



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

KONCOVÉ EFEKTORY V PRŮMYSLOVÉ ROBOTICE

END EFFECTORS IN ROBOTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ FLEKAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Flekal Lukáš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Koncové Efektory v Průmyslové Robotice

v anglickém jazyce:

End Effectors in Robotics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nosná část práce spočívá v analýze koncových efektorů pro průmyslové roboty a primárně určené pro manipulační operace.

Cíle bakalářské práce:

1. Vyhotovte přehled používaných koncových efektorů používaných v souvislosti s průmyslovými roboty. Základní rozdělení proveďte dle typu úlohy; např. svařování, řezání, manipulace a paletizace.
2. Podrobněji se zaměřte na úchopové hlavice (elektrické či pneumatické) pro úlohy typu manipulace či paletizace.
3. Analyzujte a vlastními slovy popište možnosti použití úchopových hlavic a vymezte základní metodiku pro návrh koncového efektoru, tj. analyzujte konkrétní úlohu, výběr úchopové hlavice, konstrukce příruby, výpočty úchopových sil a možnosti řízení.
4. Krátce pojednejte na téma využitelnosti adaptivních koncových efektorů v současné průmyslové praxi.

Seznam odborné literatury:

PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

WOLF, A., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7

SCHMID, D. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Europa-Sobotáles, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9

SKAŘUPA, J. ZELINA, P. Hlavice průmyslových robotů. 1. vyd. Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 105 s.

SKAŘUPA, J. ZELINA, P. Navrhování a výpočty efektorů PRaM. 1. vyd. VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 1996. 107 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

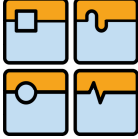
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 7.11.2008



Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou průmyslové robotiky. Je v ní pojednáno o základních typech průmyslových robotů a manipulátorů. Dále se zabývá rozdělením a popisem jednotlivých typů koncových efektorů se zaměřením na úchopové hlavice, které jsou rozebrány podrobněji s popisem základních principů jejich funkce, konstrukce a jejich praktického využití. V práci je popsán postup návrhu a výběru úchopové hlavice na konkrétním případě, který je vyřešen spolu s návrhem příruby pro připojení k průmyslovému robotu.

Klíčová slova

průmyslový robot, koncový efektor, chapadlo

Abstract

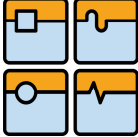
This bachelor's thesis deals with problems of industrial robotics. The thesis covers the standard types of industrial robots and manipulators. Further deals with division and description types of end effectors with view to grippers, that are out of print in more detail with description keystone of their function, construction and their practical usage. There is also a practical case description of the design and selection procedure of a gripper module, which is shown together with drawing of flange for joining to the industrial robot.

Key words

Industrial robot, end effector, gripper

Bibliografická citace

FLEKAL, L. *Koncové Efektory v Průmyslové Robotice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

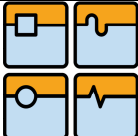
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Koncové Efektory v Průmyslové Robotice“ vypracoval samostatně, za použití pramenů, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

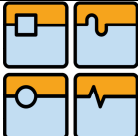
V Brně dne 25.5.2009

.....
Lukáš Flekal

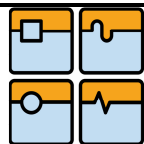
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Poděkování

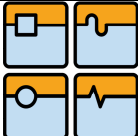
Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi byly poskytnuty při zpracování bakalářské práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1. ÚVOD	15
2. PRŮMYSLOVÝ ROBOT	17
2.1. STUPNĚ VOLNOSTI.....	17
2.2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY	20
2.2.1. NOSNOST.....	20
2.2.2. VELIKOST PRACOVNÍHO PROSTORU	21
2.2.3. RYCHLOST A ZRYCHLENÍ	22
3. KONCOVÉ EFEKTORY	22
3.1. ROZDĚLENÍ	23
3.1.1. KONCOVÉ EFEKTORY PRO MANIPULACI A PALETIZACI.....	24
3.1.2. KONCOVÉ EFEKTORY PRO PRŮMYSLOVOU VÝROBU.....	25
3.1.3. KONCOVÉ EFEKTORY PRO KONTROLU SOUČÁSTÍ	27
3.2. KUKA ROBOCOASTER.....	27
4. CHAPADLA.....	29
4.1. PŘEDMĚT PRO UCHOPENÍ	29
4.2. TVARY A POLOHY VÝROBKŮ.....	29
4.3. PRINCIP CHAPADEL	29
4.4. ROZDĚLENÍ CHAPADEL	29
4.4.1. KONTAKTNÍ CHAPADLA	30
4.4.2. CHAPADLA AKTIVNÍ.....	30
4.4.3. INGRESIVNÍ CHAPADLA.....	34
4.4.4. STAHOJÍCÍ CHAPADLA.....	35
4.4.5. PŘILNAVÁ CHAPADLA.....	36
5. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ ÚCHOPOVÝCH HLAVIC.....	37
6. NÁVRH UCHOPOVACÍ OPERACE	39
6.1. ZADÁNÍ PROBLÉMU	39



6.2. CHARAKTERISTIKY OBJEKTU MANIPULACE.....	39
6.3. DRÁHA POHYBU	40
6.4. ZRYCHLENÍ REFERENČNÍHO BODU.....	40
6.4.1. OBLOUKOVÁ DRÁHA	42
6.4.2. PŘÍMKOVÁ DRÁHA.....	43
6.5. VOLBA UCHOPOVACÍHO ELEMENTU.....	43
6.5.1. RYBINOVÉ VYBRÁNÍ.....	44
6.5.2. PRYŽOVÁ VLOŽKA.....	44
6.5.3. VLOŽKA SCHUNK	45
6.6. STANOVENÍ UCHOPOVACÍ SÍLY	45
6.6.1. SÍLY NA PŘÍMÉ DRÁZE	47
6.6.2. SÍLY NA OBLOUKOVÉ DRÁZE.....	48
6.7. VÝBĚR CHAPADLA.....	48
6.7.1. ÚCHOPOVÁ HLAVICE SCHUNK MEG 64 EC	49
6.7.2. UCHOPOVACÍ PŘESAHA.....	50
6.8. PŘÍRUBA	50
6.8.1. VARIANTA BEZ REDUKČNÍ ČÁSTI S NÁSTRČNÝM STŘEDÍCÍM ČLENEM.....	52
6.8.2. VARIANTA S REDUKČNÍ ČÁSTÍ S PEVNÝM STŘEDÍCÍM ČLENEM.....	53
6.8.3. VARIANTA S REDUKČNÍ ČÁSTÍ PRO RYCHLOU VÝMĚNU.....	53
<u>7. MOŽNOSTI ŘÍZENÍ.....</u>	<u>55</u>
7.1. PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	55
7.1.1. PLAY-BACK PROGRAMOVÁNÍ.....	55
7.1.2. TEACH-IN PROGRAMOVÁNÍ	56
7.1.3. OFF-LINE PROGRAMOVÁNÍ	56
7.1.4. PŘÍKLAD PROGRAMU	57
<u>8. ADAPTABILNÍ CHAPADLA</u>	<u>58</u>
<u>9. ZÁVĚR.....</u>	<u>60</u>
<u>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</u>	<u>61</u>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

SEZNAM WWW STRÁNEK	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	64
SEZNAM TABULEK	65
SEZNAM GRAFŮ	65
SEZNAM DIAGRAMŮ.....	65
SEZNAM PŘÍLOH.....	65

1. Úvod

Tématem práce jsou koncové efekторы používané v průmyslové robotice. Toto téma úzce souvisí s problematikou průmyslových robotů. Proto si v první části práce provedeme základní popis a rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů, se zaměřením na popis typů základních kinematických principů a nejdůležitějších specifikacích rozhodujících při výběru robotu.

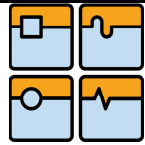
Dále se v práci zaměříme na rozdělení a popis koncových efektorů používaných ve všech průmyslových odvětvích. Nejvíce probereme hlavice používané při manipulačních aplikacích, které rozdělíme dle principu funkce a provedeme základní popis fyzikálních principů jejich fungování. Krátce pojednáme o možnostech jejich praktického využití.

V práci se budeme zabývat nejen deskripcí koncových efektorů, ale i praktickým postupem při jejich návrhu a výpočtu pro konkrétní uchopovací operaci, realizovanou průmyslovým robotem KUKA KR3 a uchopovou hlavicí SCHUNK MEG 64 EC s elektrickým pohonem. Navrhne tedy dvě dráhy pohybu pro uchopovací operaci a varianty úprav čelistí, pro které vypočítáme potřebné uchopovací síly a následně vybereme nejvhodnější variantu, s ohledem na možnosti bezpečného uchopení objektu tvaru válce a krychle, s použitím stejné dvojice čelistí. Součástí práce bude také řešení připojení chapadla k přírubě průmyslového robotu. Budeme uvažovat tři konstrukční varianty, ze kterých vybereme tu nejvhodnější a zpracujeme pro ni kompletní výkresovou dokumentaci.

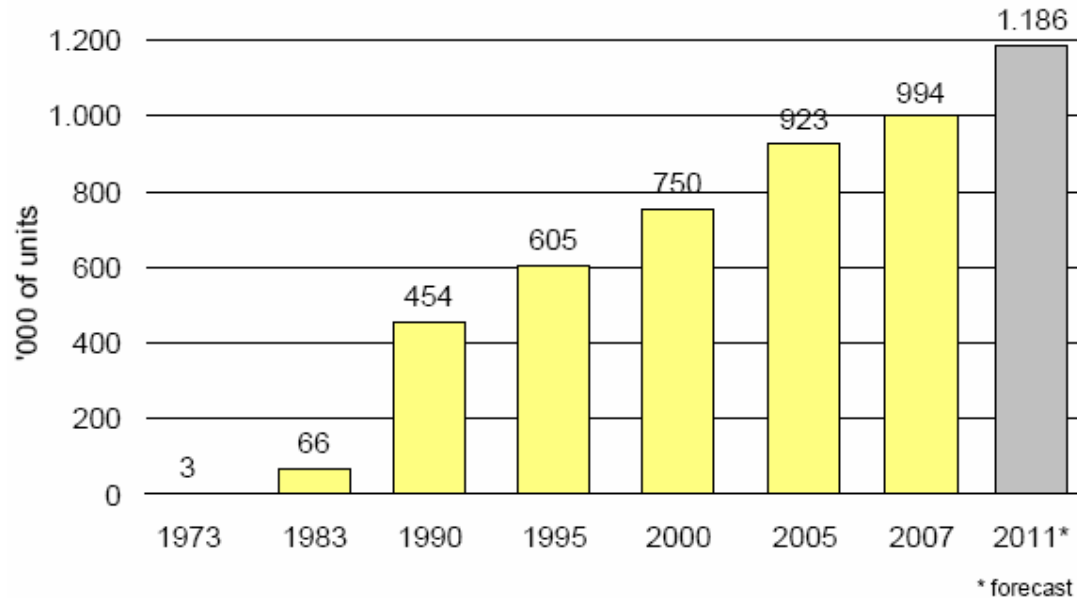
Na závěr pojednáme o možnostech programování průmyslových robotů a vytvoříme ukázkou programu pro uvažovanou dráhu. Dále se krátce zamyslíme nad využitelností adaptabilních chapadel v průmyslové praxi.

Robotizace a automatizace, respektive aplikace průmyslových robotů a manipulátorů v praxi, je velmi perspektivním oborem, což dokládají např. níže uvedené statistiky celosvětově uznávané databáze Worldrobotics (www.worldrobotics.org). Jedná se o základní statistiky jako je celkový počet průmyslových robotů (graf 1.1). Z tohoto grafu je patrný značný nárůst v posledních letech a velice optimistický odhad do budoucnosti. Je nutno podotknout, že tento diagram byl zpracován ještě před průmyslovou krizí, v dnešní době by asi odhadované číslo nebylo tak vysoké.

Graf 2.1 zobrazuje odhadovanou roční dodávku průmyslových robotů v Evropě pro hlavní průmysly. Je z něj patrné, že zatímco některá průmyslová odvětví nezaznamenala příliš prudký nárůst nebo dokonce došlo k poklesu dodávek (Basic metal), jiná odvětví, jako je například potravinářský průmysl, se v oblasti robotizace velice prudce vyvíjí.

