



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU PRO PRŮMYSLOVÝ ROBOT

PROPOSAL END EFFECTOR FOR INDUSTRIAL ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Dvorník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Budík

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav automobilního a dopravního inženýrství |
| Student: | Jan Dvorník |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Stavba strojů a zařízení |
| Vedoucí práce: | Ing. Tomáš Budík |
| Akademický rok: | 2015/16 |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh koncového efektoru pro průmyslový robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základem práce je návrh koncového efektoru pro zvolený průmyslový robot se zvolenou operací.

Cíle bakalářské práce:

1. Vytvořte přehled používaných koncových efektorů v souvislosti s průmyslovými roboty. Základní rozdělení proveďte dle typu úlohy např.: manipulace, paletizace, svařování, řezání.
2. Popište základní metodiku pro návrh koncového efektoru (analýza konkrétní vybrané úlohy, výběr typu úchopné hlavice, konstrukce příruby, výpočty úchopových sil, volba řízení a pohonu)
3. Konstrukce vybraného koncového efektoru

Seznam literatury:

Palko, A., Smrček, J. (2004): Robotika: koncové efekty pre priemyselné a servisné roboty: navrhovanie - konštrukcia - riešenie. Vyd. 1. Košice, 272 s, ISBN 8080732183.

Skařupa, Zelina, J. (1996): Navrhování a výpočty efektorů PRaM. 1. vyd. VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 107 s.

Skařupa, Zelina, J. (1993): Hlavice průmyslových robotů. 1. vyd. Vysoká škola báňská v Ostravě, 105 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá rozdělením koncových efektorů používaných v průmyslové robotice. V úvodní části práce jsou popsány základní druhy průmyslových robotů. Dále se práce zabývá rozdělením a popisem jednotlivých typů koncových efektorů. Následně je popsán postup návrhu a výběru úchopné hlavice. Na závěr je řešeno připojení hlavice k robotu, návrh pohonu, řízení a výpočet uchopovacích sil.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the distribution of end effectors used in industrial robotics. The first part describes the basic types of industrial robots. Further deals with division and description types of end effectors. Subsequently, it describes the process of design and selection of the gripper module. The last part includes connectivity solutions for robot grippers, a proposal power, control and calculation gripping forces.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmyslový robot, koncový efektor, uchopovací hlavice, manipulace

KEYWORDS

Industrial robot, end effector, gripper module, manipulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVORNÍK, J. *Návrh koncového efektoru pro průmyslový robot*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 49 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Budík.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Budíkovi za cenné rady a připomínky při zpracování bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Budíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. Května 2016

.....

Dvorník Jan

OBSAH

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | PRŮMYSLOVÉ ROBOTY | 17 |
| 2.1 | Průmyslové roboty se sériovou kinematikou..... | 17 |
| 2.2 | Průmyslové roboty s paralelní kinematikou | 19 |
| 3 | ROZDĚLENÍ KONCOVÝCH EFEKTORŮ | 21 |
| 3.1 | Koncové efekty manipulační | 22 |
| 3.1.1 | Koncové efekty manipulační – mechanické..... | 22 |
| 3.1.2 | Koncové efekty manipulační – podtlakové..... | 23 |
| 3.1.3 | Koncové efekty manipulační – magnetické | 24 |
| 3.2 | Koncové efekty technologické | 25 |
| 3.2.1 | Koncové efekty technologické – dělení materiálu | 25 |
| 3.2.2 | Koncové efekty technologické – obrábění materiálu | 25 |
| 3.2.3 | Koncové efekty technologické – spojování materiálů | 26 |
| 3.2.4 | Koncové efekty technologické – povrchová úprava | 26 |
| 3.3 | Koncové efekty kombinované | 26 |
| 3.4 | Koncové efekty speciální | 27 |
| 4 | NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU | 29 |
| 4.1 | Analýza úlohy | 29 |
| 4.2 | Řízení a pohon | 29 |
| 4.3 | Výběr úchopné hlavice | 30 |
| 4.4 | Konstrukce příruby | 31 |
| 4.5 | Výpočet uchopovací síly..... | 31 |
| 4.5.1 | Výpočet potřebné minimální úchopné síly | 31 |
| 4.5.2 | Závislost uchopovací síly na délce vysunutí pístu..... | 34 |
| 4.6 | Kontrola čepu..... | 39 |
| 4.6.1 | Kontrola čepu na otláčení | 40 |
| 4.6.2 | Kontrola čepu na stříh..... | 40 |
| 5 | ZÁVĚR | 41 |
| 6 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 43 |
| 7 | SEZNAM SYMBOLŮ | 45 |
| 8 | SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ | 47 |
| 9 | SEZNAM PŘÍLOH | 49 |

1 ÚVOD

Práce se v první části zaměřuje na rozdělení koncových efektorů a robotů používaných v průmyslové robotice. Rozdělení koncových efektorů provedeme podle operace, kterou vykonávají a následně i podle způsobu vyvození uchopovací síly. Práce se zejména zaměřuje na manipulační a paletizační koncové efekторы. Rozdělení průmyslových robotů provedeme podle kinematické struktury.

Druhá část práce se zabývá návrhem manipulačního koncového efektoru. Na základě analýzy vybrané manipulační úlohy určíme rozměry, fyzikální vlastnosti, dráhu pohybu objektu manipulace a zvolíme vhodný typ úchopné hlavice a její pohon. Práce se dále zaměřuje i na konstrukci příruby k vhodnému a snadnému připojení koncového efektoru k lícni desce průmyslového robotu. Následně se provede výpočet uchopovací síly k bezpečné manipulaci s objektem manipulace a stanovení uchopovací síly v závislosti, na vysunutí pístu pohonu.

Poslední část práce obsahuje kompletní výkresovou dokumentaci koncového efektoru.

2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

Průmyslové roboty jsou počítačem řízený kinematický mechanismus, který umožňuje pohybovat s pracovní jednotkou, která je připojena na lícni desku. Kinematický mechanismus průmyslového robotu je složen z jednotlivých os, které vykonávají buď translační pohyb, nebo rotační pohyb.

Průmyslové roboty osvobozují člověka od namáhavé, monotónní a nebezpečné práce.

Průmyslové roboty rozdělujeme podle stavby kinematického řetězce na průmyslové roboty se sériovou kinematikou a na průmyslové roboty s paralelní kinematikou. Dále průmyslové roboty můžeme dělit například podle počtu pracovních os, velikosti pracovního prostoru, nosnosti, přesnosti, rychlosti a zrychlení v jednotlivých osách.

2.1 Průmyslové roboty se sériovou kinematikou

Šestiosé průmyslové roboty

Šestiosé roboty jsou v dnešní době nejrozšířenějším typem v průmyslové robotice (obr. 1). Jednotlivá ramena jsou spojena rotačními klouby, využívají základní řetězec RRR. Vynikají svou flexibilitou a úsporou prostoru. Pracovní prostor je tvořen kruhovými segmenty. Uplatnění nacházejí například při řezání, lakování nebo svařování. Moderní šestiosé průmyslové roboty mají již v sobě zabudovány pneumatické a elektrické obvody k připojení pracovních hlavic [8] [9].



Obr. 1) Šestiosý průmyslový robot [11]

Paletizační průmyslové roboty

Konstrukce paletizačních robotů jsou odvozeny z šestiosých průmyslových robotů (obr. 2), kde se vynechává šestá popřípadě i pátá osa z kinematického řetězce. Jsou určeny k manipulačním a paletizačním úkonům. Hlavním aspektem je maximální nosnost a maximální pracovní prostor. Paletizační roboty jsou vybaveny oproti šestiosým navíc pákovým mechanismem, který zvyšuje jejich tuhost [8].



