo odstranit.

7.2 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole je mým cílem provést odhad nákladů na realizaci projektu a následné provozní náklady.

Výsledné náklady jsou tvořeny jednak vstupní investicí, jednak náklady provozními.

Náklady na pořízení samotné výrobní linky jsou vyčísleny v tabulce 4.

Mnohem větší problém představují náklady provozní. Vzhledem k tomu, že není předpokládán nepřetržitý provoz, rozhodl jsem se stanovovat náklady nikoliv na hodinu provozu, nýbrž na vyrobenou jednotku. Tyto náklady jsou vyčísleny v tabulce 2.

Tabulka 2 Kalkulace provozních nákladů na jednotku [8] [11] [45]

Položka	Cena za hodinu [Kč]
Hrubá hodinová mzda operátora	340
Hrubá hodinová mzda seřizovače - 0,2 úvazku pro toto zařízení	98
Cena elektřiny při spotřebě 3,2 kW a ceně 3,3 Kč za kWh	10,56
Cena vývěvou spotřebované elektřiny při spotřebě 1,45 kW a ceně 3,32 Kč za kWh	4,81
Cena elektřiny spotřebované ostatními zařízeními při ceně 3,32 Kč za kWh	65
Náklady na servis a údržbu	25
Celkové náklady na hodinu provozu	543,37
Počet tvarovek vyrobených za hodinu plného výkonu	70
Výsledné náklady na výrobu jedné tvarovky	7,76

Celkové náklady na jednotku nelze jednoznačně stanovit, protože jak již bylo řečeno, linka nebude v provozu nepřetržitě, což však nemění nominální životnost. Pokud bychom však toto předpokládali, výsledné náklady na jednotku by byly 8,13 Kč (viz tabulka 3).

Tabulka 3 Celkové náklady na jednotku [8] [45]

Vstupní investice [Kč]	4 779 250
Nominální životnost [let]	50
Počet pracovních hodin za dobu nominální životnosti (při dvousměnném provozu)	187 500
Počet tvarovek vyrobených za hodinu plného výkonu	70
Počet jednotek vyrobených za dobu nominální životnosti	13 125 000
Investiční náklady rozpočítané na jednotku [Kč]	0,36
Náklady na výrobu jedné tvarovky [Kč]	7,76
Celkové náklady na jednotku [Kč]	8,13

Tabulka 4 Kalkulace nákladů na realizaci projektu [8] [11] [45]

Položka	Cena za kus [Kč]	Počet kusů [-]	Výsledná cena [Kč]
Průmyslový robot			
Průmyslový robot + software	900 000	1	900 000
Robot IO - komunikace	50 000	1	50 000
Podtlaková vývěva robotu	175 000	1	175 000
Podstavec robotu	37 500	1	37 500
Simple motion	17 500	1	17 500
Efektory	130 000	2	260 000
Pily			
Frekvenční měnič vřeten 2,2 kW	7 500	2	15 000
Asynchronní motory 2,2 kW	5 000	2	10 000
Frekvenční měnič vřetene 1,5 kW	5 000	1	5 000
Asynchronní motor 1,5 kW	7 500	1	7 500
Servo 1,5 kW	15 000	3	45 000
Servozesilovač	25 000	3	75 000
Dopravníky			
Frekvenční měnič 1,5 kW	6 250	9	56 250
Asynchronní motor 1,5 kW	3 000	9	27 000
Ostatní			
Dopravník pro upínací přípravky pro KZ	600 000	1	600 000
Upínací přípravky pro KZ	18 000	9	162 000
Upínací přípravky pro KS 66	25 000	9	225 000
Upínací zařízení se zdvižnou plošinou	450 000	1	450 000
Ostatní komponenty - vedení, kuličkové šrouby, krytování,...	125 000	1	125 000
Odpadní pásové dopravníky	40 000	3	120 000
Vyhazovače	12 000	2	24 000
Kabely a snímače	125 000	1	125 000
Bezpečnostní oplocení	120 000	1	120 000
Signalizační sloupek	25 000	1	25 000
HMI (Human Machine Interface)	15 000	1	15 000
PLC (Programmable Logic Controller)	17 500	1	17 500
Práce			
Konstrukce (konstrukční práce, návrh, dokumentace)	425 000	1	425 000
Technologie, programování	300 000	1	300 000
Přeprava, montáž, seřízení	150 000	1	150 000
Dokumentace ostatní a CE	125 000	1	125 000
Přejímka namístě + u zákazníka	90 000	1	90 000
Výsledná cena			4 779 250

Závěr

Úkolem tohoto diplomového projektu bylo vytvořit návrh úseku výrobní linky pro výrobu lepených komínových vložek v závodu Dinas Svitavy, patřící společnosti P-D Refractories.