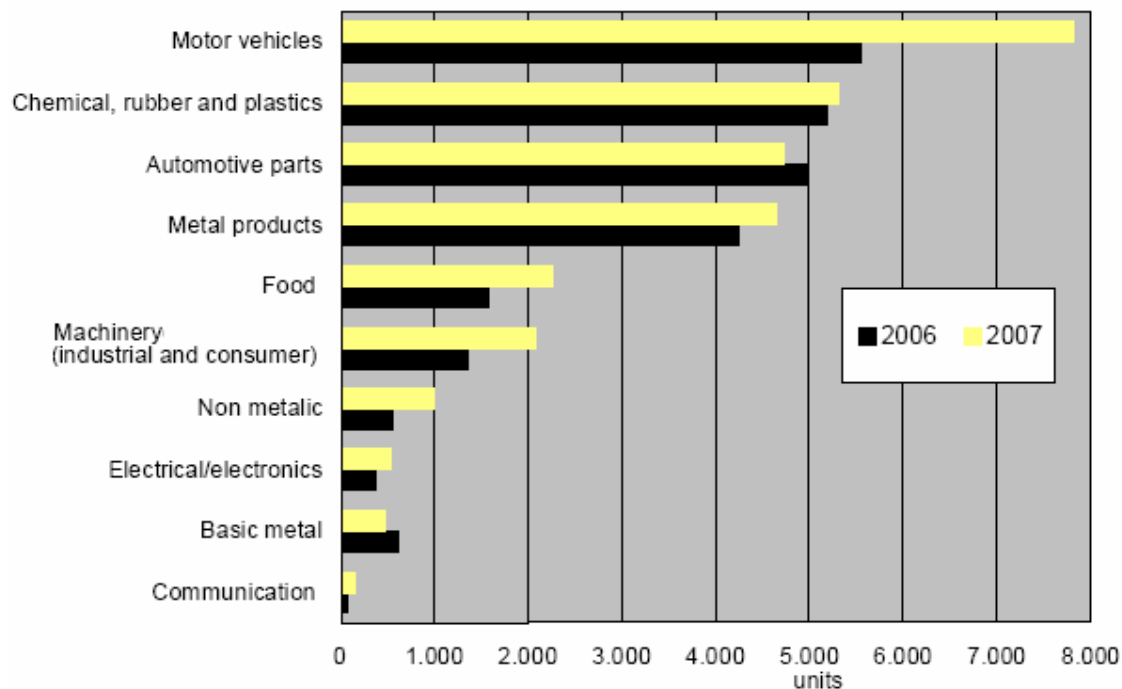


Estimated worldwide operational stock of industrial robots

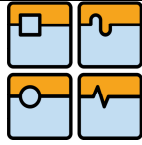


Graf 1.1 Odhadovaný celosvětový počet průmyslových robotů
Zdroj: World Robotics www.worldrobotics.org (upraveno)

Estimated yearly supply of industrial robots at year-end in Europe by main industries 2006 - 2007



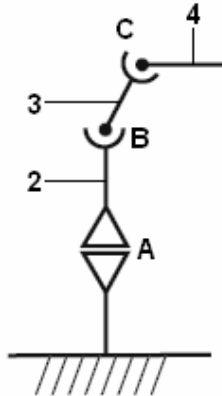
Graf 1.2 Odhadovaný objem prodeje průmyslových robotů v Evropě 2006-2007
Zdroj: World Robotics, www.worldrobotics.org, (upraveno)



2. Průmyslový robot

Průmyslový robot je kinematický mechanismus, složený z os, které mohou nezávisle na sobě vykonávat translační nebo rotační pohyb a společně tak vytvářet žádanou polohu a orientaci koncového bodu.

2.1. Stupně volnosti



Obr. 2.1 Kinematika robotu
Zdroj: WOLF, A.; a kol.; 2005
(přepracováno)

Mezi základní parametry průmyslových robotů patří počet nezávisle řízených os. Počet stupňů volnosti je stejný jako počet řízených os. Na obrázku 2.1 je znázorněno kinematické schéma tříosého robotu obsahující tři pohyblivé členy, které mají obecně v prostoru šest stupňů volnosti, a dále trojici vazeb, které odebírají pět stupňů volnosti.

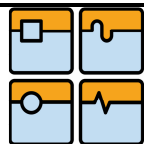
$$\text{stupně volnosti} = 3 \times 6 - 3 \times 5 = 3$$

Pro nastavení libovolné pozice v prostoru potřebujeme tři stupně volnosti, což zahrnuje tři osy s pohyby translačními, rotačními nebo jejich kombinací. Těmto osám říkáme hlavní.

Pro nastavení orientace koncového bodu průmyslového robotu potřebujeme další tři osy, vykonávající rotační pohyby v nezávislých osách.

Dle skladby hlavních os můžeme průmyslové roboty rozdělit na roboty s kinematikou (SCHMID, D. a kol. 2005):

- TTT (tři translace)
- RTT (jedna rotace, dvě translace)
- RRT (dvě rotace, jedna translace)
- RRR (tři rotace)



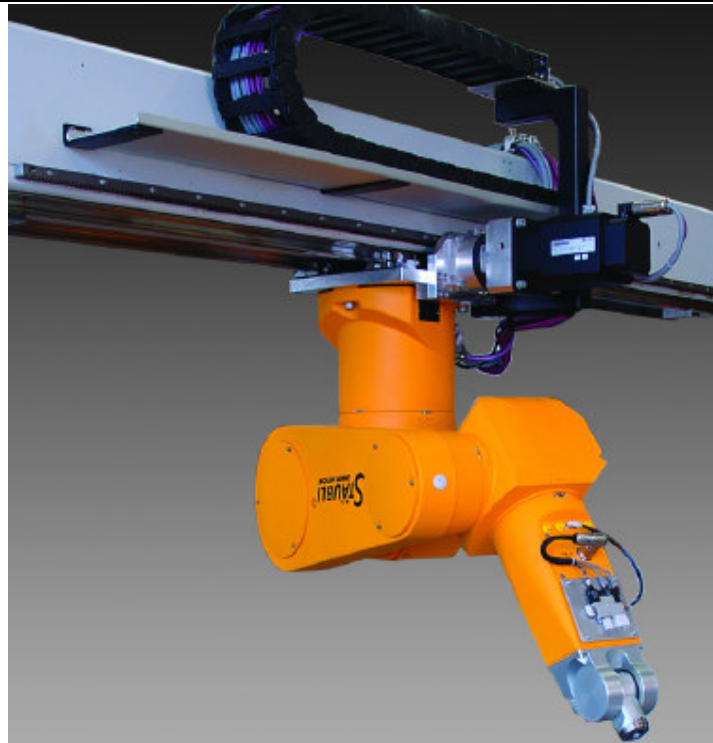
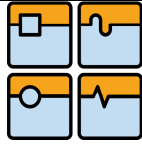
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Typ	Konstrukce	Kinematika	Pracovní prostor
TTT			
RTT			
RRT			
RRR			

Obr. 2.2 Typy základní kinematiky

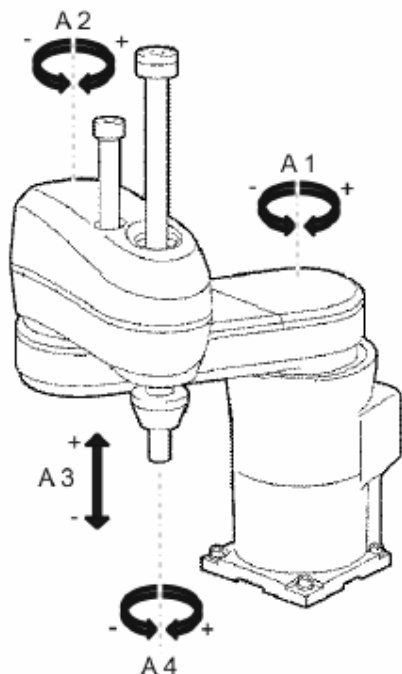
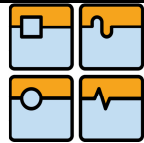
Zdroj: WOLF, A.; a kol.; 2005 (přepracováno)

Průmyslové roboty můžeme dělit podle počtu os, respektive dle stupňů volnosti. Nazveme-li například hydraulický válec s jednou řízenou osou a jedním stupněm volnosti průmyslovým robotem, můžeme se setkat s průmyslovými roboty s jednou až šesti řízenými osami. Ve zvláštních případech se můžeme setkat s dalšími osami. Často se využívá osa sedmá, která slouží pro změnu polohy celého průmyslového robotu (obr. 2.3).

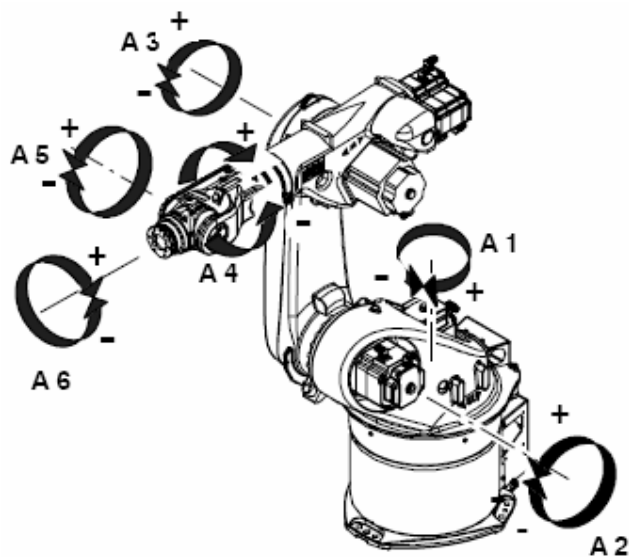
**Obr. 2.3 GHS RL90 RoboLiner**Zdroj: ghsautomation www.ghsautomation.com

V praxi se nejčastěji využívají šestiosé roboty s kinematikou RRR (obr. 2.5). Tyto roboty zabírají v poměru s velikostí kulového pracovního prostoru nejméně místa ze všech robotů a potřebují k určitému přemístění za určitou dobu ve srovnání s ostatními roboty nejmenší zrychlující síly. Při stejných setrvačných hmotnostech, resp. setrvačných silách, umožňují vytvořit tužší a robustnější konstrukci (SCHMID, D. a kol. 2005).

Při montáži se s výhodou používá čtyřosých, takzvaných scara robotů (obr. 2.4), které využívají tři základní osy kinematiky RRT, doplněné o jednu rotační osu pro nastavení orientace koncového bodu.



Obr. 2.4 KR 10 scara R600 (osy)
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com



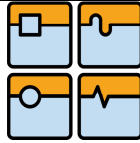
Obr. 2.5 KR 30-3 (osy)
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

2.2. Základní parametry

Mezi základní parametry průmyslových robotů patří již zmiňovaný počet os, respektive stupňů volnosti, dále pak nosnost, přesnost, velikost pracovního prostoru, připojovací rozměry příruby, zrychlení a maximální rychlost v jednotlivých osách a rozsah jejich možných natočení.

2.2.1. Nosnost

Další rozdělení průmyslových robotů můžeme provést dle nosnosti na roboty pro malá, střední a velká zatížení. Rozsah váhových kategorií se u jednotlivých výrobců liší a je spíše orientační.



Následující tabulka uvádí váhové rozsahy jednotlivých skupin robotů KUKA.

Tab. 2.1 Rozdělení robotů KUKA

skupina zatížení	nosnost [kg]
lehké	6 - 16
střední	30 - 60
vysoké	100 - 240
těžký provoz	360 - 1000

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

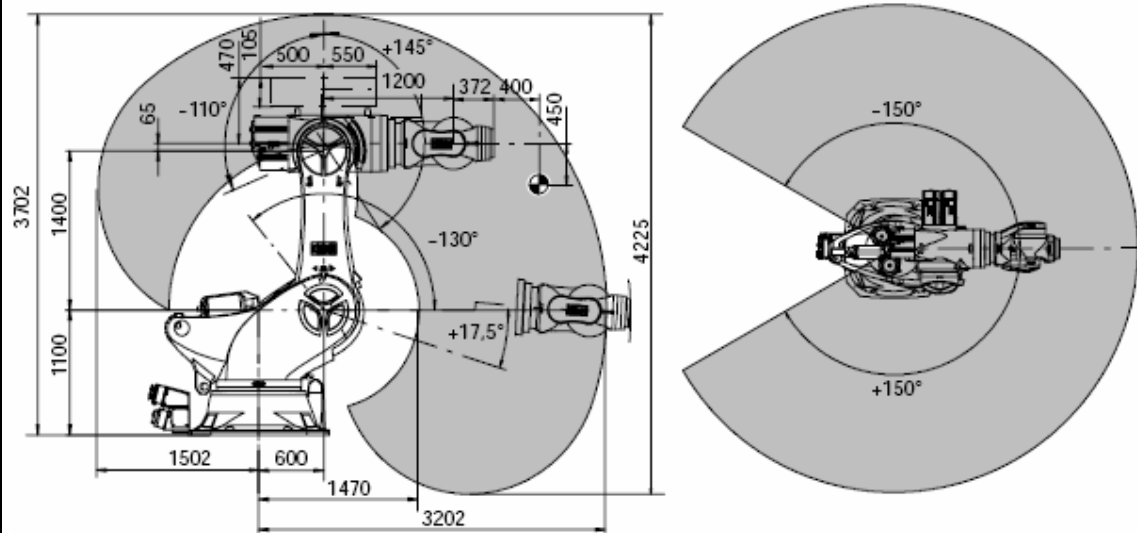
Poslední skupina s nosností do 1000kg byla relativně nedávno obohacena o model KUKA KR 1000 Titan (obr. 2.6), který jako první dosáhl hranice nosnosti jedné tuny.

Obr. 2.6 KUKA KR 1000 titan

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

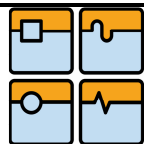
2.2.2. Velikost pracovního prostoru

Velikost pracovního prostoru je důležitým parametrem při výběru průmyslového robotu. Udává, jestli je požadovaná operace v dosahu robotu a jak velký prostor je nutné kolem něj vytvořit. Tvar a velikost pracovního prostoru závisí na možných pohybech jednotlivých os.



Obr. 2.7 KUKA KR 1000 Titan (pracovní prostor)

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com



2.2.3. Rychlost a zrychlení

Rychlosti a zrychlení většina výrobců udává pouze pro jednotlivé osy, ale například pro výpočet potřebných uchopovacích sil při manipulaci s objektem je nutné znát rychlosti a zrychlení koncového bodu. Musíme proto přistoupit k dopočítání těchto údajů nebo můžeme naprogramovat dráhu a hodnoty kinematických veličin koncového bodu měřit pomocí senzorů.