Obr. 2) Paletizační průmyslový robot [11]

SCARA roboty

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) roboty (obr. 3) umožňují pohyb ve čtyřech svislých osách. Horizontální pohyb je realizován pomocí tří rotačních kloubů a vertikální pohyb je realizován posledním ramenem. Jedná se o základní řetězec RRT. Tyto roboty umožňují vysoké rychlosti pohybu a vynikají svou přesností polohování. Slouží k manipulaci s nižší hmotností oproti předchozím robotům. Využívají se jako montážní průmyslové roboty [8].



Obr. 3) SCARA robot [12]

2.2 Průmyslové roboty s paralelní kinematikou

Konstrukce průmyslových robotů s paralelní kinematikou (obr. 4) se vyznačuje vysokou tuhostí, která snižuje vibrace a zvětšuje přesnost polohování a větší rychlostí pohybu oproti průmyslovým robotům se sériovou kinematikou. Tyto roboty mají tři až šest stupňů volnosti. Nejčastěji bývají umístěny nad linkou a využívají se k manipulačním úkonům [9].



Obr. 4) Delta robot [13]

3 ROZDĚLENÍ KONCOVÝCH EFEKTORŮ

Kinematický řetězec průmyslového robotu nebo manipulátoru je ukončen pracovní jednotkou (koncovým efektem), která vykonává specifikovanou operaci (obr. 5). Konstrukce koncového efektoru je závislá na druhu operace, kterou průmyslový robot nebo manipulátor vykonává. Proto koncové efekty rozdělujeme na manipulační – paletizační, technologické, kombinované a speciální (obr. 6).

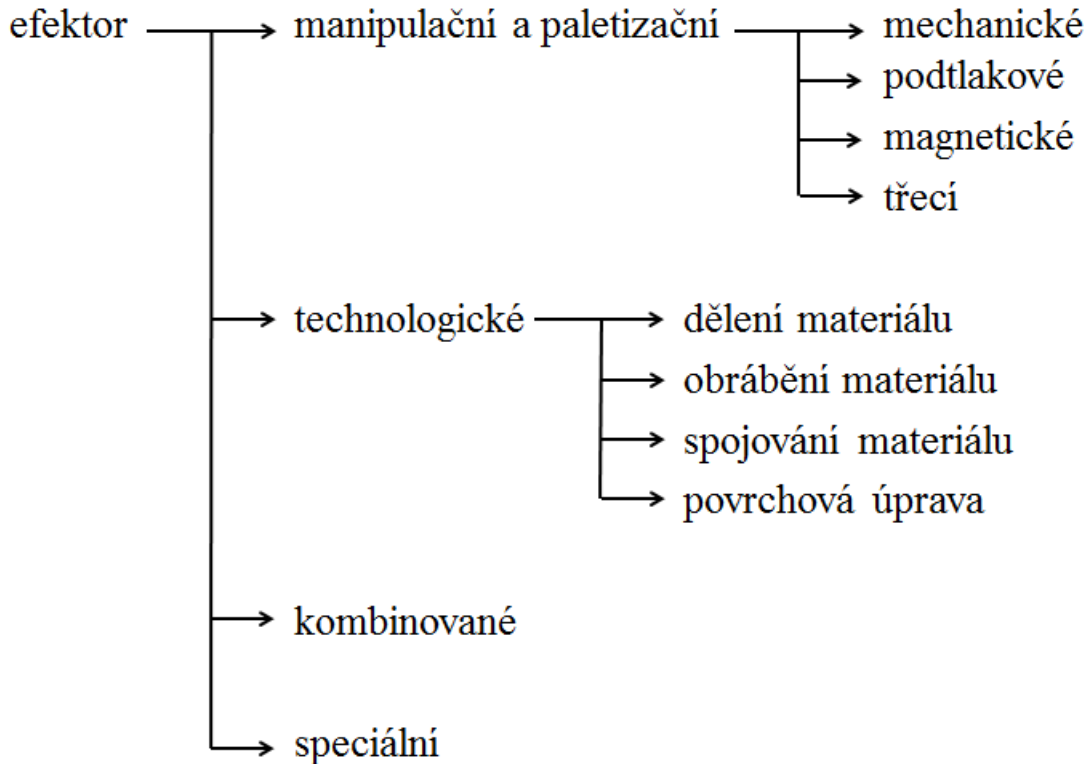
Průmyslový robot (1) je kinematický mechanismus, který umožňuje pohyb s objektem manipulace nebo s nástrojem po předem definované dráze.

Příruba (2) slouží k vzájemnému propojení koncového efektoru a průmyslového robotu nebo manipulátoru.

Koncový efektor (3) slouží k realizaci danému úkolu např. uchopení objektu manipulace, dělení nebo spojování materiálů atd.



Obr. 5) Průmyslový robot s efektem [11]



Obr. 6) Rozdělení koncových efektorů

3.1 Koncové efekty manipulační

Manipulační koncové efekty slouží k uchopení a manipulaci s objektem manipulace. Podle provedení uchopení objektu manipulace rozdělujeme manipulační koncové efekty na mechanické, podtlakové, magnetické a třecí.

Dále můžeme dělit manipulační koncové efekty na aktivní a pasivní. Aktivní manipulační koncové efekty dokáží ovládat uchopovací sílu na rozdíl od pasivních. Pasivní manipulační koncové efekty nedokáží samovolně uvolnit objekt manipulace. Uvolnění objektu manipulace se provádí působením vnější síly proti úchopné síle.

3.1.1 Koncové efekty manipulační – mechanické

Nejjednoduššími pasivními mechanickými prvky jsou prizmatická lůžka a podpěry, které slouží k podebrání a následovnému přenesení objektu manipulace. Uchopení se provádí najetím pružných čelistí na vnější nebo vnitřní plochu objektu manipulace. K uchopení se využívá pohyb ramene robota. K uvolnění dojde při zpětném pohybu ramene po upnutí ve sklíčidle stroje nebo použitím vyhazovače.

Aktivní mechanické koncové efekty určené k manipulaci jsou vybaveny pohyblivými čelistmi (obr. 7). Při sevření čelistí dojde k uchopení objektu manipulace a při zpětném pohybu čelistí dojde k uvolnění. Čelisti mohou vykonávat posuvný nebo otočný pohyb. Pro běžné manipulační úkony se používají koncové efekty s dvěma nebo třemi aktivními prvky. Aktivní prvky se pohybují lineárně nebo rotačně [5] [6].



Obr. 7) Mechanický manipulační koncový efektor [15]

3.1.2 Koncové efekty manipulační – podtlakové

Pasivní podtlakové koncové efekty využívají k přemístění objektu manipulace deformační přísavky (obr. 8). Deformační přísavka se přitlačí k povrchu objektu manipulace. Dojde k deformaci přísavky, čímž se zmenší vnitřní prostor přísavky. Po snížení přitlačné síly působící na přísavku, se přísavka kvůli své pružnosti snaží vrátit do původního tvaru, čímž vznikne podtlak mezi přísavkou a objektem manipulace. Uchopovací síla vyvozena podtlakem závisí na povrchu a tvaru plochy objektu manipulace a na pružnosti deformační přísavky. Uvolnění objektu manipulace od přísavky se provádí stejným způsobem jak u mechanického pasivního koncového efektoru k manipulaci a paletizaci nebo použitím ventilu, který při uvolnění vyrovná tlak ve vnitřním prostoru přísavky s okolím [5].



Obr. 8) Pasivní podtlakový manipulační koncový efektor [16]

Aktivní podtlakové koncové efekty využívají k přemístění objektu manipulace podtlakové komory (obr. 9). K podtlakovým komorám jsou navulkanizovány pryžové manžety, které slouží k utěsnění. K vyvození podtlaku v podtlakových komorách se používají vývěvy nebo ejektory. Ejektory se používají pro menší koncové efekty. Velikost úchopné síly je dána podtlakem v podtlakové komoře. Úchopná síla závisí podobně jakou u pasivních podtlakových efektorů na povrchu a tvaru plochy objektu manipulace, ale tak dokonalá těsnost není nutná jak u pasivních podtlakových koncových efektorů [5] [3].