V úvodní kapitole jsem provedl stručné shrnutí smyslu automatizace a jejích výhod z pohledu firmy i zaměstnanců.

V kapitole druhé jsem vytvořil řešerši problematiky průmyslových robotů a manipulátorů. Nejdříve jsem definoval samotné pojmy průmyslový robot a manipulátor. Následně jsem rozebral princip jejich fungování, mechanickou podstatu, způsoby interakce s okolím a fungování jednotlivých subsystémů. Poté jsem vytvořil soupis nejrozšířenějších konstrukčních koncepcí, definoval je a shrnul jejich přednosti i zápory.

Následovala kapitola Efektory. I v této jsem nejdříve definoval samotný pojem, sepsal základní princip řízení a následně vytvořil řešerši různých koncepcí, jako jsou efektory technologické, senzorické nebo úchopné. V oblasti efektorů úchopných, což byla část podstatná pro tuto práci, jsem vytvořil skutečně obsáhlý rozbor možností a jednotlivých koncepcí pro tyto účely užívaných.

V kapitole číslo čtyři jsem nejprve vytvořil krátký soupis historie společnosti P-D Refractories a jejího současného stavu, abych následně provedl soupis portfolia jimi nabízených keramických komínových vložek, tedy výrobků, jejichž výrobu bylo mým úkolem automatizovat.

Na poznatky ze čtvrté kapitoly jsem navázal v té páté, ve které jsem nejdříve podrobně popsal momentální procesy výroby v této společnosti a následně jsem zhodnotil automatizační potenciál, který jsem vyhodnotil jako značný.

Na úvod šesté kapitoly jsem shrnul požadavky, které mi byly během návštěvy Svitavského závodu sděleny a na jejichž základě jsem v během tvorby návrhu postupoval. Tato kapitola je jistě vrcholnou částí tohoto projektu, neboť jsem do ní umístil seznámení s mnou vytvořeným návrhem úvodní části nové linky lepení komínových vložek, konkrétně části tvorby výřezů. Na úvod jsem prezentoval stručný přehled pro základní seznámení, abych na následujících stranách jednotlivé části návrhu podrobně definoval a uvedl důvody, které mne vedly právě k takový rozhodnutím.

V poslední, sedmé, kapitole provádím nejdříve technologické zhodnocení a posuzuji splnění jednotlivých požadavků společnosti. Následně pak vytvářím zhodnocení ekonomické,

v rámci kterého stanovuji jako investici potřebnou pro realizaci projektu částku 4,8 milionu Kč. Následně dopočítávám budoucí náklady na výrobní jednotku (jednu lepenou komínovou vložku), které by při plném užití - tedy provozu 15 hodin denně, pět dní v týdnu, činily 8,13 Kč na kus.

Citovaná literatura

- [1] GARZINOVÁ, Romana, Zora JANČÍKOVÁ a Ondřej ZIMNÝ. *Základy automatizace technologických procesů v teorii*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013, 179 s. ISBN 978-80-248-3044-5. Dostupné také z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_035/Z%C3%A1klady%20automatizace%20technologick%C3%BDch%20proces%C5%AF%20v%20teorii.pdf
- [2] VROŽINA, Milan, Jiří DAVID a Romana GARZINOVÁ. *Automatizace technologických procesů*. 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/127184767-Automatizace-technologickyh-procesu.html>
- [3] KOCIANOVÁ, Renata. *Personální činnosti a metody personální práce*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2010. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-2497-3.
- [4] BEDNY, Gregory Z. a Inna BEDNY. *Work activity studies within the framework of ergonomics, psychology, and economics*. Boca Raton: Taylor & Francis, a CRC title, part of the Taylor & Francis imprint, a member of the Taylor & Francis Group, the academic division of T&F Informa, plc, 2019. ISBN 9781351124980.
- [5] ŠENK, Zdeněk. *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci: prakticky a přehledně podle normy OHSAS*. 2., aktualiz. vyd. Olomouc: ANAG, 2012. Práce, mzdy, pojištění. ISBN 978-80-7263-737-9.
- [6] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti*. Praha: Albatros Media a.s., 2015. ISBN 8072613928.
- [7] ŠIKÝŘ, Martin. *Personalistika pro manažery a personalisty*. 2., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2016. ISBN 978-80-271-9527-5.
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