Tab. 2.1 KR 1000 Titan (specifikace os)

Axis data	Range (software)	Speed
Axis 1 (A1)	$\pm 150^\circ$	58 °/s
Axis 2 (A2)	$+17,5^\circ / -130^\circ$	50 °/s
Axis 3 (A3)	$+145^\circ / -110^\circ$	50 °/s
Axis 4 (A4)	$\pm 350^\circ$	60 °/s
Axis 5 (A5)	$\pm 118^\circ$	60 °/s
Axis 6 (A6)	$\pm 350^\circ$	84 °/s

Nosnost: 1000kg

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com**Tab. 2.2 KR 5 sixx R850 (specifikace os)**

Axis data	Range (software)	Speed
Axis 1 (A 1)	$\pm 170^\circ$	250 °/s
Axis 2 (A 2)	$+ 45^\circ / -190^\circ$	250 °/s
Axis 3 (A 3)	$+ 169^\circ / -119^\circ$	250 °/s
Axis 4 (A 4)	$\pm 190^\circ$	410 °/s
Axis 5 (A 5)	$\pm 120^\circ$	410 °/s
Axis 6 (A 6)	$\pm 350^\circ$	660 °/s

Nosnost: 5kg

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

Tabulky 2.1, 2.2 udávají úhlové rychlosti a maximální natočení jednotlivých os. Je patrné, že menší roboty s menší nosností mají obecně větší úhlové rychlosti. Vzhledem k tomu, že délka jejich ramen je menší, to nemusí znamenat, že dosáhnou i větších rychlostí koncového bodu.

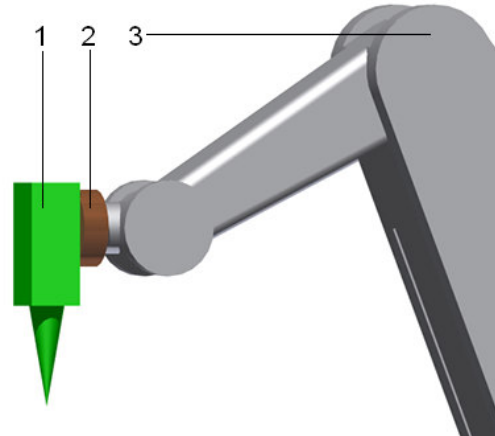
U robotů pro velká zatížení jsme také omezeni velkým dynamickým zatížením při pohybech většími úhlovými rychlostmi.

3. Koncové efekty

Koncový efektor je termín používaný pro všechny funkční jednotky zapojené do interakce mezi robotickým systémem a okolím. To zahrnuje chapadla, svařovací hlavice, řezací nástroje a další zařízení na konci kinematického řetězce (MONKMAN, G., J. a kol. 2007).

Pojmem koncový efektor tedy obecně rozumíme jednotku, která vykonává zadanou úlohu, například uchopení obrobku, řezání materiálu nebo dávkování materiálu a je připojena k zařízení, které umožňuje měnit jeho polohu. Tímto zařízením může být rameno průmyslového robotu nebo například mechanismus který, vykonává translační pohyb pouze v jedné ose. Koncové efekty si tedy můžeme spojovat jak s průmyslovými roboty, umožňujícími libovolné nastavení polohy a orientace koncového efektoru, tak i například pro mechanismus s jedním stupněm volnosti pro jednoduché aplikace. Použité zařízení se samozřejmě liší podle charakteru úlohy. Tedy je jasné, že například pro svařování karoserie automobilu, by pneumatický válec, umožňující pohyb pouze v jedné ose, nebyl vyhovující. Na obrázku 3.1. je schematicky zobrazeno připojení koncového efektoru, v tomto případě například hlavice pro plazmové svařování, k rameni průmyslového robotu.

- 1 – Koncový efektor – Svařovací hlavice
- 2 – Příruba – neboli redukce, používá se pro připojení efektoru k rameni průmyslového robotu
- 3 – Rameno průmyslového robotu



Obr. 3.1 Připojení koncového efektoru
Zdroj: vlastní zpracování

3.1. Rozdělení

Koncové efektorů můžeme z hlediska oblasti využití rozdělit do tří základních skupin. Hlavice pro:

- Manipulaci a paletizaci
- Výrobu
- Kontrolu

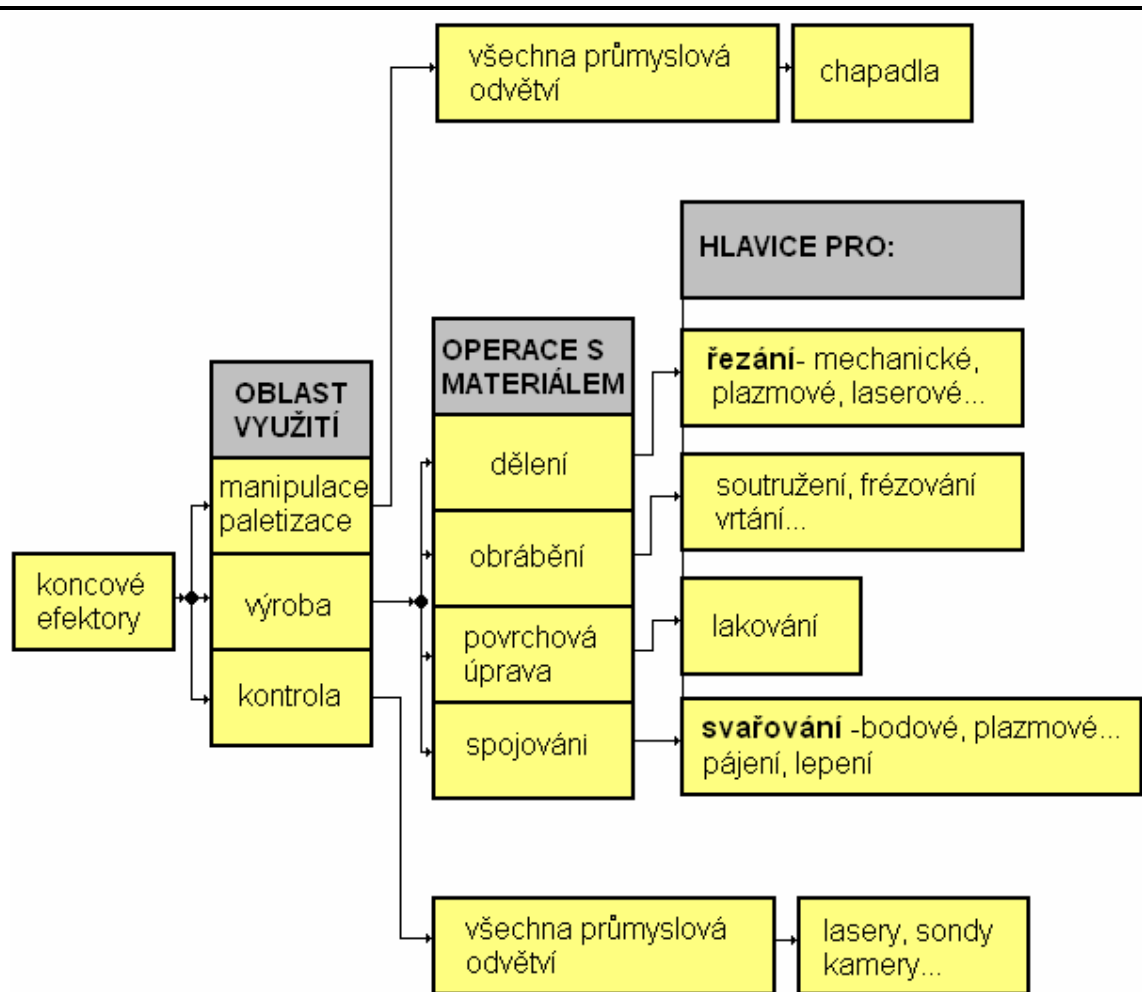
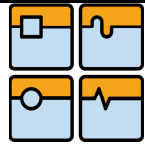


Diagram 3.1 Rozdělení koncových efektorů, dle oblasti využití

Zdroj: vlastní zpracování

3.1.1. Koncové efekторы pro manipulaci a paletizaci

Mezi hlavice použitelné při procesech manipulace a paletizace řadíme všechny druhy chapadel, jimiž se budeme dále zabývat podrobněji (viz. kapitoly 4-6).

Chapadla jsou použitelná ve všech odvětvích průmyslu, při automatizaci téměř všech procesů je potřeba nějaký objekt přemístit z jednoho pásu na druhý, upevnit do sklíčidla obráběcího stroje nebo například umístit do pece. V technické praxi bychom našli mnoho podobných příkladů použití, které potvrzují, že úchopové hlavice jsou nejpoužívanějším typem koncových efektorů.



Obr. 3.2 Schunk SDH

Zdroj: SCHUNK
www.schunk.com

3.1.2. Koncové efekty pro průmyslovou výrobu

Do skupiny pro jakoukoli výrobu můžeme samozřejmě zařadit i koncové efekty pro manipulaci a paletizaci, protože je potřeba přemísťovat výrobky mezi jednotlivými technologickými operacemi.

Hlavní velkou skupinou jsou ale hlavice které se přímo podílí na obrábění, řezání, svařování, lepení a dalších úkonech. Tyto efekty můžeme dále rozdělit dle účelu použití na efekty pro:

- Dělení
- Obrábění
- Povrchovou úpravu
- Spojování

3.1.2.1. Dělení materiálu

Do skupiny pro dělení materiálu patří například hlavice pro řezání:

- Laserové
- Plazmové
- Kyslíkové
- Vodním paprskem
- Mechanické

3.1.2.2. Obrábění



V procesu obrábění můžeme koncových efektorů na průmyslových robotech využít například k vrtání otvorů do složitých tvarových součástí, frézování tvarových ploch nebo například k soustružení, kdy koncový efektor může zastávat funkci včetně se sklíčidlem, poskytující potřebný hlavní pohyb obrábění.

Bohužel průmyslové roboty nedisponují takovou tuhostí jako specializované obráběcí stroje a proto je jejich využití do jisté míry omezené.

Obr. 3.3 Frézovací hlavice
Zdroj: BATES, C. 2006



3.1.2.3. Povrchová úprava

V oblasti povrchových úprav se průmyslových robotů využívá zejména při lakování například v automobilovém průmyslu.



Obr. 3.4 ABB IRB 5500 – FlexPrinter
Zdroj: ABB www.abb.com

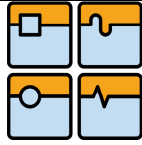
3.1.2.4. Spojování materiálu

Do kategorie koncových efektorů pro spojování součástí patří zejména hlavice pro svařování, lepení, tmelení a pájení. V praxi nejvíce využívaným způsobem spojování kovových materiálů je svařování, které se používá v různých odvětvích kovovýroby.

Jako ve všech odvětvích, kde se přistupuje k robotizaci výroby, se i u svařování dosahuje větší produktivity a jakosti svarových spojů.

Společnosti zabývající se průmyslovou robotikou většinou dodávají hotová řešení pro svařovací procesy, tedy komplety spolu se specializovaným, či upraveným průmyslovým robotem, svařovací hlavicí a dalšími zařízeními, potřebnými pro svařovací operace, např. podavače drátu, chladicí zařízení, transformátory a podobně.

Při programování svařovací dráhy je důležité dodržet stálou orientaci nástroje vůči svařovaným součástem pod předepsaným úhlem. Programování těchto drah je proto poněkud složitější.



Můžeme provést dělení na hlavice pro svařování:

- Obloukové
- Laserové
- Plasmové
- Švové
- Bodové



Obr. 3.5 ABB IRB 1410 ArcPack
Zdroj: ABB www.abb.com

3.1.3. Koncové efekty pro kontrolu součástí



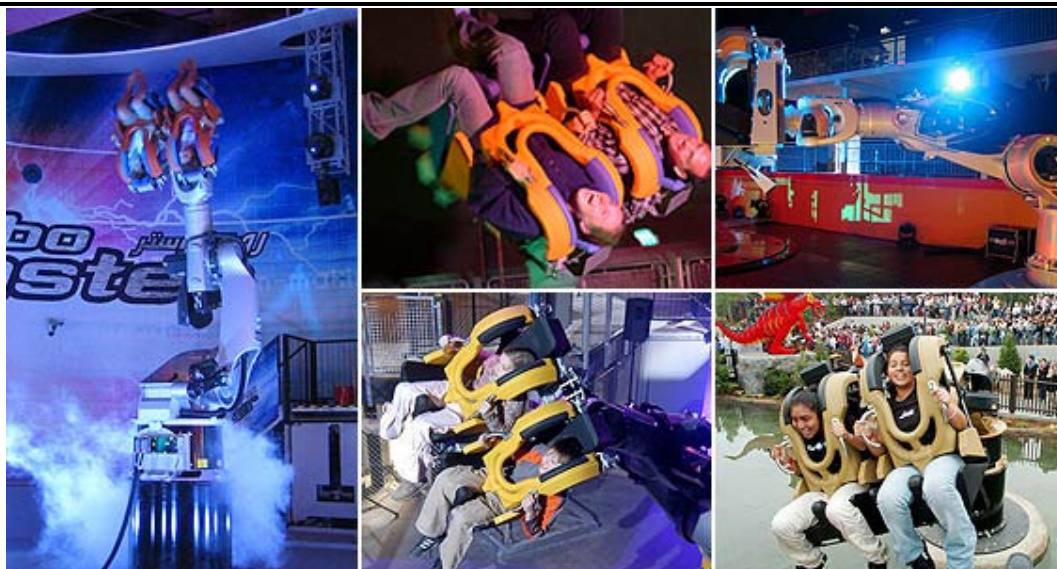
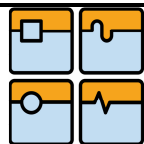
Obr. 3.6 ABB TruView systém
Zdroj: ABB www.abb.com

V dnešní době je kladen velký důraz na přesnost a kvalitu dílčích i výsledných procesů jakéhokoli druhu výroby. Proto je často důležité během těchto procesů kontrolovat rozličné parametry jako, je například tvar karoserie, kvalita spoje a geometrické rozměry. Do skupiny koncových efektrů pro kontrolu součástí tedy patří různé měřicí přístroje (laserové, elektromagnetické, atd.), kamerové systémy a další.

V manipulačních aplikacích se často používají senzory pro kontrolu přítomnosti objektu manipulace, čtečky čárových kódů atp. Tyto senzory ovšem ve většině případů nejsou koncovými efekty.