Obr. 9) Aktivní podtlakový manipulační koncový efektor [17]

3.1.3 Koncové efekty manipulační – magnetické

Pasivní magnetické koncové efekty využívají k přemístění objektu manipulace permanentní magnety. Objekt manipulace musí být z magnetického materiálu. Nejčastěji se magnetickými efekty přemísťují plechové výlisky. Úchopná síla závisí na síle a počtu magnetů. Uvolnění objektu manipulace od magnetu se provádí stejně jako u ostatních pasivních koncových efektorů – působením vnější síly na objekt manipulace proti uchopovací síle. Nevýhodou pasivních magnetických koncových efektorů je možnost přichycení drobných magnetických předmětů na magnetickou plochu efektoru, což způsobí nepřesné uchopení předmětu manipulace [5] [6].

Aktivní magnetické koncové efekty využívají k přemístění objektu manipulace elektromagnety (obr. 10). Nejčastěji napájeny stejnosměrným proudem. Uvolnění objektu manipulace od elektromagnetu se provádí přerušením přívodu proudu do elektromagnetu. Následně vlastní hmotností objektu manipulace dojde k uvolnění. U menších objektů manipulace nemusí dojít k uvolnění po přerušení přívodu proudu do elektromagnetu, protože při uchopení došlo k zmagetizování objektu manipulace. Proto se po přerušení přívodu proudu do elektromagnetu provádí odmagetování objektu manipulace [5].



Obr. 10) Magnetický manipulační koncový efektor [18]

3.2 Koncové efekty technologické

Technologické koncové efekty jsou tvořeny přímo nástrojem, který vykonává danou technologickou operaci. Technologické koncové efekty rozdělujeme podle druhu operace, kterou vykonávají: dělení, obrábění, spojování materiálů, povrchová úprava atd. [5].

3.2.1 Koncové efekty technologické – dělení materiálu

Pro dělení materiálu se používají koncové efekty s mechanickým dělením, laserovým paprskem (obr. 11), plazmovým paprskem, vodním paprskem atd. [2].



Obr. 11) Technologický koncový efektor k dělení materiálu [19]

3.2.2 Koncové efekty technologické – obrábění materiálu

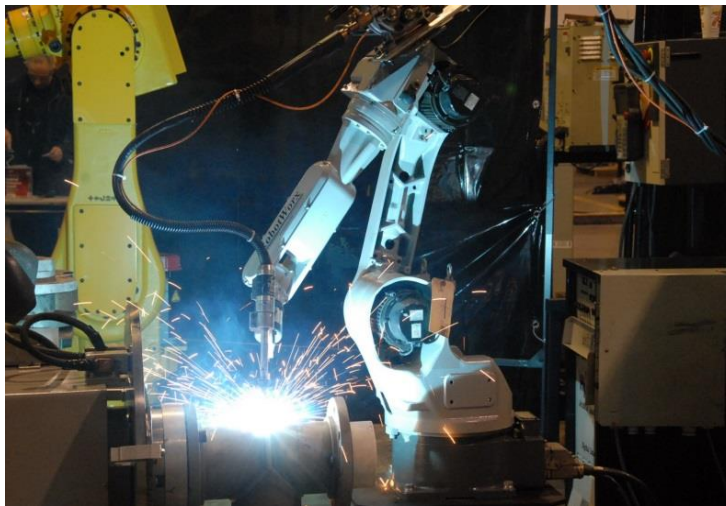
Obráběcí technologické koncové efekty se mohou použít k frézování, vrtání (obr. 12), soustružení atd. Průmyslový robot nedosahuje takové přesnosti jako obráběcí stroj, kvůli své nižší tuhosti [1].



Obr. 12) Technologický koncový efektor k obrábění materiálu [20]

3.2.3 Koncové efekty technologické – spojování materiálů

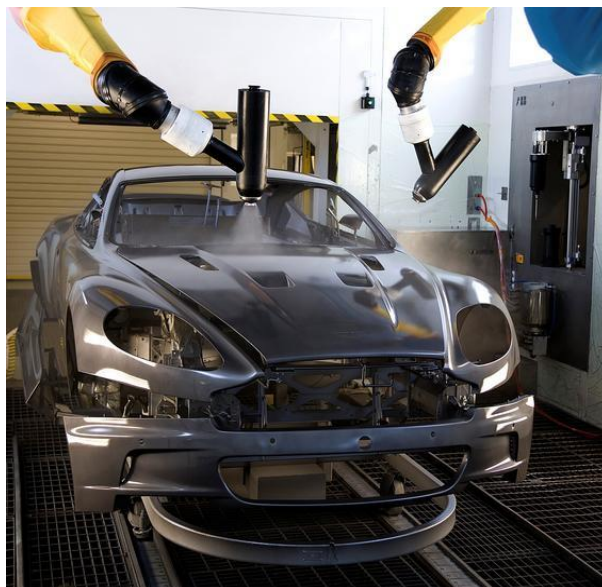
Technologickými efekty určenými pro spojování můžeme spojovat materiály pomocí svařování (obr. 13), pájení, lepení atd. Nejčastěji se používá ke spojování materiálu tavné elektrické svařování (obloukové svařování a odporové bodové svařování) [5].



Obr. 13) Technologický koncový efektor ke spojování materiálu [21]

3.2.4 Koncové efekty technologické – povrchová úprava

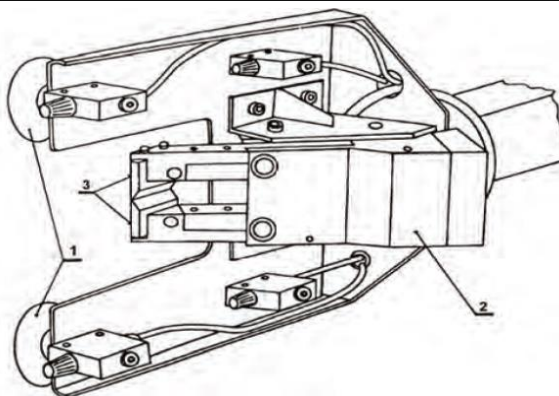
Technologické efekty slouží k nanášení ochranných látek (obr. 14) a nátěrových hmot. Nejčastěji se používají k lakování [4].



Obr. 14) Technologický koncový efektor k povrchové úpravě [22]

3.3 Koncové efekty kombinované

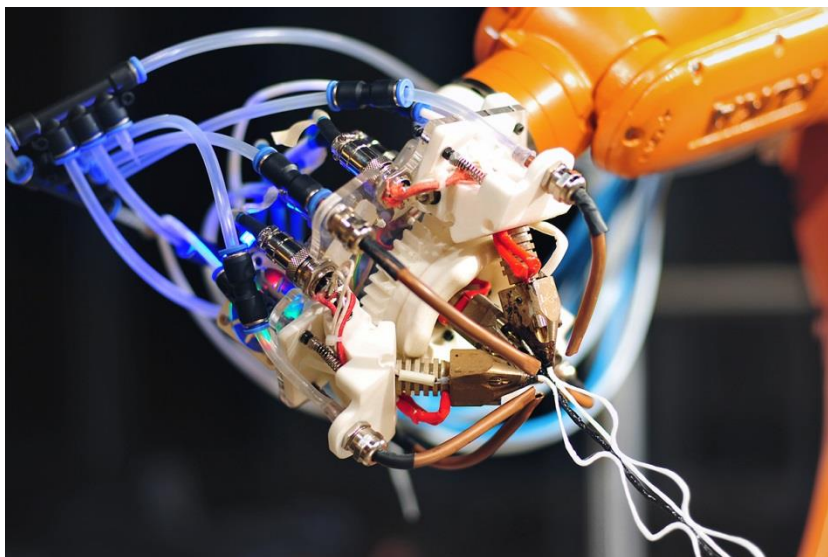
Kombinované koncové efekty (obr. 15) jsou různé kombinace předchozích efektorů, které umožňují vykonávat současně dvě a více operací. Například manipulaci s objektem a technologickou operaci [5].