- [9] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991, 269 s. ISBN 80-030-0567-1.
- [10] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2023-03-30]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [11] CHOSET, Howie. *Principles of robot motion: theory, algorithms and implementations*. Massachusetts: MIT Press, 2005. ISBN 978-0-262-03327-5.
- [12] CHURÝ, Lukáš. Robotika II.: Průmysloví roboti – základní pojmy. *Programujte.com* [online]. [cit. 2023-04-14]. ISSN 1801-1586. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006032007-robotika-ii/>
- [13] What are the three major parts and six subsystems of the industrial robot system?. In: *Reeman: AI in action* [online]. Shenzhen: Shenzhen Reeman Intelligent Equipment [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.reemanrobot.com/info/what-are-the-three-major-parts-and-six-subsyst-64178032.html>
- [14] BŘEZINA, Jan, Hana ŠPAČKOVÁ, Robert FRISCHER, Jiří DAVID a Pavel ŠVEC. *Robotika a jejich struktura a kinematika, specifikace nebezpečí u průmyslových robotů a manipulátorů A MANIPULÁTORŮ*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, 2020.
- [15] Why You Should Be Using Cartesian Robots. *Motion Ai* [online]. Birmingham [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://ai.motion.com/why-you-should-be-using-cartesian-robots/>
- [16] COLLINS, DANIELLE. What is a Cartesian robot?. *Linear Motion Tips* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>
- [17] Cylindrical Robots. In: *MWES* [online]. Milwaukee (Wisconsin): Midwest Engineered Systems [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.mwes.com/types-of-industrial-robots/cylindrical-robots/>

- [18] Virtual laboratory for distance learning in Robotics and Machatronics. In: *ETF Robotics: ETF Robotics group at School of Electrical Engeeniering in Belegrade* [online]. Belgrade: School of Electrical Engineering, University of Belgrade, 2021 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <http://robot.etf.rs/index.php/researchprojects/virtual-laboratory-for-distance-learning-in-robotics-and-mechatronics/>
- [19] Polar/Spherical robots. In: *MWES* [online]. Milwaukee (Wisconsin): Midwest Engineered Systems [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.mwes.com/types-of-industrial-robots/polar-spherical-robots/>
- [20] FAIRCHILD, Mark. Types of Industrial Robots and Their Different Uses. In: *HowToRobot: Connecting the World of Robots* [online]. Chicago (United States), 2017 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>
- [21] SCARA Robot. In: *FlexiBowl* [online]. Arezzo (Italy): ARS Automation [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.flexibowl.com/scara-robot.html>
- [22] Co jsou to SCARA roboty?. In: *Factory automation* [online]. FANUC Czech [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-scara-roboty/>
- [23] What is an End Effector?: The Essential Robot End-of-Arm-Tool For Several Tasks. In: *FerRobotics* [online]. Altenberg: FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.ferrobotics.com/en/news/what-is-an-end-effector-and-or-end-of-arm-tool-eoat/>
- [24] BERNIER, Catherine. Robot Grippers and End Effectors: Uses, Benefits, and Cost Analysis. #*HowToRobot: Connecting the World of Robots* [online]. Frederiksberg (Denmark): HowToRobot.com, 2021 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/robot-end-effectors>
- [25] RAO, Ravi. What are End Effectors in Robotics? Types of End Effectors, Applications, Future. *Wevolver* [online]. Amsterdam (Netherlands): Wevolver, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/what-are-end-effectors-in-robotics-types-of-end-effectors-applications-future>