3.2. KUKA Robocoaster

Mezi koncové efekty lze zařadit i poněkud zvláštní projekt společnosti KUKA s názvem ROBOCOASTER, s možností využití v zábavním průmyslu nebo například pro armádní účely při výcviku pilotů. Jedná se o simulaci horské dráhy, kdy jsou sedadla připevněna k přírubě speciálně upraveného robotu, který vykonává pohyby podle předem naprogramované dráhy.



Obr. 3.7 Kuka Multiple Robocoaster
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com



Obr. 3.8 Kuka 4D simulator
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

4. Chapadla

Funkci chapadel můžeme definovat (WOLF, A.; a kol. 2005): chapadlo je podsystém průmyslového robotu, které udržuje omezený počet geometricky specifikovaných výrobků po stanovenou dobu, dále zajišťuje polohu a orientaci výrobku vůči nástrojům a dalším uchopovacím systémům.

4.1. Předmět pro uchopení

Dříve než přistoupíme k popisu principů chapadel, je nutné si definovat co je vlastně předmětem zájmu, tedy předmět pro uchopení a následnou manipulaci. V anglické literatuře často používaný a velice výstižný pojem „workpiece“ budeme v této práci nahrazovat pojmy jako kus, obrobek, součást nebo zřejmě nejčastěji objekt manipulace. V praxi totiž můžeme uchopovat nejen hotové výrobky, ale také například polotovary určené pro další zpracování, odlitky, výkovky apod.

4.2. Tvary a polohy výrobků

Velmi důležitým faktorem v uchopovacím procesu je tvar a výchozí poloha výrobku. Podle těchto základních kritérií dále postupujeme při výběru chapadla a tvaru jeho čelistí, popřípadě jiných uchopovacích segmentů. Tvary součástí mohou být v technické praxi libovolné, od segmentů valivých ložisek až po velmi nepravidelné tvary. Jak již bylo uvedeno, velmi důležitým faktorem je přesná poloha součásti vůči chapadlu, která je realizována pomocí různých upínek, dorazů nebo středících přípravků.

4.3. Princip chapadel

V praxi používaná chapadla se skládají z akčních členů, např. čelistí, adhezních ploch, magnetických ploch a podobně. Dále ze samotného těla efektoru.

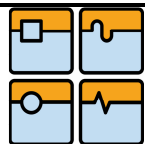
Tvary a typy akčních členů se liší dle charakteru uchopovací operace. V dnešní době je snaha o co největší univerzálnost těchto členů, aby bylo možno s jedním typem a tvarem akčního členu provádět co největší množství uchopovacích operací.

Tělo chapadla se velice liší dle použitého principu uchopení objektu manipulace, může obsahovat například elektromotory, hydraulické či pneumatické válce, zařízení na výrobu vakua, elektromagnety a další zařízení. V těle efektoru se také většinou nacházejí díry a závity pro připojení chapadla k průmyslovému robotu nebo k jinému zařízení, umožňující měnit jeho prostorovou polohu.

4.4. Rozdělení chapadel

Chapadla můžeme rozdělit podle několika rozdílných kritérií, nejširší dělení můžeme provést na chapadla (WOLF, A. a kol. 2005):

- Kontaktní (Impactive)
- Ingresivní (Ingressive)
- Stahující (Atractive)
- Přilnavá (Contigutive)



Tab. 4.1 Fyzikální principy jednotlivých druhů chapadel

Metoda uchopení	Typ	Typické příklady
Kontaktní		Svěrky (vnější prsty, vnitřní prsty, sklíčidla, pružinové svěrky), kleště (paralelní, úhlové, radiální)
Ingresivní	Vnikající	Sponky, jehly
	Nevnikající	Hák, smyčka
Stahující	Vakuové sání	Vakuová miska/měch
	Magnetická přilnavost	Permanentní magnet/elektromagnet
	Elektrická přilnavost	Elektrostatické pole
Přilnavá	Teplný	Mrazení, tavení
	Chemický	
	Kapalinový	Kapilarita, povrchové napětí

Zdroj: MONKMAN, G. J. a kol. 2007 (vlastní zpracování)

4.4.1. Kontaktní chapadla

Do skupiny nárazových chapadel patří v praxi nejužívanější prstová chapadla. Ve většině případů jsou složena z dvou až čtyř prstů, které se zpravidla pohybují synchronizovaně. Princip těchto chapadel je založen na Newtonovské mechanice a využívá třecích sil vznikajících mezi objektem manipulace a čelistmi, které jsou díky pohonnému systému a kinematickému mechanismu v těle chapadla přitlačovány potřebnou silou.

Jak již bylo řečeno, kontaktní chapadla jsou v praxi nejužívanějším typem koncových efektorů, používaných pro manipulaci a paletizaci. Probereme je proto podrobněji než ostatní uvedené typy.

4.4.1.1. Chapadla pasivní

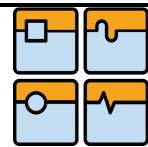
Mechanismy chapadel, které nejsou vybaveny programově ovládanými akčními členy, jsou klasifikovány jako pasivní. Podle úrovně omezení pohybu uchopovaných objektů se člení na otevřené a uzavřené (SKAŘUPA, J.; ZELINA, P. 1993).

Otevřená pasivní chapadla používají jako akční člen různé háky, lopatky a podobně. Uzavřená chapadla používají pohyblivé akční členy, jejichž pohyb je řízen například pomocí pružin. Pasivní chapadla jsou v praxi méně využívaná a proto se jejich popisem nebudeme dále zabývat a více se zaměříme na chapadla aktivní.

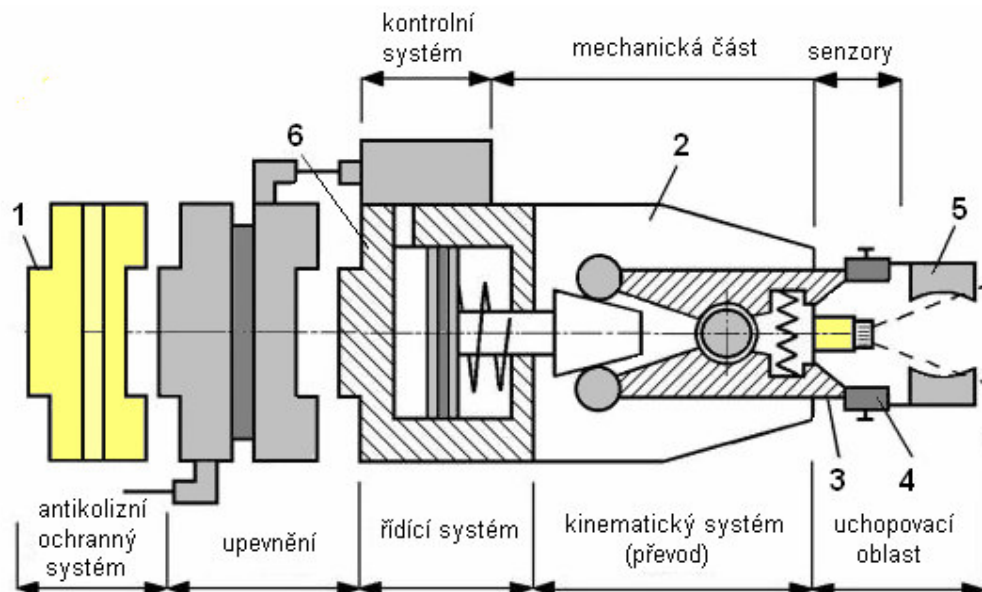
4.4.2. Chapadla aktivní

Na rozdíl od pasivních mechanických chapadel obsahují aktivní hlavice minimálně jeden pohyblivý koncový akční prvek, poháněný programově ovládaným výkonovým členem (SKAŘUPA, J.; ZELINA, P. 1993).

Mechanická prstová chapadla se obvykle skládají z prstů, čelistí a ze samotného těla efektoru. Na obrázku 4.1 je schématicky znázorněno prstové chapadlo. Přídavná zařízení vybarvená šedě jsou nutná pro základní činnost efektoru, naproti tomu



přidavná zařízení se žlutou barvou pro činnost nejsou nutná, jedná se o nadstavbové systémy, jako je antikolizní detekční systém a další zařízení.



Obr. 4.1 Schématické znázornění prstového chapadla

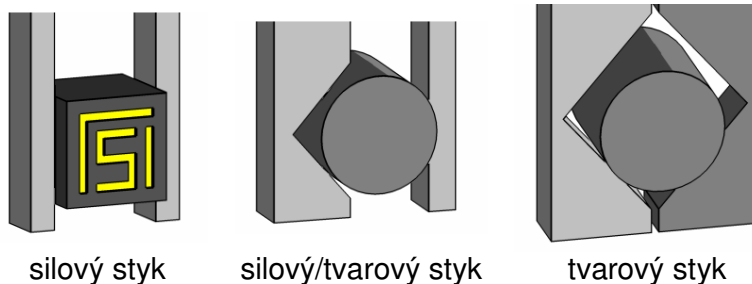
1 ochranný systém, 2 kryt, 3 prst chapadla, 4 základní čelist, 5 prodloužená čelist, 6 příruba

Zdroj: MONKMAN, G. J. a kol. 2007 (upraveno)

Tvary a rozměry čelistí mohou být libovolné, liší se dle charakteru uchopovací operace. Styk mezi objektem manipulace a čelistmi můžeme rozdělit na:

- Styk silový, kdy se o bezpečné uchopení výrobku starají pouze třecí síly, vzniklé díky přitlačným silám vyvolaných řídicím systémem.
- Styk tvarový, kdy se v čelistech vytvoří do jisté míry negativní tvar uchopované součástí, která do něj jakoby zapadne a dojde k ustavení její polohy vzhledem k čelistem efektoru.
- Kombinace tvarového a silového styku.

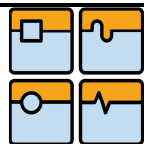
Uvedené možnosti jsou zobrazeny na obrázku 4.2.



Obr. 4.2 Druhy styku prstových chapadel

Zdroj: vlastní zpracování

Tělo mechanických chapadel obsahuje pohon, který řídí pohyb akčních členů (čelistí). Mezi nejpoužívanější principy patří pneumatické, elektrické a výjimečně hydraulické pohony. V některých případech může být pohonná jednotka umístěna mimo tělo efektoru nebo dokonce mimo rameno průmyslového robotu. Obecně



dělíme druhy pohonů podle toho, jaký typ pohybu jsou schopny vykonávat. Na pohyby rotační nebo posuvný (translační). Dalším kritériem je omezenost jednotlivých pohybů, například hřídel hydraulického válce nemůžeme vysouvat do neomezené vzdálenosti a naopak výstupní hřídel vzduchového motoru se může kolem své osy otáčet neomezeně. Možnosti dosažení potřebného pohybu při použití pneumatických, hydraulických a elektrických pohonů udává tabulka 4.2.

Tab. 4.2 Dosažitelné pohyby pomocí jednotlivých druhů pohonů

	pneumatický pohon	hydraulický pohon	elektrický pohon
lineární pohyb s omezeným zdvihem	pneumatický válec	hydraulický válec	elektromotor
lineární pohyb s neomezeným zdvihem			lineární motor
rotační pohyb s omezeným natočením	kyvný válec	kyvný válec	
rotační pohyb s neomezeným natočením	vzduchový motor	hydromotor	motor na stejnosměrný/ střídavý proud, krokový motor

Zdroj: WOLF, A. a kol. 2005 (vlastní zpracování)

Při volbě typu pohonu musíme uvažovat jestli je v místě použití dostupný tlakový vzduch/kapalina, zda není v místě, kde bude probíhat uchopovací operace, zakázáno používat k pohonu elektrické energie (například doly apod.) a další technická omezení a výkonnostní požadavky.

V těle efektoru může být dále umístěn transformační blok. Jedná se o kinematický mechanismus, který transformuje výstupní pohyb pohonného členu na výstupní pohyb akčních členů. Aktivní mechanická chapadla dělíme na chapadla bez transformačních bloků a na chapadla s transformačními bloky.

U chapadel bez transformačních bloků jsou akční členy přímo spojeny s výstupem pohonných členů a tudíž výsledný pohyb akčních členů je stejný jako výstupní pohyb členů pohonných, jedná se buď o pohyb rotační nebo translační. Obrázek 4.3 znázorňuje možné uspořádání pohonného a akčního členu s posuvným výstupním pohybem.

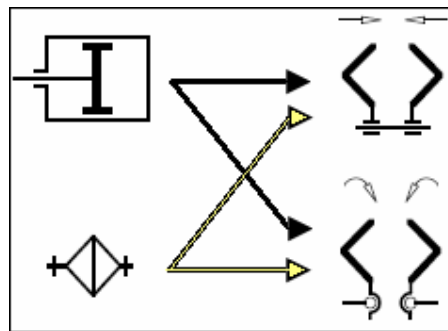


Obr. 4.3 Kinematika vybraných metod chapadel bez transformačních bloků.

Zdroj: vlastní zpracování

V technické praxi jsou nejpoužívanější chapadla s transformačními bloky, které můžeme rozdělit dle principu funkce kinematického mechanismu na mechanismy: (SKAŘUPA, J.; ZELINA, P. 1993)

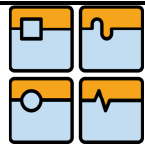
- pákové
- ozubené
- šroubové
- vačkové
- šablonové
- pásové
- kombinované s paralelogramem



Obr. 4.4 Možné transformace

Zdroj: vlastní zpracování

Na obrázku 4.4 můžeme vidět možné transformace. Při použití rotačního pohybu na výstupu pohonného členu můžeme dosáhnout rotačního nebo translačního pohybu čelistí, stejně jako při použití translačního pohybu. Tabulka 4.3 udává výběr z možných kinematických řešení transformačních členů pro všechny typy transformace pohybu.