Obr. 15) Kombinovaný koncový efektor [8]

3.4 Koncové efekторы speciální

Speciální koncové efekторы (obr. 16) jsou tak specifické, že nejdou zařadit do žádné z předchozích skupin. Patří sem efekторы používané například v medicíně [5].

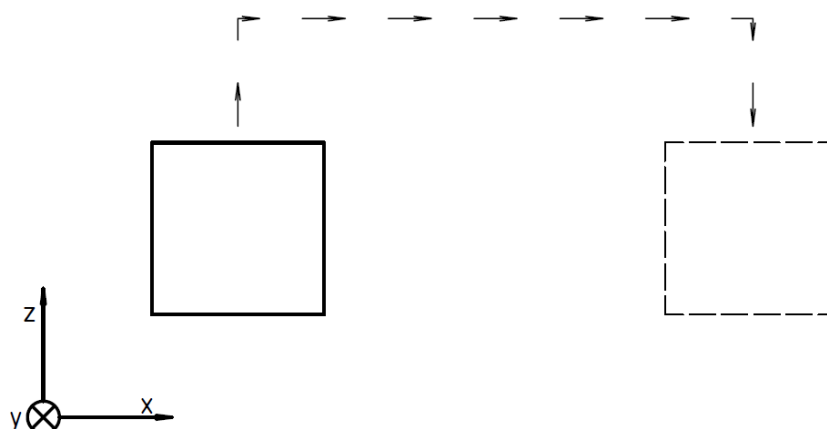


Obr. 16) Speciální koncový efektor [23]

4 NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU

4.1 Analýza úlohy

Cílem manipulační úlohy je přemístit objekt manipulace z předem definované polohy výskytu do místa potřeby (obr. 17). Objekt manipulace je krychle z Polyvinylchloridu o hustotě 1380 kg/m^3 a výšce hrany 60 mm . K manipulační úloze je použit průmyslový robot KUKA KR 3 arc. Manipulační dráha se skládá z třech translačních pohybů po přímkách, které postupně na sebe navazují. Pro dané pohybu manipulační úlohy je uvažováno zrychlení $a_x = a_y = 8 \text{ m/s}^2$.

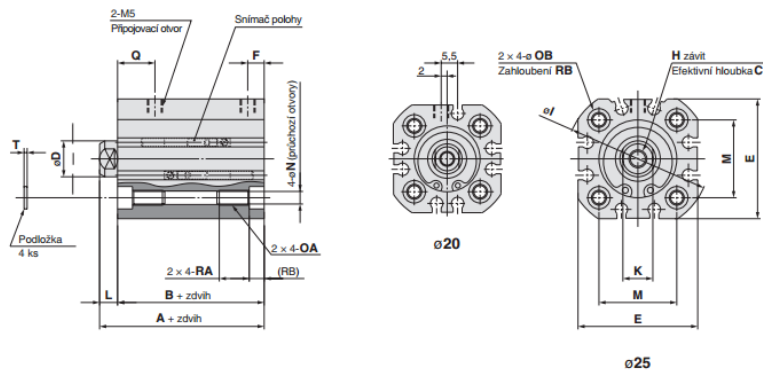


Obr. 17) Manipulační dráha

4.2 Řízení a pohon

Pohyb aktivních mechanických prvků může být realizován pomocí hydromotoru, pneumatického motoru, nebo elektromotoru. Čelisti mechanických aktivních koncových efektorů mohou být poháněny společně nebo samostatně. Pohon může být propojen přímo s čelistmi, nebo mezi pohon a čelisti je vložen transformační prvek. Transformační prvek je mechanický převod, který přeměňuje smysl výstupního pohybu z pohonu na požadovaný pohyb čelistí, uchopovací sílu, rychlost pohybu čelistí a umožňuje současně ovládat více čelistí zároveň [5].

Koncový efektor bude poháněn pneumatickým lineárním pohonem (obr. 18). Pneumatický píst C55, rozsah pracovního tlaku $0,05 - 1 \text{ MPa}$, průměr pístu 20 mm a pracovní zdvih 20 mm . Pákový mechanismus bude přeměňovat vstupní lineární pohyb pneumatického pístu na otočný pohyb úchopných čelistí.

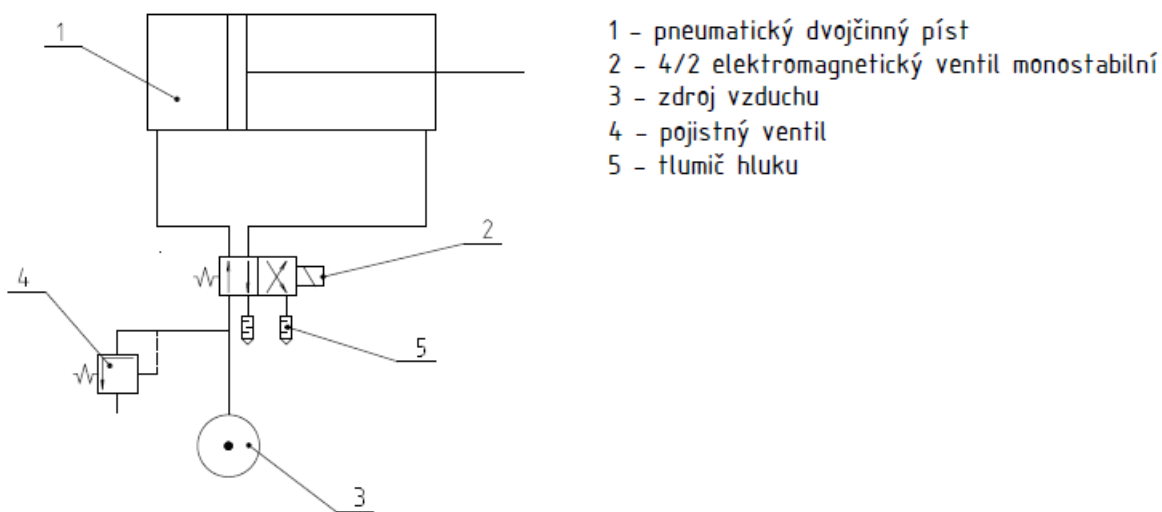


Základní provedení (mm)

| ø pístu (mm) | A | B | C | D | E | F | H | I | K | L | M | N | OA | OB | Q | RA | RB | T |
|--------------|----|----|----|----|----|-----|----|----|---|---|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|
| 20 | 43 | 37 | 10 | 10 | 36 | 5,5 | M6 | 43 | 8 | 6 | 22 | 4,5 | M5 | 7,5 | 13 | 10 | 5 | 0,8 |

Obr. 18) Pohon koncového efektoru [13]

Dvojitý pneumatický píst bude zapojen do navrženého pneumatického obvodu (obr. 19). Pneumatický píst bude řízen čtyřcestným dvoupolohovým elektromagnetickým monostabilním ventilem. Průmyslový robot bude manipulační úlohu vykonávat v automatizované buňce, která bude zabezpečena mechanickou bránou. Z tohoto důvodu pneumatický obvod koncového efektoru není jištěn proti výpadku dodávky vzduchu ze zdroje, který by způsobil neřízené uvolnění objektu manipulace z kleští koncového efektoru.