- [26] HOTAŘ, Vlastimil. *Efektory a periferní zařízení robotů: Automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2021 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiz1c-nmeP9AhXJQ_EDHW57BaEQFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Flearning.tul.cz%2Fmod%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D437851&usg=AOvVaw0GzXUXwQ_JHZoMhMtdXWWs
- [27] NOVOTNÝ, František, Vlastimil HOTAŘ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Michal STARÝ. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020. ISBN 978-80-7494-545-8.
- [28] FANTONI, Gualtiero, Marco SANTOCHI a Gino DINI. *CIRP Annals - Manufacturing Technology: Grasping devices and methods in automated production processes* [online]. Issue 2. Elsevier. Paris: International Academy for Production Engineering, 2014, [cit.2023-05-08]. ISSN 00078506. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850614001887>. Chapter "Grasping devices and methods in automated production processes". Pages 679-701.
- [29] Průmyslové roboty FANUC: Špičkové stroje pro chytřejší automatizaci. In: *Fanuc.eu* [online]. Oshino (Japonsko): Fanuc [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>
- [30] Robots. In: *ABB.com* [online]. Curych: ABB, 2023 [cit. 2023-06-10]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty>
- [31] Průmyslové roboty firmy KUKA. In: *KUKA.com* [online]. Augsburg (Německo): KUKA AG, 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%20c5%20beby/robotick%20c3%20a9-syst%20c3%20a9my/pr%20c5%20afmyslov%20c3%20a9-roboty>
- [32] KACZMAREK, Wojciech a Jarosław PANASIUK. *Robotyzacja procesów produkcyjnych*. 1. Stryków: Wydawnictwo naukowe pwn, 2017. ISBN 9788301194260.

- [33] LAD, N.A., Y.P. BALLAL a P.D. KULKARNI. *Study of End Effectors – A Review* [online]. Volume 2(5). Ashta (Maharashtra, India): International Journal of Trend in Research and Development, 2015 [cit. 2023-05-09]. ISSN 2394-9333. Dostupné z: <http://www.ijtrd.com/papers/IJTRD201.pdf>
- [34] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace: Roboty a manipulátory* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf
- [35] FIALOVÁ, Monika. Vakuová fyzika II.: Získávání nízkých tlaků. In: *Physic.MUNI.CZ* [online]. Brno: Ústavy fyziky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně [cit. 2023-06-24]. Dostupné z: https://www.physics.muni.cz/~dorian/Fialova_Vyvevy.pdf
- [36] ALBERT, Mark. Machining with Robots. *Modern Machine Shop* [online]. Gardner Business Media, Inc. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/machining-with-robots>
- [37] KUBÍČEK, Jaroslav. *Žárové nástřiky* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství, 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_zarove_nastriky_2018_kubicek.pdf
- [38] Robotic Inspection. In: *Metrologic Group* [online]. Isère (Francie): Metrologic Group [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.metrologic.group/robotic-inspection/>
- [39] *P-D Refractories* [online]. Velké Opatovice: P-D Refractories CZ a.s. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>
- [40] Historie. In: *P-D Refractories* [online]. Velké Opatovice: P-D Refractories CZ a.s. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/historie>
- [41] P-D Kremen D.O.O. In: *P-D Refractories* [online]. Wilsdruff (Germany) [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: https://www.pd-refractories.com/en/corporate/our_plants/p-d_kremen_d_o_o_.php

- [42] *Kominovakeramika.cz* [online]. Velké Opatovice: P-D Refractories CZ a.s. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: <https://kominovakeramika.cz/>
- [43] *Fanuc: The Factory Automation Company* [online]. Praha: FANUC Czech s.r.o., 2023 [cit. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>
- [44] *ABB* [online]. Curych: ABB Group, 2023 [cit. 2023-07-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz>
- [45] HRON, Tomáš. *Senior Application Engineer ve společnosti Mitsubishi Electric Europe B.V.* [osobní konzultace]. Lysá nad Labem [cit. 5-7-2023].
- [46] *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci [cit. 27-04-2023]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjv5s_42NT-AhXfiv0HHX9LDckQFnoEAcQAQ&url=https%3A%2F%2Flearning.tul.cz%2Fmod%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D350935&usg=AOvVaw03XKMvluF7dvnir0mkISpi
- [47] Cantilever Xyz System with Stepper Motor 3-Axis Linear Stage Cartesian Robot. In: *Made-in-China.com* [online]. 2023 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://umottech.en.made-in-china.com/product/dZTAOeuHrPYB/China-Cantilever-Xyz-System-with-Stepper-Motor-3-Axis-Linear-Stage-Cartesian-Robot.html>
- [48] SCARA robot SR-3iA/C. In: *Fanuc* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3a%20Inka-filtru-robot%20af/scara-series/sr-3ia-c>
- [49] Robotické svařovací buňky: udržitelné, bezpečné, hospodárné. *Fronius: Perfect Welding Blog* [online]. Wels (Rakousko): Fronius International GmbH, 2021 [cit. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/roboticke-svarovaci-bunky-udrzitelne-bezpecne-hospodarne-svarovani/>
- [50] Machining with robots | Robot milling. *CNC Robotics LTD* [online]. Merseyside (England), CNC Robotics Ltd [cit. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.cncrobotics.co.uk/news/machining-with-robots/>