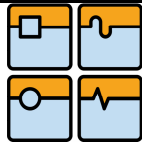
Tab. 4.3 Výběr z možných kinematických řešení transformačních členů

Převod	pákové mechanismy	ozubené mechanismy	kuželové mechanismy
T-T			
T-R			
	šroubové mechanismy	vačkové mechanismy	pásové mechanismy
T-R			
R-R			
R-T			

Zdroj: vlastní zpracování

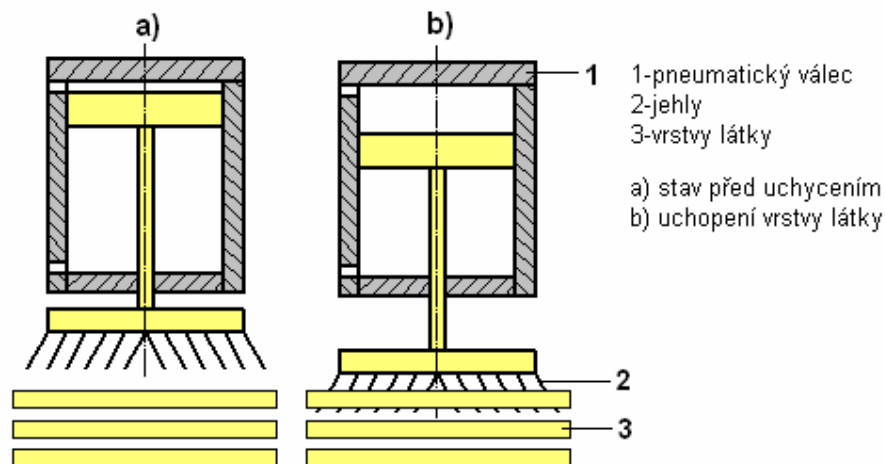
4.4.3. Ingresivní chapadla

Chapadla ingresivního typu se používají na objekty, které mají vláknitou strukturu jako například textilie, uhlíková nebo skelná vlákna a podobné materiály. Princip je takový, že akční člen chapadla proniká povrchem objektu manipulace do určité hloubky. Ingresivní chapadla se dále dělí na vnikající a nevnikající. Pojem vnikající zahrnuje všechny principy kde akční člen tvaru sponky nebo jehly může proniknout materiálem objektu manipulace.



Do skupiny nevnikajících chapadel řadíme taková, která neproniknou do materiálu, pouze se dotýkají povrchu a jakoby ho skřípají.

Na obrázku 4.5 je schématicky zobrazeno možné provedení vnikajícího ingresivního chapadla, použitelného pro uchopení a separaci vrstev látky.



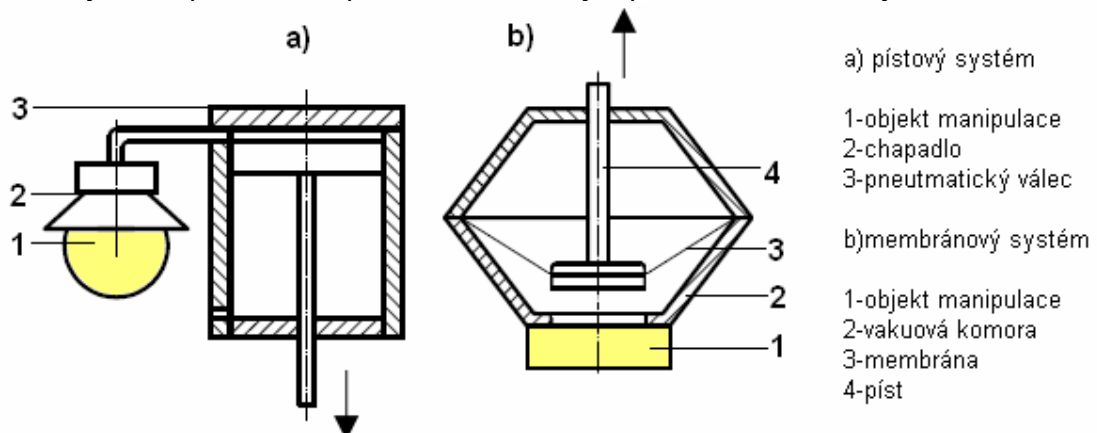
Obr. 4.5 Uchopení a separace vrstev látky

Zdroj: vlastní zpracování

4.4.4. Stahující chapadla

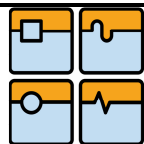
Pojem stahující chapadla zahrnuje všechny efektoři, které k uchycení součásti používají účinky nějakého silového pole. Toto pole může být způsobeno pohybem vzduchu (vakuové sání), magnetismem nebo pohybem elektrostatického náboje. Jak již název napovídá, stahující chapadla disponují konstantní uchopovací silou bez působení sil tlakových, nedochází tedy k poškození povrchu kvůli dotyku čelistí nebo jiných elementů. Jedním z nejstarších způsobů uchopení v této kategorii je vakuové sání, které se v průmyslu často používá.

Na obrázku 4.6 je schématicky znázorněn výběr z principů výroby vakua stahujících vakuových chapadel, a to pomocí membrány a pístového sacího systému.



Obr. 4.6 Výběr z principů činnosti vakuových chapadel

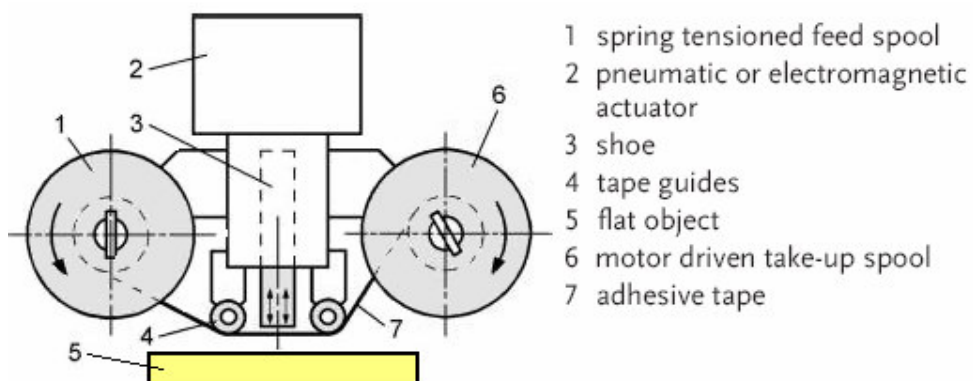
Zdroj: vlastní zpracování



Dalším zmiňovaným způsobem výroby silového pole pomocí magnetických účinku je použití permanentního magnetu nebo elektromagnetu. Tento princip se v praxi s úspěchem používá například na třídění feromagnetických materiálů z odpadu pro jejich opětovné využití, například ve slévárnách.

4.4.5. Přilnavá chapadla

Chapadla, jejichž povrch musí mít přímý kontakt s povrchem objektu manipulace, aby mohlo dojít k uchopení, se nazývají přilnavá. To zahrnuje například principy jako je chemická adheze či termoadheze (MONKMAN, G. J.a kol. 2007).



Obr. 4.7 Adhezivní pásové chapadlo

Zdroj: MONKMAN, G. J. a kol. 2007

5. Praktické využití úchopových hlavic

Jak jsme již několikrát uvedli, chapadel lze s výhodou použít téměř ve všech průmyslových odvětvích, že je jejich použití opravdu široké ukazuje životní cyklus vačkového hřídele (diagram 5.1).

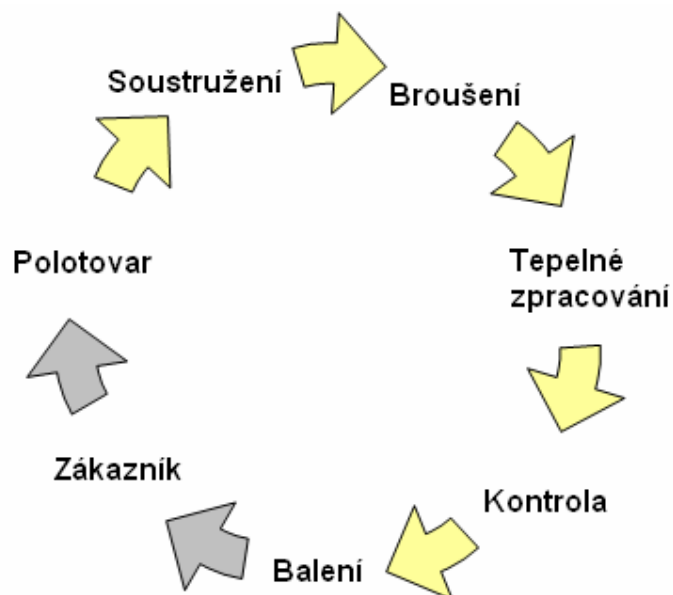


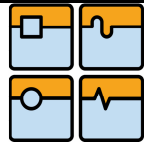
Diagram 5.1 Životní cyklus vačkového hřídele
 žlutá barva znázorňuje použití chapadel
 Zdroj: vlastní zpracování

Využití jednotlivých druhů chapadel, které jsme uvedli výše, popisuje na konkrétních případech následující tabulka.

Tab. 5.1 Praktické využití úchopových hlavic

Metoda uchopení	Typ	Typické materiálu objektu manipulace
Kontaktní		Tuhé objekty
Ingresivní	Vnikající	Flexibilní objekty: textilie, uhlíková a skleněná vlákna
	Nevnikající	
Stahující	Vakuové sání	Neporézní, tuhé materiály
	Magnetická přilnavost	Železné materiály
	Elektrická přilnavost	Lehké tabulové materiály a mikrokomponenty
Přilnavá	Tepelný	Flexibilní objekty: textilie, uhlíková a skleněná vlákna
	Chemický	Uhlíková vlákna napuštěná lepidlem
	Kapalinový	Malé, lehké objekty (mikrokomponenty)

Zdroj: MONKMAN, G. J. a kol. 2007 (vlastní zpracování)



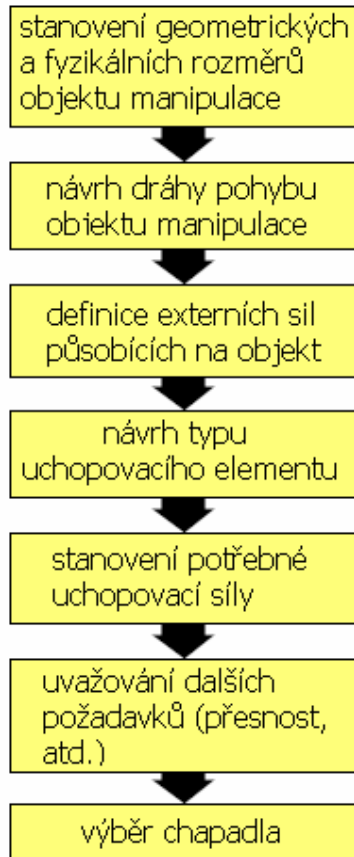
Při navrhování uchopovacího procesu musíme uvažovat řadu kritérií, jako jsou uchopovací síly, dráha objektu, ale i další méně zřejmé požadavky, jako je poškození povrchu po uvolnění sevření, rychlost sevření, spolehlivost chapadla a další. Přehled výhod a nevýhod vybraných metod uchopení je uvedený v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Výhody a nevýhody různých typů chapadel

	vyhovující	průměrný	nevhovující	ingresivní vnikající uchopení	ingresivní nevnikající uchopení	nárazové uchopení	stahující uchopení	Přilnavé (chemické) uchopení	Přilnavé (tepelné) uchopení
Spolehlivost chapadla									
Poškození po uvolnění sevření									
Uchopovací síla									
Rychlost uchycení									
Dopad na životní prostředí									

Zdroj: MONKMAN, G. J. a kol. 2007(upraveno)

6. Návrh uchopovací operace



Při navrhování a realizaci uchopovacího procesu, je výchozím bodem tvar a fyzikální vlastnosti objektu pro uchopení. Do procesu dále vstupují další vlivy, jako dráha obrobku, přídavné vnější silové působení a další.

V diagramu 6.1 je znázorněn zjednodušený postup při výběru vyhovujícího chapadla v uchopovacím procesu.

V práci se budeme tímto postupem zabývat podrobněji a probereme si ho na konkrétním případu.

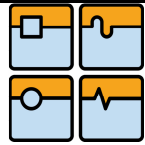
Diagram 6.1 Postup návrhu
Zdroj: vlastní zpracování

6.1. Zadání problému

Cílem uchopovacího procesu bylo zrealizovat uchopení a následnou manipulaci s výrobkem, v našem případě se jedná o plastovou krychli a válec pro výukové účely, pomocí předem stanoveného chapadla SCHUNK MEG 64 EC a průmyslového robotu KUKA KR3, dále zkonstruovat přírubu pro připojení hlavice k robotu.

6.2. Charakteristiky objektu manipulace

Měřením jsme stanovili geometrické rozměry objektů manipulace a vypočítali jejich objem a hmotnost na základě předpokládané hustoty materiálu. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.1.