Obr. 19) Pneumatický obvod

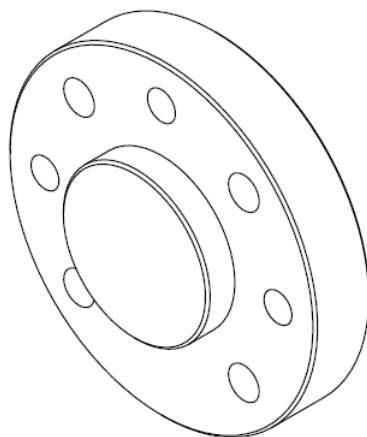
4.3 Výběr úchopné hlavice

Zadanou manipulační úlohu je možno realizovat pomocí mechanického nebo podtlakového koncového efektoru. Objekt manipulace není z magnetického materiálu, a proto nelze použít magnetický efektor.

Cílem práce je navrhnout mechanický koncový efektor poháněný lineárním pneumatickým motorem. Vstupní přímočarý pohyb od pohonu bude transformován pomocí pákového mechanismu na otočný pohyb úchopných čelistí.

4.4 Konstrukce příruby

Koncový efektor se připojí pomocí příruby ke koncové části průmyslového robotu (obr. 20). V našem případě použijeme pevné připojení bez možnosti rychlé výměny. Připojovací rozměry jsou dány normou ČSN EN ISO 9409-1. Při montáži se nejprve příruba připevní k lící desce robotu čtyřmi šrouby a středícím kolíkem. Následně se základní deska efektoru připevní k přírubě pomocí šroubů a středících kolíků. V konstrukci je kladen zejména důraz na přesnost a minimální hmotnost. Výkres PKE-016-1-1 [10].



Obr. 20) Příruba

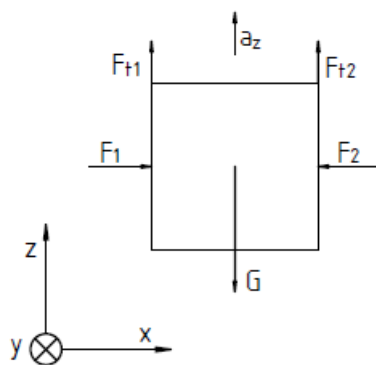
4.5 Výpočet uchopovací síly

Pro bezpečnou manipulaci s objektem manipulace je nutné vypočítat uchopovací sílu, aby během manipulace nedošlo k samovolnému uvolnění objektu manipulace z uchopovacích čelistí. Výpočet přitlačné síly provedeme jednotlivě pro každý úsek manipulační dráhy. Výsledná uchopovací síla se rovná největší přitlačné síle, která je zvětšena o danou hodnotu bezpečnosti. Práce dále obsahuje analýzu uchopovací síly v závislosti na délce vysunutí pístu.

4.5.1 Výpočet potřebné minimální úchopné síly

Pohyb v ose z+

Silové uvolnění tělesa při pohybu v ose z (obr. 21) dle rovnic (1) a (2).



Obr. 21) Pohyb v ose z+

$$\begin{aligned} \Sigma F_x: F_1 - F_2 &= 0 \\ F_1 &= F_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_z: F_{t1} - G + F_{t2} &= m \cdot a_z \\ F_1 \cdot f - m \cdot g + F_2 \cdot f &= m \cdot a_z \Rightarrow F_2 \\ F_2 &= m \cdot (a_z + g) \cdot \frac{1}{2f} \end{aligned} \quad (2)$$

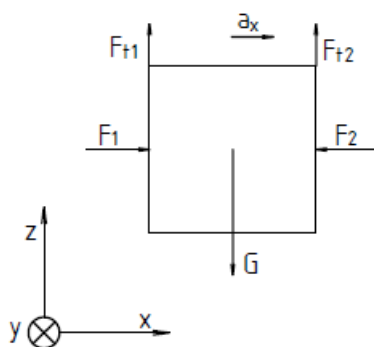
Dosazením hodnot do rovnice (1) a (2) získáme velikost přtláčných sil čelistí na objekt manipulace.

$$\begin{aligned} F_2 &= m \cdot (a_z + g) \cdot \frac{1}{2f} \\ F_2 &= 0,3 \cdot (8 + 9,81) \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,4} \\ F_2 &= 6,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= F_2 \\ F_1 &= 6,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Pohyb v ose x+

Silové uvolnění tělesa při pohybu v ose z (obr. 22) dle rovnic (2) a (3).



Obr. 22) Pohyb v ose x+

$$\begin{aligned} \Sigma F_z: F_{t1} + F_{t2} - G &= 0 \\ F_1 \cdot f + F_2 \cdot f - m \cdot g &= 0 \Rightarrow F_2 \\ F_2 &= \frac{m \cdot g}{f} - F_1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Sigma F_x: F_1 - F_2 = m \cdot a_x$$

$$F_1 - \frac{m \cdot g}{f} + F_1 = m \cdot a_x \Rightarrow F_1$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a_x + g \cdot \frac{1}{f}) \quad (4)$$

Dosazením hodnot do rovnice (3) a (4) získáme velikost přtláčných sil čelistí na objekt manipulace.

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a_x + g \cdot \frac{1}{f})$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot (8 + 9,81 \cdot \frac{1}{0,4})$$

$$F_1 = 4,9 \text{ N}$$

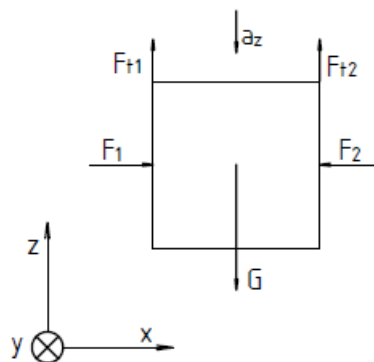
$$F_2 = \frac{m \cdot g}{f} - F_1$$

$$F_2 = \frac{0,3 \cdot 9,81}{0,4} - 4,9$$

$$F_2 = 2,5 \text{ N}$$

Pohyb v ose z-

Silové uvolnění tělesa při pohybu v ose z (obr. 23) dle rovnic (5) a (6).



Obr. 23) Pohyb v ose z-

$$\Sigma F_x: F_1 - F_2 = 0$$

$$F_1 = F_2 \quad (5)$$

$$\Sigma F_z: F_{t1} - G + F_{t2} = -m \cdot a_z$$

$$F_1 \cdot f - m \cdot g + F_2 \cdot f = -m \cdot a_z \Rightarrow F_2$$

$$F_2 = m \cdot (-a_z + g) \cdot \frac{1}{2f} \quad (6)$$

Dosažením hodnot do rovnice (5) a (6) získáme velikost přtláčných sil čelistí na objekt manipulace.

$$F_2 = m \cdot (-a_z + g) \cdot \frac{1}{2f}$$

$$F_2 = 0,3 \cdot (-8 + 9,81) \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,4}$$

$$F_2 = 0,7 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2$$

$$F_1 = 0,7 \text{ N}$$

Výsledná uchopovací síla

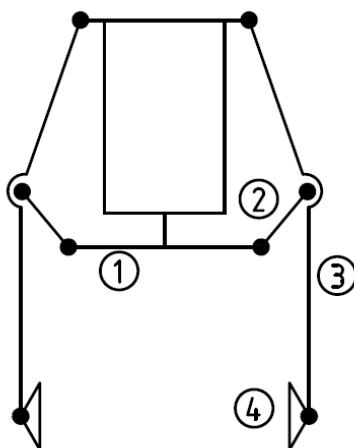
$$F_u = F_{max} \cdot k$$

(7)

$$F_u = 6,7 \cdot 2$$

$$F_u = 13,4 \text{ N}$$

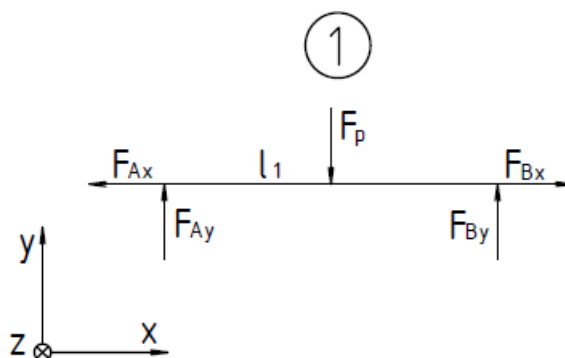
4.5.2 Závislost uchopovací síly na délce vysunutí pístu