- [51] 6-Axis Powder Coating Robot Arm. In: *Kafan: Powder Coating* [online]. Hangzhou (China): Hangzhou Kafan Machinery & Equipment Co., Ltd [cit. 2023-06-14]. Dostupné z: <https://www.powder-gun.com/6-axis-powder-coating-robot-arm.html>
- [52] Vacuum & End Of Arm Tooling. In: *Flotronics Automation* [online]. Auburn Hills (Michigan, USA): Flotronics Automation [cit. 2023-06-9]. Dostupné z: https://www.flotronicsautomation.com/product-categories/vacuum-end-of-arm_tooling
- [53] Vacuum End Effectors VEE: Configuring Rather than Designing. In: *Schmalz* [online]. Glatten (Germany): J. Schmalz GmbH [cit. 2023-06-9]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-end-effectors-vee/>
- [54] VEE-QCMV HV 2 07 13: VEE vacuum module with integrated ejector module ecoPump SEP. In: *Schmalz* [online]. Glatten (Germany): Schmalz [cit. 2023-06-24]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-end-effectors-vee/vacuum-modules-vee-qcmv-306948/10.01.36.00199/>
- [55] Flat Suction Cups SPF. In: *Schmalz* [online]. Glatten (Germany): J. Schmalz [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-suction-cups/suction-cups-for-the-packaging-industry/flat-suction-cups-spf-304419/>
- [56] Bellows Suction Cups SPB1 (1.5 Folds). In: *Schmalz* [online]. Glatten (Germany): J. Schmalz [cit. 2023-06-11]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-suction-cups/suction-cups-for-the-packaging-industry/bellows-suction-cups-spb1-1-5-folds-304445/>

Seznam obrázků

Obrázek 1	Sestava průmyslového manipulátoru se šesti stupni volnosti (čísla 1 – 6 označují jednotlivé členy sestavy) [10].....	14
Obrázek 2	Vzájemné natočení dvou členů ve vztahu k základní rovině [11] – upraveno	15
Obrázek 3	Schéma fungování a spolupráce tří základních subsystémů robotu [10].....	16
Obrázek 4	Praktické fungování jednotlivých subsystémů robotu [vlastní].....	17
Obrázek 5	Kinematické schéma kartézského manipulátoru [10].....	18
Obrázek 6	Znázornění konstrukce a pracovního prostoru kartézského manipulátoru [46]....	18
Obrázek 7	<i>Kartézský manipulátor UMot</i> [47].....	19
Obrázek 8	<i>Portálový manipulátor</i> [16]	19
Obrázek 9	Kinematické schéma cylindrického manipulátoru [10].....	20
Obrázek 10	Znázornění konstrukce a pracovního prostoru cylindrického manipulátoru [46]	20
Obrázek 11	Cylindrický manipulátor [18].....	20
Obrázek 12	Kinematické schéma sférického manipulátoru [10].....	21
Obrázek 13	Schéma sférického manipulátoru [20]	21
Obrázek 14	Kinematické schéma SCARA manipulátoru [10].....	22
Obrázek 15	SCARA robot Fanuc SR-3iA/C [48]	22
Obrázek 16	Znázornění členů a os rotace šestiosého angulárního manipulátoru [10]	23
Obrázek 17	Příruba robotu Fanuc M-900iB/280 [29]	26
Obrázek 18	Souřadný systém fixovaný na přírubu efektoru [26] – upraveno.....	26
Obrázek 19	Modelové příklady způsobu uchopení [27]	29
Obrázek 20	Možné způsoby úchopu základních tvarů pomocí konvenčních chapadel [28]..	30
Obrázek 21	Pět základních komponent ve schématu základní standardní aktivní mechanické manipulační hlavice [27]	31
Obrázek 22	Příklady konstrukčních pojetí aktivní mechanické úchopné hlavice. Zleva: Chapadlo se třemi posuvnými úchopnými prvky, chapadlo se dvěma otočnými úchopnými prvky a chapadlo se čtyřmi pružnými, otočnými úchopnými prvky [26] [33] [32].....	32
Obrázek 23	Uložení manipulovaného objektu (kulatiny) v prizmatickém lůžky a příklady sil působících na něj během různých pohybů manipulátoru. [27].....	33
Obrázek 24	Mechanická schémata koncepcí pasivních úchopných mechanických hlavic využívajících odpružení. Význam jednotlivých: a) odpružené čelisti využívající svěrného spoje pro uchopení vnější b) odpružené čelisti využívající svěrného spoje pro uchopení vnitřní	