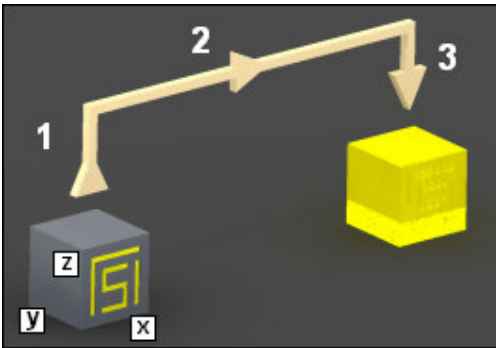
Tab. 6.1 Vlastnosti objektů manipulace

	Krychle	Válec
rozměry [mm]	$a_k := 0.041$	$d_v := 0.0421$ $v_v := 0.0421$
objem [m ³]	$V_k := a_k^3$ $V_k = 6.8921 \times 10^{-5}$	$V_v := \frac{\pi \cdot d_v^2 \cdot v_v}{4}$ $V_v = 5.861 \times 10^{-5}$
hustota [kg/m ³]	$\rho := 1300$	$\rho := 1300$
hmotnost [kg]	$m_k := \rho \cdot V_k$ $m_k = 0.0896$	$m_v := \rho \cdot V_v$ $m_v = 0.0762$

Zdroj: vlastní zpracování

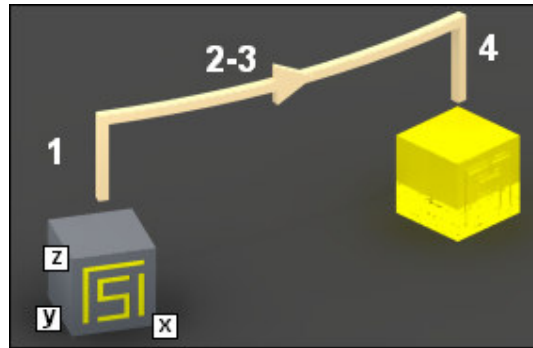
6.3. Dráha pohybu

Pro výpočet jsme zvolili dvě velmi jednoduché dráhy, a to přesun mezi počáteční a koncovou polohou po přímce a po kruhovém oblouku v pracovním prostoru robotu. Všechny výpočty jsme prováděli v naznačeném souřadnicovém systému objektu manipulace, který je shodný se souřadnicovým systémem chapadla.



Obr. 6.1 Dráha po přímce

Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 6.2 Dráha po oblouku

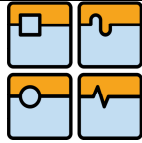
Zdroj: vlastní zpracování

6.4. Zrychlení referenčního bodu

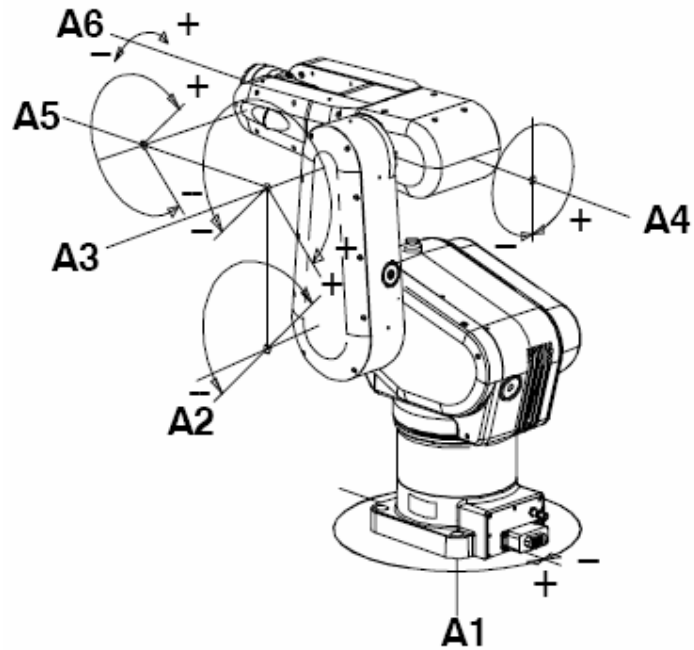
Společnost Kuka u svých robotů zrychlení a rychlost koncového bodu neuvádí, jediné dostupné údaje jsou pro zrychlení a rychlosti jednotlivých os.

Pro přímkovou dráhu jsme tedy uvažovali (z praxe reálnou) hodnotu zrychlení koncového bodu 12 m/s^2 .

Při stanovení zrychlení pro obloukovou dráhu jsme vycházeli z katalogových hodnot pro jednotlivé osy.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

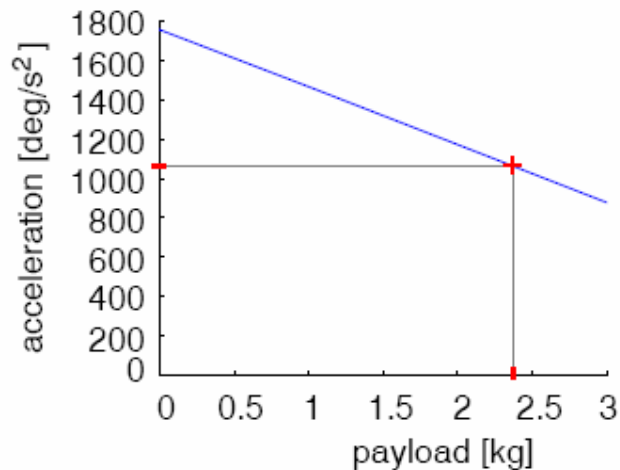
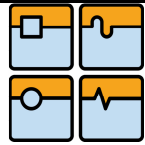


Obr. 6.3 Označení os robotu Kuka KR3
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

Axis	Range of motion	Maximum speed	Default acceleration	Gear ratio	Continuous stall torque rating
1	$\pm 180^\circ$	$240^\circ/\text{s}$	$879^\circ/\text{s}^2$	100	74.5 Nm
2	-135° to $+45^\circ$	$210^\circ/\text{s}$	$879^\circ/\text{s}^2$	100	74.5 Nm
3	$\pm 135^\circ$	$240^\circ/\text{s}$	$879^\circ/\text{s}^2$	100	74.5 Nm
4	$\pm 180^\circ$	$375^\circ/\text{s}$	$1098^\circ/\text{s}^2$	80	16.6 Nm
5	$\pm 135^\circ$	$300^\circ/\text{s}$	$1098^\circ/\text{s}^2$	80	16.6 Nm
6	continuous turn ¹	$375^\circ/\text{s}$	$1098^\circ/\text{s}^2$	80	16.6 Nm

Obr. 6.4 Hodnoty rychlostí a zrychlení pro jednotlivé osy robotu Kuka KR3
Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com

Předchozí tabulka udává zrychlení při maximálním dovoleném zatížení 3kg. Pro zjištění skutečného zrychlení pro náš případ, kdy je zatížení 2,38kg (objekt manipulace + chapadlo + redukce viz. výkresová dokumentace), je nutno použít graf 6.1.

**Graf 6.1 Skutečné hodnoty zrychlení v závislosti na zatížení**Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com (upraveno)

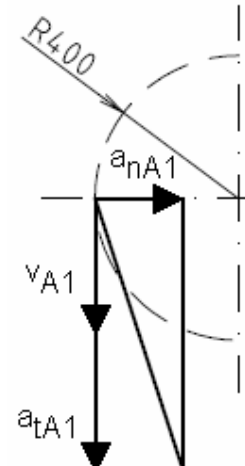
Z grafu 6.1 vyplývá, že skutečné zrychlení bude mít velikost 1070°/s².

6.4.1. Oblouková dráha

Oblouková dráha je z hlediska kinematiky robotu nejrychlejší a nejefektivnější, protože na dráhu označenou 2-3 je potřeba zapojit pouze jednu osu a to osu A1. Dráha se skládá ze tří úseků, pro které bylo nutno stanovit zrychlení.

- Úsek 1 - jedná se o posun v ose z, zrychlení koncového bodu odhadujeme na $a=12 \text{ m/s}^2$.
- Úsek 2-3 - jedná se o rotaci kolem osy z na poloměru 400 mm, normálové a tečné zrychlení koncového bodu jsme vypočetli z úhlové rychlosti a zrychlení (tab. 6.2).
- Úsek 4 - totožný s úsekem 1, ale zrychlení působí v opačném směru.

Tab. 6.2 Zrychlení na úsecích obloukové dráhy

Úsek	Zrychlení		
1	$a = 12 \text{ m/s}^2$		
2-3	$r = 0,4 \text{ m}$ $v_{A1\circ} := 240 \text{ %s}$ $a_{tA1\circ} := 1070 \text{ %s}^2$	$v_{A1} := v_{A1\circ} \cdot r \cdot \frac{\pi}{180}$ $a_{tA1} := a_{tA1\circ} \cdot r \cdot \frac{\pi}{180}$  $a_{nA1} := \frac{v_{A1}^2}{r}$	$v_{A1} = 1.67552 \text{ m/s}$ $a_{tA1} = 7.47 \text{ m/s}^2$ $a_{nA1} = 7.018 \text{ m/s}^2$
4	$a = 12 \text{ m/s}^2$		

Zdroj: vlastní zpracování

6.4.2. Přímková dráha

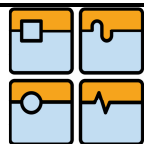
Pohyb po přímce se může zdát na první pohled nejefektivnější, ale z hlediska kinematiky robotu tomu tak není, protože se pro realizaci tohoto pohybu musí využít alespoň tři osy.

Velikost zrychlení koncového bodu jsme volili ve všech úsecích stejné a tedy $a=12 \text{ m/s}^2$.

6.5. Volba uchopovacího elementu

Při volbě uchopovacího elementu a vůbec polohy objektu manipulace vůči úchopové hlavici jsme se řídili následujícími pravidly, která by se měla brát v úvahu při realizaci uchopovacího procesu (WOLF, A. a kol. 2005):

- přednostně použít tvarový styk před silovým stykem
- použít rovnoběžné uchopovací plochy
- umístit těžiště objektu manipulace do pomyslného těžiště prstů chapadla
- použít stejné uchopovací body pro různá tělesa
- neuchopovat za náchylné, například leštěné plochy
- posílit tenkostěnné výrobky a omezit uchopovací sílu
- vytvořit rovinné adhezni plochy
- použít středící prvky pro vysoce přesné uchopování

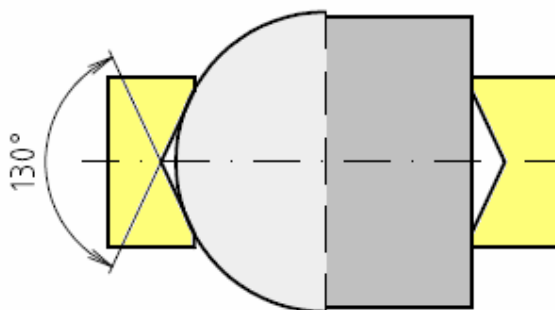


Pro náš případ jsme použili polotovar SCHUNK ABR 64 a navrhli tři varianty jeho úprav.

Největším problémem bylo stanovení koeficientů tření pro jednotlivé dvojice materiálů. Konkrétní hodnoty pro naše použité materiály jsme nenašli a proto jsme jejich velikost odhadli podle údajů dostupných pro přibližně stejné dvojice materiálů. V praxi by se dalo přistoupit k experimentálnímu zjištění koeficientu tření pro konkrétní materiály.

6.5.1. Rybinové vybrání

První variantu jsme navrhli tak, aby bylo možné stejným párem čelistí uchopovat oba zadané objekty. Navrhli jsme tedy prizmatické vybrání pod úhlem 130° pro uchopení válce, při současném zachování dostatečně velké stykové plochy pro uchopení krychle (obr. 6.5). Výkresová dokumentace je uvedena v přílohách.



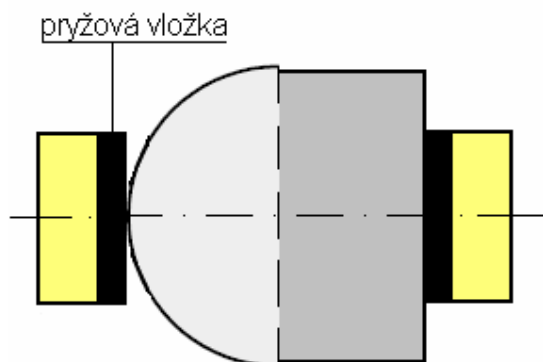
Obr. 6.5 Úprava čelistí 1

Zdroj: vlastní zpracování

Velikost součinitele tření mezi hliníkovou slitinou čelistí a plastovým objektem manipulace jsme odhadli na $\mu = 0,3$.

6.5.2. Pryžová vložka

Dále jsme uvažovali variantu s použitím pryžových vložek, kdy je potlačeno rybinové vybrání (obr. 6.6). Pro uchopení krychle i válce jsou použity stejné kontaktní plochy. Koeficient tření v tomto případě činí $\mu = 0,4$.



Obr. 6.6 Úprava čelistí 2

Zdroj: vlastní zpracování

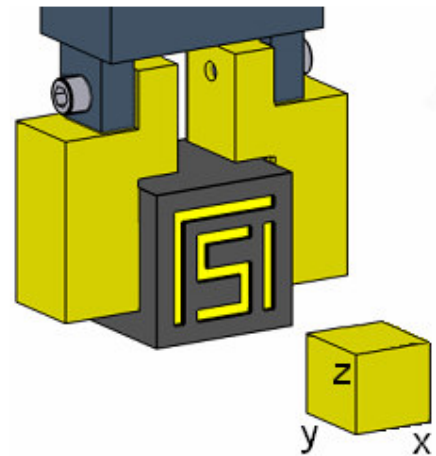
6.5.3. Vložka Schunk

Poslední varianta využívá speciálních vložek firmy Schunk ($\mu = 0,5$) z materiálu Quentes. U této varianty jsme neřešili konstrukční uspořádání čelistí, pouze jsme provedli analýzu uchopovacích sil pro předpokládaný koeficient tření.

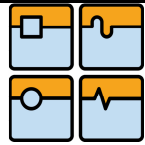
K realizaci jsme vybrali variantu první, využívající rybinového vybrání, pro uchopení válce k zajištění větší stability.

6.6. Stanovení uchopovací síly

Nejprve si stanovíme síly potřebné na realizaci pohybů v jednotlivých osách, na které pak budeme převádět pohyby v jednotlivých úsecích drah. Odvození si provedeme na jednodušším příkladě a to na uchopení krychle, kde jsou styčné plochy čelistí ploché a tedy nedochází k rozkladu normálové síly působící na objekt manipulace (tab. 6.3).