Obr. 24) Schéma koncového efektoru

Statické uvolnění těles

Těleso 1



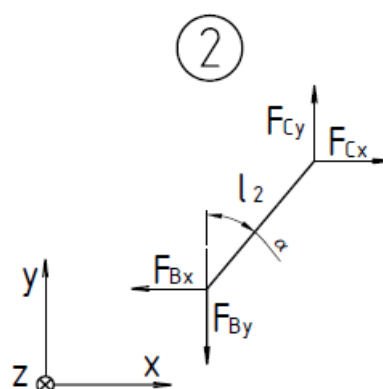
Obr. 25) Silové uvolnění příčnicku

$$\Sigma F_x: -F_{Ax} + F_{Bx} = 0 \quad (11)$$

$$\Sigma F_y: -F_P + F_{Ay} + F_{By} = 0 \quad (12)$$

$$\Sigma M_A: -F_P \cdot \frac{l_1}{2} + F_{By} \cdot l_1 = 0 \quad (13)$$

Těleso 2



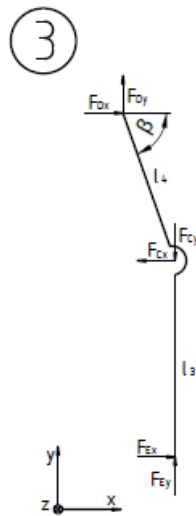
Obr. 26) Silové uvolnění ramene

$$\Sigma F_x: -F_{Bx} + F_{Cx} = 0 \quad (21)$$

$$\Sigma F_y: -F_{By} + F_{Cy} = 0 \quad (22)$$

$$\Sigma M_C: -F_{Bx} \cdot \cos(\alpha) \cdot l_2 + F_{By} \cdot \sin(\alpha) \cdot l_2 = 0 \quad (23)$$

Těleso 3



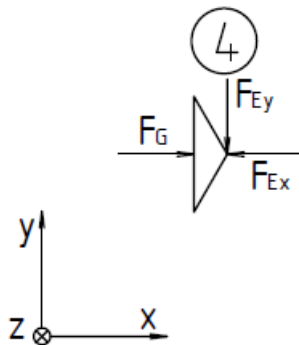
Obr. 27) Silové uvolnění ramene 2

$$\Sigma F_x: -F_{Cx} + F_{Ex} + F_{Dx} = 0 \quad (31)$$

$$\Sigma F_y: -F_{Cy} + F_{Dy} + F_{Ey} = 0 \quad (32)$$

$$\Sigma M_D: -F_{Cx} \cdot \sin(\beta) \cdot l_4 - F_{Cy} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4 + F_{Ex} \cdot (\sin(\beta) \cdot l_4 + l_3) + F_{Ey} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4 = 0 \quad (33)$$

Těleso 4



Obr. 28) Silové uvolnění kleštiny

$$\Sigma F_x: -F_G + F_{Ex} = 0 \quad (41)$$

$$\Sigma F_y: F_{Ey} = 0 \quad (42)$$

Výpočet reakčních sil

Výpočet reakčních sil je proveden při uchopení objektu manipulace, kde $\alpha = 40,35^\circ$ a $\beta = 65,67^\circ$, což odpovídá uchopení objektu manipulace při zadané manipulační úloze. Hodnoty reakčních sil jsou uvedeny pro maximální pracovní tlak pístu $p_{\max} = 1$ MPa. Velikost reakčních sil vypočteme z rovnic (01) až (42).

$$F_P = p_{max} \cdot S = p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$F_P = 1 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$F_P = 314,2 \text{ N}$$

$$-F_P \cdot \frac{l_1}{2} + F_{By} \cdot l_1 = 0 \Rightarrow F_{By}$$

$$F_{By} = F_P \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \frac{1}{l_1} = F_P \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{By} = 314,2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$F_{By} = 157,1 \text{ N}$$

$$-F_P + F_{Ay} + F_{By} = 0 \Rightarrow F_{Ay}$$

$$F_{Ay} = F_P - F_{By}$$

$$F_{Ay} = 314,2 - 157,1$$

$$F_{Ay} = 157,1 \text{ N}$$

$$-F_{By} + F_{Cy} = 0 \Rightarrow F_{Cy}$$

$$F_{Cy} = F_{By}$$

$$F_{Cy} = 157,1 \text{ N}$$

$$-F_{Bx} \cdot \cos(\alpha) \cdot l_2 + F_{By} \cdot \sin(\alpha) \cdot l_2 = 0 \Rightarrow F_{Bx}$$

$$F_{Bx} = F_{By} \cdot \sin(\alpha) \cdot l_2 \cdot \frac{1}{\cos(\alpha) \cdot l_2} = F_{By} \cdot \tan(\alpha)$$

$$F_{Bx} = 157,1 \cdot \tan(\alpha)$$

$$F_{Bx} = 133,4 \text{ N}$$

$$-F_{Bx} + F_{Cx} = 0 \Rightarrow F_{Cx}$$

$$F_{Cx} = F_{Bx}$$

$$F_{Cx} = 133,4 \text{ N}$$

$$-F_{Ax} + F_{Bx} = 0 \Rightarrow F_{Ax}$$

$$F_{Ax} = F_{Bx}$$

$$F_{Ax} = 133,4 \text{ N}$$

$$F_{Ey} = 0 \text{ N}$$

$$-F_{Cy} + F_{Dy} + F_{Ey} = 0 \Rightarrow F_{Dy}$$

$$F_{Dy} = F_{Cy} - F_{Ey}$$

$$F_{Dy} = 157,1 + 0$$

$$F_{Dy} = 157,1N$$

$$-F_{Cx} \cdot \sin(\beta) \cdot l_4 - F_{Cy} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4 + F_{Ex} \cdot (\sin(\beta) \cdot l_4 + l_3) + F_{Ey} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4 = 0$$

$$F_{Ex} = (F_{Cx} \cdot \sin(\beta) \cdot l_4 + F_{Cy} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4 - F_{Ey} \cdot \cos(\beta) \cdot l_4) \cdot \frac{1}{\sin(\beta) \cdot l_4 + l_3}$$

$$F_{Ex} = (133,4 \cdot \sin(\beta) \cdot 60 \cdot 10^{-3} + 157,1 \cdot \cos(\beta) \cdot 60 \cdot 10^{-3} - 0 \cdot \cos(\beta) \cdot 60 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{1}{\sin(\beta) \cdot 60 \cdot 10^{-3} + 70 \cdot 10^{-3}}$$