c) otočné odpružené čelisti využívající síly pružiny pro uchopení vnější	d) odpružené čelisti využívající síly pružiny pro uchopení vnitřní (s kuličkovou západkou) [26].....	34
Obrázek 25 Pasivní hlavice s odpruženou čelistí a vyhazovače. Červená šipka znázorňuje sílu nutnou pro uvolnění sevření [8]		36
Obrázek 26 Příklad použití podtlakové manipulační hlavice v logistice [52].....		37
Obrázek 27 Příklad použití podtlakové manipulační hlavice v oblasti balení a logistiky potravin [53]		37
Obrázek 28 Základní schéma ejektoru [26] - upraveno		39
Obrázek 29 Podtlakový modul VEE s integrovaným ejektorovým modulem ecoPump SEP [54]		39
Obrázek 30 Poměr velikosti dosažitelného podtlaku vůči sacímu výkonu pro jednotlivé zdroje vakua (platí pro standardní atmosférický tlak a teplotu 0 °C). [27]		39
Obrázek 31 Tři základní konstrukce plochých kruhových přísavek. a) jednobřítá plochá b) plochá s těsnícím kroužkem c) dvoubřítá plochá [27]		40
Obrázek 32 Jednobřítá plochá přísavka [55]		41
Obrázek 33 Použití jednobřité ploché přísavky [53]		41
Obrázek 34 Princip uchopení a kompenzace nerovností pomocí skládaných přísavek [26]..		41
Obrázek 35 Skládaná přísavka [56].....		42
Obrázek 36 Užití skládané přísavky pro kompenzaci nerovnosti chápané plochy [26].....		42
Obrázek 37 Přísavka s odpruženým pístem [8].....		43
Obrázek 38 Princip zavzdušnění podtlakové komory pomocí zavzdušňovacího ventilu [26]		43
Obrázek 39 Robot pro obloukové svařování Fanuc ARC Mate 100iD [43]		45
Obrázek 40 Průmyslový robot vybavený bodovacími kleštěmi pro tlakové svařování [27]..		45
Obrázek 41 Plně robotizovaný proces svařování [49].....		46
Obrázek 42 Příklad 5D obrábění pomocí průmyslového robotu [50]		47
Obrázek 43 Příklad práškovací pistole na zápěstí průmyslového robotu [51] – detail		48
Obrázek 44 Práškové lakování pomocí šestiosého angulárního robotu [51].....		48
Obrázek 45 Aplikace průmyslového robotu Fanuc v metrologické laboratoři [38].....		48
Obrázek 46 Výrobní závod Dinas Svitavy		52
Obrázek 47 Základní komínová vložka o délce 330 mm KZ [42]		53
Obrázek 48 Základní komínová vložka KZ – CAD model [vlastní].....		53
Obrázek 49 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90° o délce 660 mm KS 90 [42]		53