Obr. 6.7 Orientace os
Zdroj: vlastní zpracování

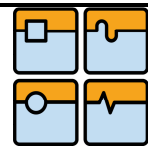


Tab. 6.3 Odvození vzorců pro stanovení uchopovací síly

Pohyb v ose z	
	$\sum F_z = 0 : 2 \cdot F_t = G \pm m \cdot a$ $F_t = \frac{1}{2} m \cdot (g \pm a)$ $F_1 = F_2 = \frac{1}{2\mu} m \cdot (g \pm a)$ $F_G = F_1 + F_2 = 2 \cdot F_t$ $F_{Gz} = \frac{1}{\mu} m \cdot (g \pm a) \cdot S \quad (5.1)$
Pohyb v ose x	
	$\sum F_z = 0 : 2F_t = G \Rightarrow F_t = \frac{1}{2} mg$ $F_t = F_1 \cdot \mu \Rightarrow F_1 = \frac{F_t}{\mu} = \frac{1}{2\mu} mg$ $\sum F_x = 0 : F_1 - m \cdot a - F_2 = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 + \frac{m \cdot a}{2}$ $F_1 = \frac{1}{2\mu} m \cdot g + \frac{1}{2} m \cdot a$ $F_{Gx} = 2 \cdot F_1 = m \cdot \left(\frac{1}{\mu} g + a \right) \quad (5.2)$
Pohyb v ose y	
	$\sum F_z = 0 : 2F_{tz} = G \Rightarrow F_{tz} = \frac{1}{2} mg$ $\sum F_x = 0 : 2F_{tx} = m \cdot a \Rightarrow F_{tx} = \frac{1}{2} m \cdot a$ $F_{1y} = F_{2y} = \frac{1}{2\mu} m \cdot a \quad F_{Gy} = 2F_y = \frac{m \cdot a}{\mu}$ $F_{1z} = F_{2z} = \frac{1}{\mu} m \cdot g \quad F_{G,z} = 2F_{1z} = \frac{m \cdot g}{\mu}$ $F_{Gy} = F_{Gy} + F_{G,z} = \frac{1}{\mu} m \cdot (a + g) \quad (5.3)$

Zdroj: vlastní zpracování

Výše uvedené vzorce platí pro případ, kdy jsou použity ploché uchopovací elementy. Vzorce pro elementy s rybinovým vybráním pod určitým úhlem jsou uvedeny v následující tabulce 6.4 bez odvození.



Tab. 6.4 Úprava vztahů pro prizmatické vybrání

	Pohyb v ose Z
	$F_{GZ,P} = m \cdot (a + g) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \cdot S \quad (5.4)$
	Pohyb v ose X
	$F_{GX,P} = m \left[\left(g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \right) + a \right] \cdot S \quad (5.5)$
	Pohyb v ose Y
	$F_{GY,P} = m \left[\left(g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \right) + \left(a \cdot \frac{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} \right) \right] \cdot S \quad (5.6)$

Zdroj: WOLF, A. a kol. 2005 (přepřacováno)

Při pohybu v ose x je v našem případě, kdy je váha objektu manipulace velmi malá a váha čelistí ji převyšuje, nutno do výpočtu zahrnout i sílu vyvolanou zrychlením působící na čelisti. Výsledný vzorec má tedy tvar (tab. 6.5).

Tab. 6.5 Vliv hmotnosti čelistí na uchopovací sílu

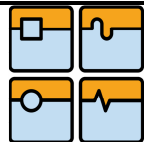
Pohyb ve směru osy X	
Uchopení krychle	Uchopení válce
$F_{GX} = S \cdot \left[2m_c \cdot a + m \cdot \left(\frac{1}{\mu} g + a \right) \right] \quad (5.7)$	$F_{GX,V} = S \cdot \left[2m_c \cdot a + m \cdot \left(g \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\mu} + a \right) \right] \quad (5.8)$

Zdroj: vlastní zpracování

6.6.1. Síly na přímé dráze

Pohyb po přímé dráze jsme rozdělili na 3 již zmiňované úseky (obr 6.1). Na výpočet sil v prvním úseku, tedy zvedání objektu v ose z, jsme použili vzorce (5.1, 5.4) se znaménkem plus. Druhým úsekem je posun do strany ve směru osy x (5.7, 5.8). Třetí úsek jsme do výpočtu nezahrnuli, protože se jedná o pohyb dolů, ve směru osy z, při použití vzorce (5.1, 5.4) se tedy zrychlení objektu bude odečítat a hodnota potřebné uchopovací síly bude vždy menší než v prvním úseku.

Byly vypočteny hodnoty pro všechny tři zmiňované varianty čelistí.

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE****Tab. 6.6 Uchopovací síly na přímé dráze**

	Uchopení krychle		Uchopení válce	
	Rybinové vybrání			
Úsek	1	2	1	2
FG [N]	11.83	12.45	9.12	10.84
	Vložka pryžová			
Úsek	1	2	1	2
FG [N]	8.87	10.99	7.55	10.06
	Vložka schunk			
Úsek	1	2	1	2
FG [N]	7.1	10.11	6.04	9.31

Zdroj: vlastní zpracování

6.6.2. Síly na obloukové dráze

Výpočet sil při pohybu po obloukové dráze jsme provedli dle stejného principu jako při dráze přímkové, s tím rozdílem, že úsek 2-3 jsme počítali dle vzorců pro pohyb v ose x a pohyb v ose y.

Tab. 6.7 Uchopovací síly na obloukové dráze

	Uchopení krychle			Uchopení válce		
	Rybinové vybrání					
Úsek	1	2	3	1	2	3
FG [N]	11.83	12	10.05	9.12	10.45	12.16
	Vložka pryžová					
Úsek	1	2	3	1	2-3	3
FG [N]	8.87	10.53	7.54	7.55	9.67	6.41
	Vložka schunk					
Úsek	1	2	3	1	2	3
FG [N]	7.1	9.65	6.03	6.04	8.93	5.13

Zdroj: vlastní zpracování

6.7. Výběr chapadla

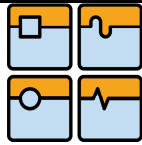
V praxi bychom dle největší uchopovací síly volili vhodné chapadlo, v našem případě jsme chapadlo měli předem určeno a tedy jsme kontrolovali, jestli je jeho uchopovací síla dostatečná.

Katalogové hodnoty uchopovací síly pro SCHUNK MEG 64 EC jsou uvedeny na obrázku 6.8.

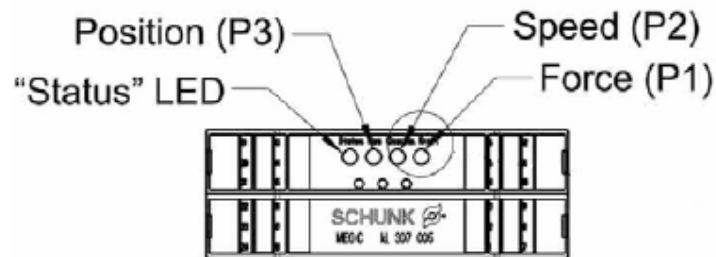
Constant gripping force (100 % continuous duty)	[N]	175.0
Max. gripping force	[N]	175.0
Min. gripping force	[N]	40.0

Obr. 6.8 Uchopovací síly SCHUNK MEG 64

Zdroj: SCHUNK www.schunk.com



Maximální potřebnou uchopovací sílu pro naši navrhovanou uchopovací operaci (12.45 N, viz. tab. 6.6) dokáže použité chapadlo vyvinout se značnou rezervou. V praxi bychom tedy z ekonomického hlediska volili chapadlo o menší uchopovací síle. Pro řízení chapadla je určen programovatelný automat Schunk MEG C 64 (obr. 6.9), který dovoluje nastavení uchopovací síly v rozmezí katalogových hodnot



Obr. 6.9 Nastavení uchopovací síly

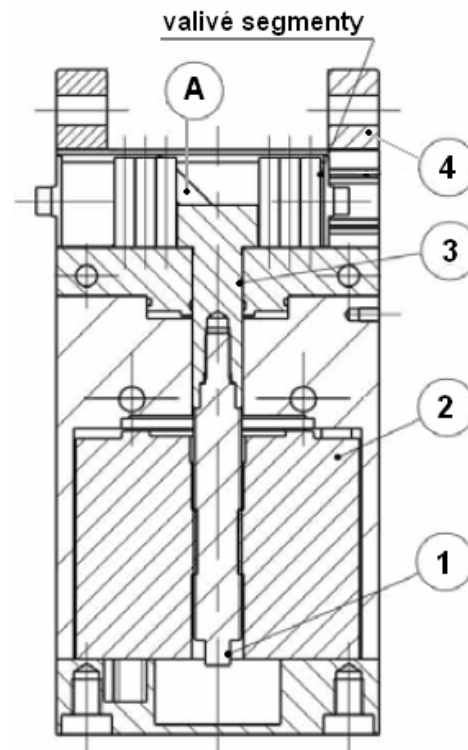
Zdroj: SCHUNK www.schunk.com

6.7.1. Úchopová hlavice SCHUNK MEG 64 EC

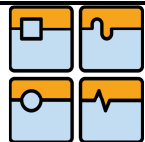
Jak již bylo uvedeno, pro realizaci uchopovací operace využijeme úchopovou hlavici SCHUNK MEG 64 EC s elektrickým pohonem (obr. 6.10).



Obr. 6.10 SCHUNK MEG 64 EC
Zdroj: SCHUNK www.schunk.com



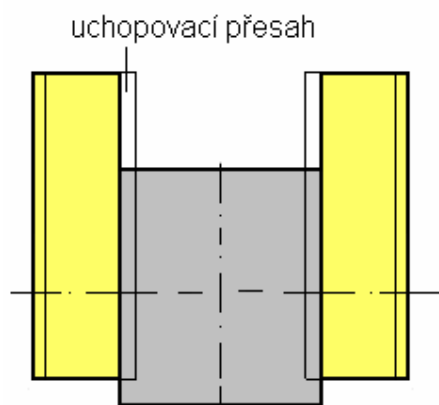
Obr. 6.11 SCHUNK MEG 64 EC (řez)
Zdroj: SCHUNK www.schunk.com



Na obrázku 6.11 vysvětlíme popis její funkce. Hřídel [1] poháněná krokovým motorem [2] koná rotační pohyb, který je pomocí šroubu transformován na translační pohyb pístu [3], ten zapadá do drážky [A] v čelisti [4]. Pro plynulejší chod jsou mezi čelistmi umístěny valivé segmenty ve tvaru válečků. Je-li tedy píst v dolní úvrati, čelisti jsou otevřené, je-li v horní úvrati, čelisti jsou zavřené.

6.7.2. Uchopovací přesah

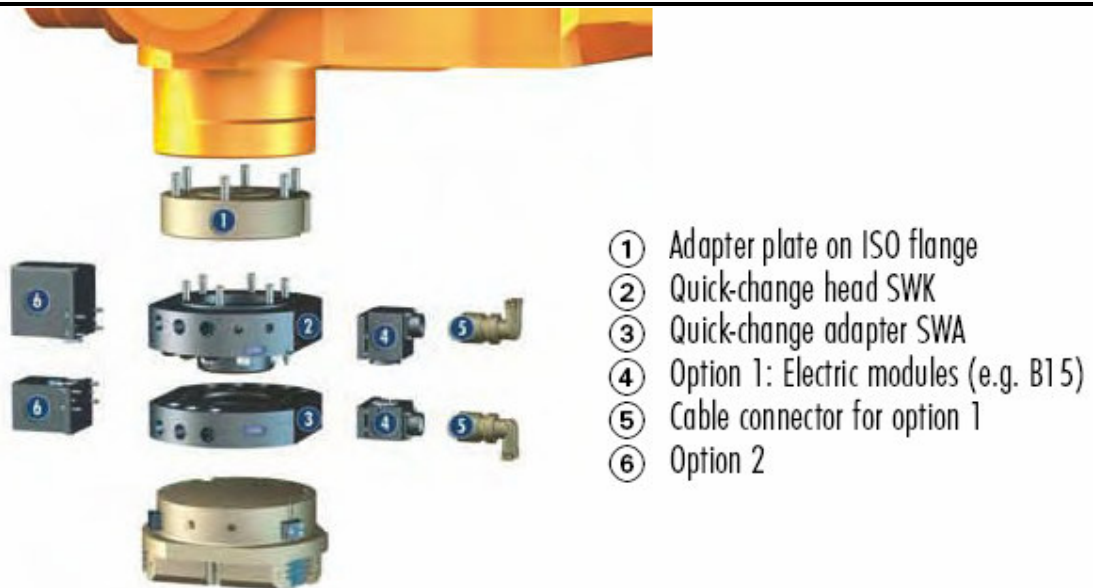
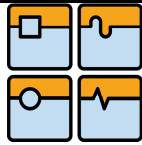
Velmi důležitým parametrem při seřizování koncového efektoru a návrhu geometrických rozměrů čelistí je uchopovací přesah (obr. 6.12), což je vlastně dráha, kterou by čelisti chapadla byly schopny urazit, kdyby nedošlo ke kontaktu s objektem manipulace. Při nedostatečně velkém přesahu může dojít k tomu, že se čelisti zabrzdí o svůj koncový doraz a tudíž nemůže vyvodit žádnou uchopovací sílu.