$$F_{Ex} = 89,7N$$

$$-F_{Cx} + F_{Dx} + F_{Ex} = 0 \Rightarrow F_{Dx}$$

$$F_{Dx} = F_{Cx} - F_{Ex}$$

$$F_{Dx} = 133,4 - 89,7$$

$$F_{Dx} = 43,7N$$

$$-F_G + F_{Ex} = 0 \Rightarrow F_G$$

$$F_G = F_{Ex}$$

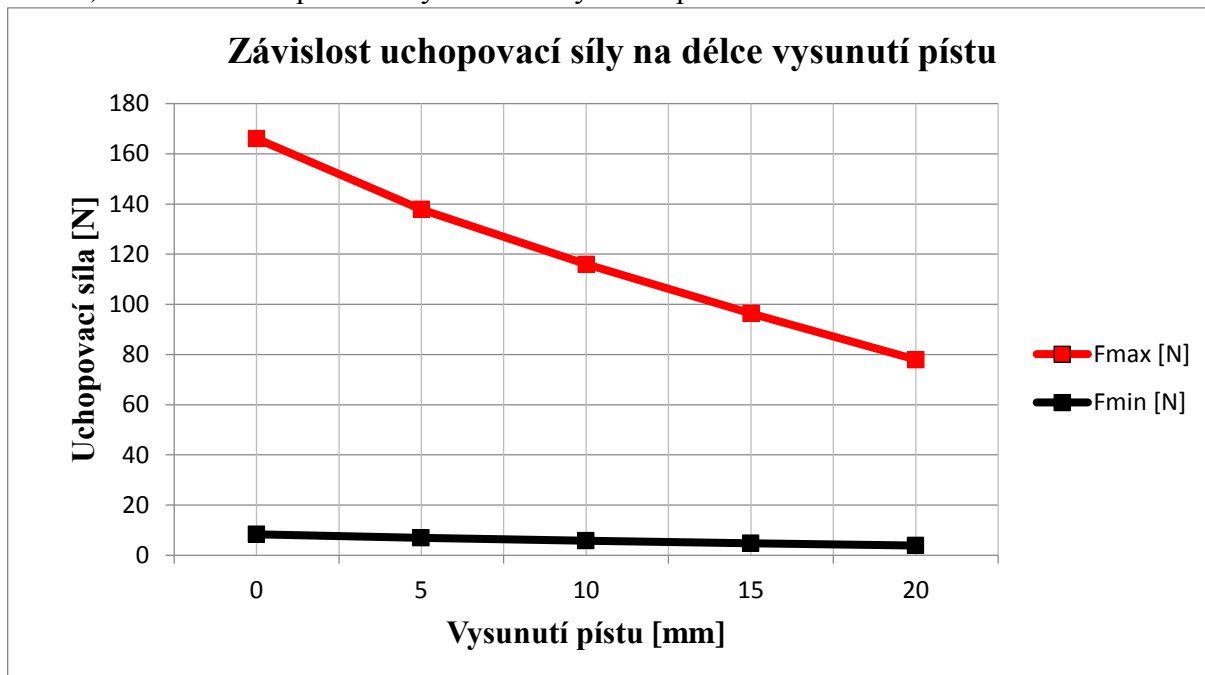
$$F_G = 89,7N$$

Hodnoty uchopovacích sil pro jednotlivé vysunutí jsou uvedeny v tab. 1 a následně znázorněny v grafu 1. Hodnoty uchopovacích sil jsou uvedeny pro maximální pracovní tlak pístu $p_{\max} = 1 \text{ MPa}$ a minimální pracovní tlak pístu $p_{\min} = 0,05 \text{ MPa}$.

Tab 1) Hodnoty uchopovacích sil

| Zdvih pístu [mm] | Uchopovací maximální síla [N] | Uchopovací minimální síla [N] |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 166,1 | 8,3 |
| 5 | 137,9 | 6,9 |
| 10 | 116 | 5,8 |
| 15 | 96,4 | 4,8 |
| 20 | 78 | 3,9 |

Graf 1) Závislost uchopovací síly na délce vysunutí pístu



4.6 Kontrola čepu

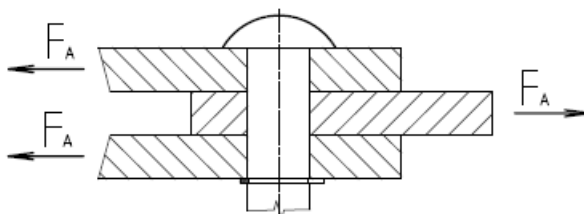
V konstrukci koncového efektoru jsou použity čepy z materiálu 11 500 o stejném průměru. V místě největšího silového zatížení dle výpočtu reakcí, zkontrolujeme navržený čep na otlacení a stříh. Největší silové zatížení určíme z rovnic (11), (12), (13), (21), (22) a (23).

Síla zatěžující čep

$$F_A = F_B = F_C = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2}$$

$$F_A = \sqrt{133,4^2 + 157,1^2}$$

$$F_A = 206,1N$$



Obr. 29) Zatížení čepu

4.6.1 Kontrola čepu na otláčení

$$p = \frac{F}{S} \leq p_D$$

$$p_d = 95 \text{ MPa}$$

$$p = \frac{F_A}{S_o} = \frac{F_A}{t \cdot d}$$

$$p = \frac{206,1}{3,5 \cdot 5}$$

$$p = 17,5 \text{ MPa}$$

$p < p_d \Rightarrow$ navržený průměr čepu vyhovuje

4.6.2 Kontrola čepu na stříh

$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_D$$

$$\tau_D = 85 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{F_A}{2 \cdot S_s} = \frac{2 \cdot F_A}{\pi \cdot d^2}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 206,1}{\pi \cdot 5^2}$$

$$\tau = 78,5 \text{ MPa}$$

$\tau < \tau_D \Rightarrow$ navržený průměr čepu vyhovuje

5 ZÁVĚR

V první části práce byl proveden základní popis a rozdělení průmyslových robotů používaných v praxi. Průmyslové roboty byly rozděleny podle kinematické struktury a dále byly popsány jejich základní vlastnosti a parametry jako jsou pracovní prostor, uplatnění v průmyslu, nosnost atd.

Práce se dále zabývala rozdělením koncových efektorů v průmyslové robotice. Rozdělení koncových efektorů bylo provedeno podle druhu operace, ke které jsou určeny. Práce byla zaměřena zejména na koncové efekторы určené k manipulaci a paletizaci. Z tohoto důvodu byly následně koncové efekторы k manipulaci a paletizaci rozděleny podle způsobu vyvození uchopovací síly. Rozdělení se zabývalo i tím, zda uchopovací sílu lze ovládnout či nikoli.

Druhá část práce se zabývala konstrukčním návrhem koncového efektoru, určeného k manipulaci. Nejdříve byla provedená analýza manipulační úlohy, kde byly stanoveny rozměry, fyzikální vlastnosti a dráha pohybu objektu manipulace. Po provedení analýzy byl zvolen vhodný typ úchopné hlavice. K pohonu úchopné hlavice byl zvolen dvojčinný pneumatický píst. Mezi pohon a čelisti byl vložen transformační prvek, což je mechanismus, který přeměňuje vstupní přímočarý pohyb pohonu na otočný pohyb uchopovacích čelistí. Konstrukční část se zabývala i návrhem příruby, která slouží k snadnému a efektivnímu připojení koncového efektoru k lící desce průmyslového robotu. V konstrukční části byl kladen velký důraz na stanovení, potřebné uchopovací síly v jednotlivých pohybech po dráze manipulace a následně tak byla určena celková potřebná uchopovací síly k bezpečné manipulaci s objektem manipulace. Ve výpočtech byla dále stanovena závislost uchopovací síly na vysunutí pístu pneumatického válce. V závěru této části byl proveden pevnostní výpočet.