Obrázek 50 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90° o délce 660 mm KS 90 – CAD model [vlastní].....	53
Obrázek 51 NATR 90 – CAD model [vlastní].....	54
Obrázek 52 KS 66 V 90 – CAD model [vlastní].....	54
Obrázek 53 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 45° o délce 660 mm KS 45 [42]	54
Obrázek 54 Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 45° o délce 660 mm KS 45 – CAD model [vlastní].....	54
Obrázek 55 NATR 45 – CAD model [vlastní].....	55
Obrázek 56 KS 66 V 45 – CAD model [vlastní].....	55
Obrázek 57 Komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek KC [42].....	55
Obrázek 58 Komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek KC – CAD model [vlastní].....	55
Obrázek 59 KC RAM – CAD model [vlastní].....	56
Obrázek 60 KS 66 D – CAD model [vlastní].....	56
Obrázek 61 Variabilní rozměry v řadě keramických komínových vložek KS 90 [42].....	56
Obrázek 62 Výrobní linka keramických komínových vložek [42].....	58
Obrázek 63 Rovnání syrových komínových vložek na pecní vozy [42].....	59
Obrázek 64 Jednotlivé části výrobní linky [vlastní].....	63
Obrázek 65 Výsledný návrh pracovní linky – pohled na zpracování KS 66 [vlastní].....	64
Obrázek 66 Výsledný návrh pracovní linky – pohled na zpracování KZ [vlastní].....	64
Obrázek 67 Výsledný návrh pracoviště tvorby výřezů v půdorysném pohledu [vlastní].....	65
Obrázek 68 Komínové vložky KS 66 na europaletě [vlastní].....	66
Obrázek 69 Komínové vložky KZ na europaletě [vlastní].....	66
Obrázek 70 Jeden z možných návrhů efektoru [vlastní].....	68
Obrázek 71 Podtlakový efektor – horní pohled [vlastní].....	69
Obrázek 72 Podtlakový efektor – spodní pohled [vlastní].....	69
Obrázek 73 Výsledná aplikace průmyslového robotu osazeného výsledným efektoem a odkládacím prostorem pro výměnu a uložení neaktivního efektoru [vlastní].....	70
Obrázek 74 Jednotlivé návrhy upínacího přípravku [vlastní].....	71
Obrázek 75 Výsledný upínací prvek [vlastní].....	73
Obrázek 76 Upínací zařízení [vlastní].....	73
Obrázek 77 Upínací zařízení pro výrobu NATR 45 a 90 [vlastní].....	74
Obrázek 78 Pohyb komínových vložek a upínacích zařízení na dvoupatrovém pásovém dopravníku [vlastní].....	75

Obrázek 79	Dvoupatrová točna osazená pásovými dopravníky [vlastní]	75
Obrázek 80	Negativní výřezy v základní liště upínacího zařízení [vlastní]	76
Obrázek 81	Mechanické tvarové upínky na boční straně pásového dopravníku [vlastní]	76
Obrázek 82	Svislý dopravník s upínacími prvky pro KZ [vlastní]	76
Obrázek 83	Pila s náklonným stolem [vlastní]	77
Obrázek 84	Pila pro tvorbu výřezů NATR 45 a 90 s naklopenou výsuvnou částí [vlastní]	77
Obrázek 85	Pásový dopravník pro odvod odpadu [vlastní]	78
Obrázek 86	Vyhazovač [vlastní]	78
Obrázek 87	Pracoviště lepení [vlastní]	79

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozměrová řada keramických komínových vložek KS 90 [42]

Tabulka 2 Kalkulace provozních nákladů na jednotku [8] [11] [45]

Tabulka 3 Celkové náklady na jednotku [8] [45]

Tabulka 4 Kalkulace nákladů na realizaci projektu [8] [11] [45]

Seznam zkratek

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
KC	Komínová vložka určená pro zasazení čistících dvířek
KC RAM	Rámeček pro čistící otvor komína
kPa	Kilopascal
KS 45	Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 45° o délce 660 mm
KS 66	Základní komínová vložka o délce 660 mm
KS 66 D	Komínová vložka KS 66 opatřená výřezem pro rámeček čistícího otvoru komína
KS 66 V 45	Komínová vložka KS 66 opatřená výřezem k zasazení nátrubku pro připojení kouřovodu o úhlu 45
KS 66 V 90	Komínová vložka KS 66 opatřená výřezem k zasazení nátrubku pro připojení kouřovodu o úhlu 90
KS 90	Tvarovka pro připojení kouřovodu pod úhlem 90° o délce 660 mm
KZ	Základní komínová vložka o délce 330 mm
mm	Milimetr
NATR 45	Nátrubek pro připojení kouřovodu o úhlu 45°
NATR 90	Nátrubek pro připojení kouřovodu o úhlu 90°