V poslední části práce bylo cílem vypracovat kompletní výkresovou dokumentaci zvoleného koncového efektoru. Výkresová dokumentace obsahuje výkres sestavení, návrhový výkres a výrobní výkresy jednotlivých dílů efektoru.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHVÁLA, B., MATIČKA, R., TALÁCKO, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. České vysoké učení technické v Praze. Praha, 1987. 262 s.
- [2] PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika: koncové efekторы pre priemyselné a servisné roboty: navrhovanie – konštrukcia – riešenie*. 1. vyd. Košice, 2004. 272 s. ISBN 8080732183
- [3] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. vyd. VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 1996. 107 s.
- [4] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. 1. vyd. Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 105 s.
- [5] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavic a periférií*. VUT Brno. Brno, 1993. 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [6] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty I. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. PRaM*. VUT Brno. Brno, 1993. 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [7] WOLF, A., STEINMANN, R., SCHUNK, R. *Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks*. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7.
- [8] BLECHA, P., KOLÍBAL, Z., KNOFLÍČEK, R., POCHYLÝ, A., KUBELA, T., BLECHA, R., BŘEZINA, T. *Mechatronika, Modul 10: Robotika* [online]. 2008, [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/7/Modul%2010%20Tschechisch%20komplett.pdf>.
- [9] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita. Ostrava, 2007, 1 CD-R [cit. 2016-04-04]. ISBN 978-80-248-15522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivecd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf.
- [10] ČSN EN ISO 9409-1. *Manipulační průmyslové roboty - Mechanická rozhraní – Část 1: Lící desky*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] KUKA. *Robotics* [online]. 2011 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs.
- [12] OMRON. *Industrial automation* [online]. 2010 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <https://industrial.omron.eu>.

- [13] *ABB. Robotics* [online]. 2013 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.abb.cz>.
- [14] *SMC. Pneumatické lineární pohony* [online]. 2010 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/C55_CZ.pdf.
- [15] *Penn State* [online]. 2015 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <https://sites.psu.edu/algotecton/category/uncategorized>.
- [16] *Destaco* [online]. 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.destaco.com/round-tooling.html>.
- [17] *Schmalz* [online]. 2012 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://us.schmalz.com/aktuelles/presse/vakuumkomponenten/01847>.
- [18] *Moder Machine Shop* [online]. 2014 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.mmsonline.com/products/magnetic-end-effectors-offer-fail-safe-operation>.
- [19] *Thefabricator* [online]. 2001 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/tubepipefabrication/optimizing-robotic-laser-cutting-of-hydroformed-tubes>.
- [20] *Moder Machine Shop* [online]. 2011 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.mmsonline.com/articles/effective-hole-making-via-robotic-orbital-drilling>.
- [21] *Robotic Tomorrow* [online]. 2014 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.roboticstomorrow.com/article/2014/11/robotic-assembly/5124>.
- [22] *Independent Study* [online]. 2015 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://ming3d.com/wordpress/?p=1194>.
- [23] *Robotics Tomorrow* [online]. 2015 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.roboticstomorrow.com/article/2015/04/robotic-end-of-press-palletizing-solution/5828>.

7 SEZNAM SYMBOLŮ

| | | |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|
| a_x | [ms ⁻²] | zrychlení objektu manipulace v ose x |
| a_z | [ms ⁻²] | zrychlení objektu manipulace v ose z |
| D | [mm] | průměr pístu |
| d | [mm] | průměr čepu |
| F_1 | [N] | přítlačná síla čelistí |
| F_2 | [N] | přítlačná síla čelistí |
| F_{Ax} | [N] | reakční síla v místě A v ose x |
| F_{Ay} | [N] | reakční síla v místě A v ose y |
| F_{Bx} | [N] | reakční síla v místě B v ose x |
| F_{By} | [N] | reakční síla v místě B v ose y |
| F_{Cx} | [N] | reakční síla v místě C v ose x |
| F_{Cy} | [N] | reakční síla v místě C v ose y |
| F_{Dx} | [N] | reakční síla v místě D v ose x |
| F_{Dy} | [N] | reakční síla v místě D v ose y |
| F_{Ex} | [N] | reakční síla v místě E v ose x |
| F_{Ey} | [N] | reakční síla v místě E v ose y |
| F_G | [N] | reakční síla v místě G |
| F_{max} | [N] | maximální přítlačná síla čelistí |
| F_p | [N] | síla pístu |
| F_{t1} | [N] | třecí síla čelisti |
| F_{t2} | [N] | třecí síla čelisti |
| F_u | [N] | výsledná uchopovací síla |
| f | [-] | součinitel tření |
| G | [N] | tíha objektu manipulace |
| g | [ms ⁻²] | tíhové zrychlení |
| k | [-] | součinitel bezpečnosti |
| l_1 | [m] | délka příčnicku |
| l_2 | [m] | délka ramene 2 |
| l_3 | [m] | délka ramene 3 |
| l_4 | [m] | délka ramene 4 |
| m | [kg] | hmotnost objektu manipulace |
| p | [MPa] | namáhání tlakem |
| p_D | [MPa] | dovolené namáhání tlakem |

| | | |
|-----------|------------|-------------------------------|
| p_{max} | [MPa] | maximální pracovní tlak pístu |
| p_{min} | [MPa] | minimální pracovní tlak pístu |
| S | [mm^2] | plocha pístu |
| S_0 | [mm^2] | plocha namáhaná tlakem |
| S_s | [mm^2] | plocha namáhaná stříhem |
| t | [mm] | tloušťka ramene |
| x^+ | [-] | pohyb v kladném směru osy x |
| z^+ | [-] | pohyb v kladném směru osy z |
| z^- | [-] | pohyb v záporném směru osy z |
| α | [°] | natočení ramene 1 |
| β | [°] | natočení ramene 2 |
| τ | [MPa] | napětí ve stříku |
| τ_D | [MPa] | dovolené napětí ve stříku |

8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

| | | |
|----------|--|----|
| Obr. 1) | Šestiosý průmyslový robot | 17 |
| Obr. 2) | Paletizační průmyslový robot | 18 |
| Obr. 3) | SCARA robot | 19 |
| Obr. 4) | Delta robot | 19 |
| Obr. 5) | Průmyslový robot s efektozem | 21 |
| Obr. 6) | Rozdělení koncových efektorů | 22 |
| Obr. 7) | Mechanický manipulační koncový efektor | 23 |
| Obr. 8) | Pasivní podtlakový manipulační koncový efektor | 23 |
| Obr. 9) | Aktivní podtlakový manipulační koncový efektor | 24 |
| Obr. 10) | Magnetický manipulační koncový efektor | 24 |
| Obr. 11) | Technologický koncový efektor k dělení materiálu | 25 |
| Obr. 12) | Technologický koncový efektor k obrábění materiálu | 25 |
| Obr. 13) | Technologický koncový efektor ke spojování materiálu | 26 |
| Obr. 14) | Technologický koncový efektor k povrchové úpravě | 26 |
| Obr. 15) | Kombinovaný koncový efektor | 27 |
| Obr. 16) | Speciální koncový efektor | 27 |
| Obr. 17) | Manipulační dráha | 29 |
| Obr. 18) | Pohon koncového efektoru | 30 |
| Obr. 19) | Pneumatický obvod | 30 |
| Obr. 20) | Příruba | 31 |
| Obr. 21) | Pohyb v ose z+ | 31 |
| Obr. 22) | Pohyb v ose x+ | 32 |
| Obr. 23) | Pohyb v ose z- | 33 |
| Obr. 24) | Schéma koncového efektoru | 34 |
| Obr. 25) | Silové uvolnění příčnicku | 35 |
| Obr. 26) | Silové uvolnění ramene | 35 |
| Obr. 27) | Silové uvolnění ramene 2 | 36 |
| Obr. 28) | Silové uvolnění kleštiny | 36 |
| Obr. 29) | Zatížení čepu | 39 |
| Tab 1) | Hodnoty uchopovacích sil | 38 |
| Graf 1) | Závislost uchopovací síly na délce vysunutí pístu | 39 |

9 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

| | |
|---------------|------------------|
| PKE-016-1 | výkres sestavení |
| PKE-016-1 | seznam položek |
| PKE-016-1.1 | návrhová sestava |
| PKE-016-1-1 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-2 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-3 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-4 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-5 | výkres svarku |
| PKE-016-1-5-1 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-5-2 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-6 | výrobní výkres |
| PKE-016-1-7 | výrobní výkres |