Obr. 6.12 Uchopovací přesah
Zdroj: vlastní zpracování

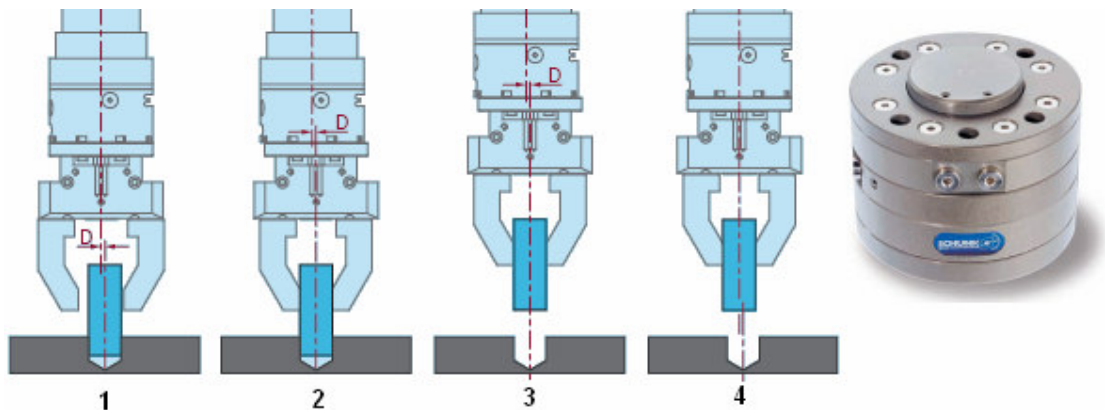
6.8. Příruba

Vybrané chapadlo je nutno dále připojit ke koncovému efektoru. V praxi by jsme zřejmě použili systém pro rychlou výměnu koncových efektorů, například SCHUNK SWS-005 (obr.6.13). Dají se použít i členy pro kompenzaci nepřesnosti v ustavení objektu manipulace (obr 6.14). V našem případě jsme volili způsob, kdy je chapadlo připojeno pevně přímo přes speciálně vyrobenou přírubu bez možnosti rychlé výměny. Pro výukové účely je to bez požadavků na produktivitu práce dostačující a ve srovnání s nákupem zařízení pro rychlou výměnu levnější.



Obr. 6.13 Schéma zapojení SCHUNK SWS-005

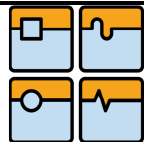
Zdroj: SCHUNK www.schunk.com



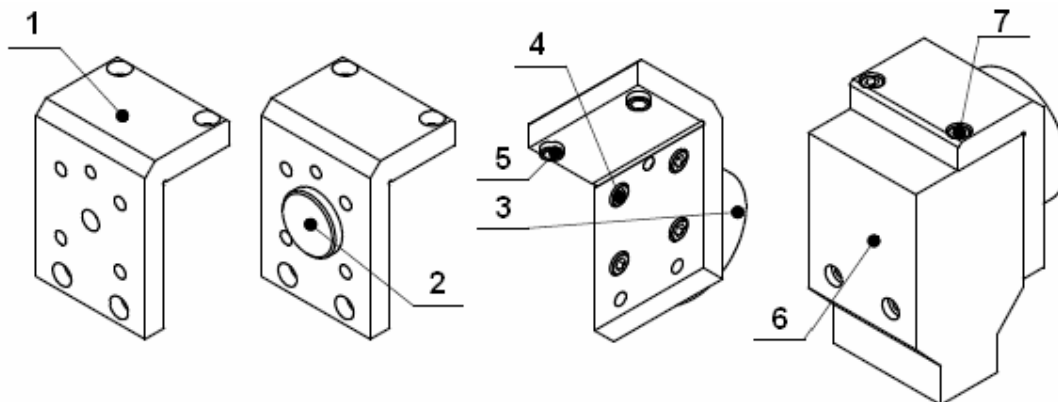
Obr. 6.14 AGE compensation unit

Zdroj: WOLF, A. a kol. 2005

V práci jsme zpracovali tři varianty možného řešení připojení. Dále bude na schématech jednotlivých variant proveden popis zjednodušeného montážního postupu pro posouzení nejlepší varianty z hlediska flexibility výměny efektoru.



6.8.1. Varianta bez redukční části s nástrčným středícím členem



Obr. 6.15 Varianta bez redukční části s nástrčným středícím členem

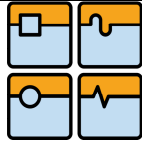
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 6.15 zobrazuje první variantu možného řešení.

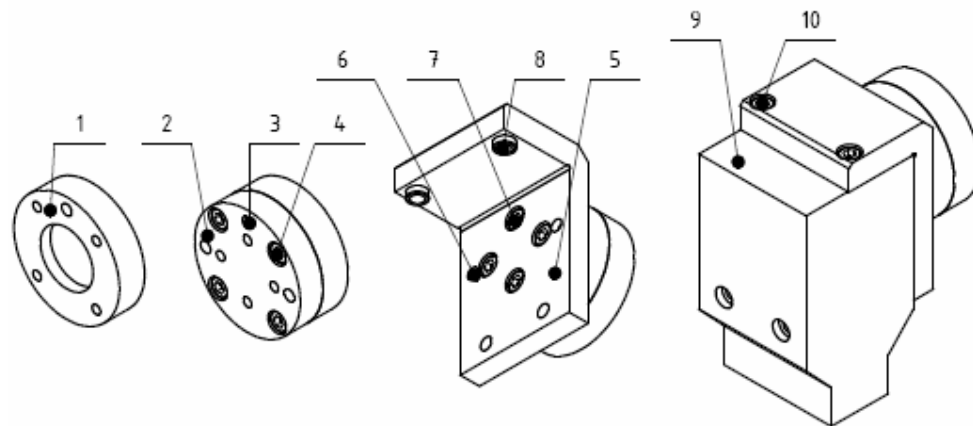
- Do držáku tvaru L [1] se zasune středící člen [2], pomocí tohoto členu a kolíku se držák ustaví v přírubě robotu a dotáhne šrouby [4].
- Pomocí středících dutých kolíků [5] se ustaví přesná poloha chapadla a na vrchní a zadní straně držáku tvaru L se přitáhne šrouby [7].

Tento systém neumožňuje rychlou výměnu chapadla o jiných připojovacích rozměrech a pro připojení jiné hlavice je nutné vyrobit nový držák.

Výhodou této varianty je absence redukčního členu mezi držákem tvaru L a přírubou průmyslového robotu.



6.8.2. Varianta s redukční částí s pevným středícím členem



Obr. 6.16 Varianta s redukční částí s pevným středícím členem

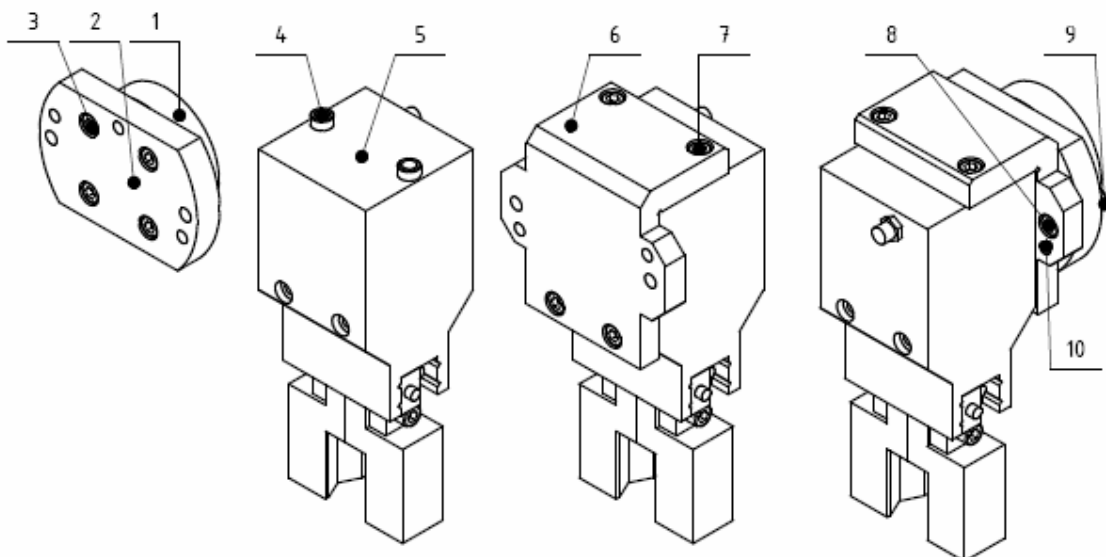
Zdroj: Vlastní zpracování

Další z možných variant využívá redukční část, jejíž součástí je pevný středící člen.

- V přírubě robotu [1] se ustaví přesná poloha redukční části [2] pomocí středícího prvku a kolíku [3] a připevní se šrouby [4].
- Držák tvaru L [5] se ustaví v redukčním členu pomocí dvojice kolíků [6] a přitáhne se pomocí šroubů [7].
- Pomocí středících dutých kolíků se ustaví poloha chapadla [9] a na zadní a vrchní straně se přitáhne šrouby [10].

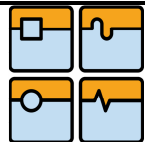
Tato varianta neumožňuje rychlou výměnu efektoru a oproti první variantě nepřináší žádné výhody.

6.8.3. Varianta s redukční částí pro rychlou výměnu



Obr. 6.17 Varianta s redukční částí pro rychlou výměnu

Zdroj: vlastní zpracování



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

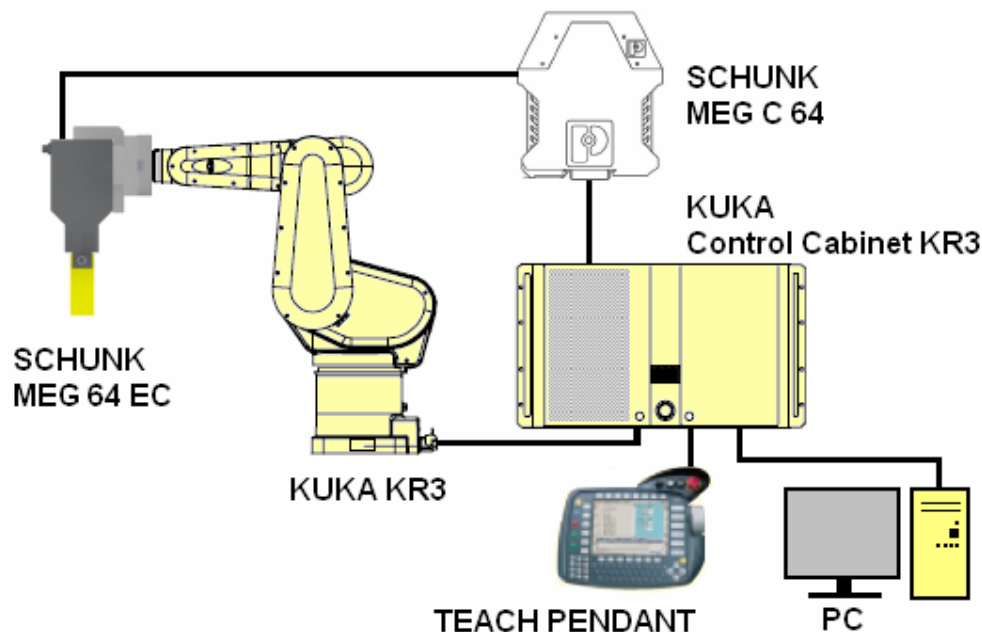
- Na přírubu robotu [1] se připevní redukční část [2] pomocí šroubů [3], její poloha se ustaví pomocí pevného středícího členu na redukční části a pomocí kolíku.
- Pomocí dutých středících kolíků [4] se ustaví přesná poloha chapadla [5] vůči držáku tvaru L, obě součásti se spojí pomocí šroubů [7].
- Držák tvaru L smontovaný s chapadlem se pomocí šroubů s maticemi [8,9] připevní k redukčnímu členu, jejich vzájemná poloha se předem ustaví pomocí dvojice kolíků [10].

Tato varianta, jako jediná, umožňuje rychlou výměnu efektoru, kdy redukční člen zůstane upevněn na přírubě robotu a je připraven pro připojení jiného držáku o odpovídajících připojovacích rozměrech.

Kvůli výše uvedeným výhodám jsme k realizaci vybrali tuto variantu, výkresová dokumentace je uvedena v příloze.

7. Možnosti řízení

Průmyslový robot KUKA KR3 je dodáván spolu s řídicí jednotkou KUKA Control Cabinet KR3, ke které je připojen počítač a pendant. Řízení chapadla SCHUNK MEG 64 EC budeme provádět pomocí programovatelného automatu SCHUNK MEG C 64 dle schématu zapojení (obr. 7.1)



Obr. 7.1 Schéma zapojení (bez externích zdrojů napájení)

Zdroj: KUKA www.kuka-robotics.com, SCHUNK www.schunk.com, (vlastní zpracování)

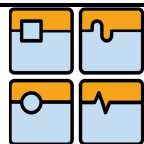
7.1. Programování průmyslových robotů

Programování robotů je ve srovnání s programováním NC-strojů podstatně složitější, protože je potřeba programovat kromě pozic také orientaci nástroje. Orientace nástroje, např. svařovacího hořáku není často u složitě tvarovaných svařovacích drah zřejmá z výkresu svařovaných dílů (Schmid, D. a kol. 2005).

Rozlišujeme dvě základní metody programování. Programování On-line a Off-line. On-line programování dále můžeme rozdělit na metodu Play-back a Teach-in.

7.1.1. Play-back programování

Jedná se o metodu, kdy programátor ručně navádí rameno průmyslového robota po určené dráze, řídicí systém dráhu zaznamenává a je schopen ji následně zopakovat. Tato metoda je poměrně nepřesná a v dnešní době se už mnoho nepoužívá.



7.1.2. Teach-in programování

Tato metoda programování spočívá v tom, že programátor pomocí ovládacího panelu přemístí rameno průmyslového robotu do požadované polohy a tím zadá polohy jednotlivých bodů, mezi kterými pak určí způsob pohybu.

7.1.3. Off-line programování

Off-line programování probíhá pomocí počítače se speciálním programem (např. Workspace) podle diagramu 7.1. Výhodou je, že tato metoda dovoluje vytvořit 3D návrh robotické buňky, provést simulace uchopovacích procesů a zjistit například případné kolize. Poté je teprve vygenerován „off-line“ program, který je nahrán do reálného řídicího systému průmyslového robotu.

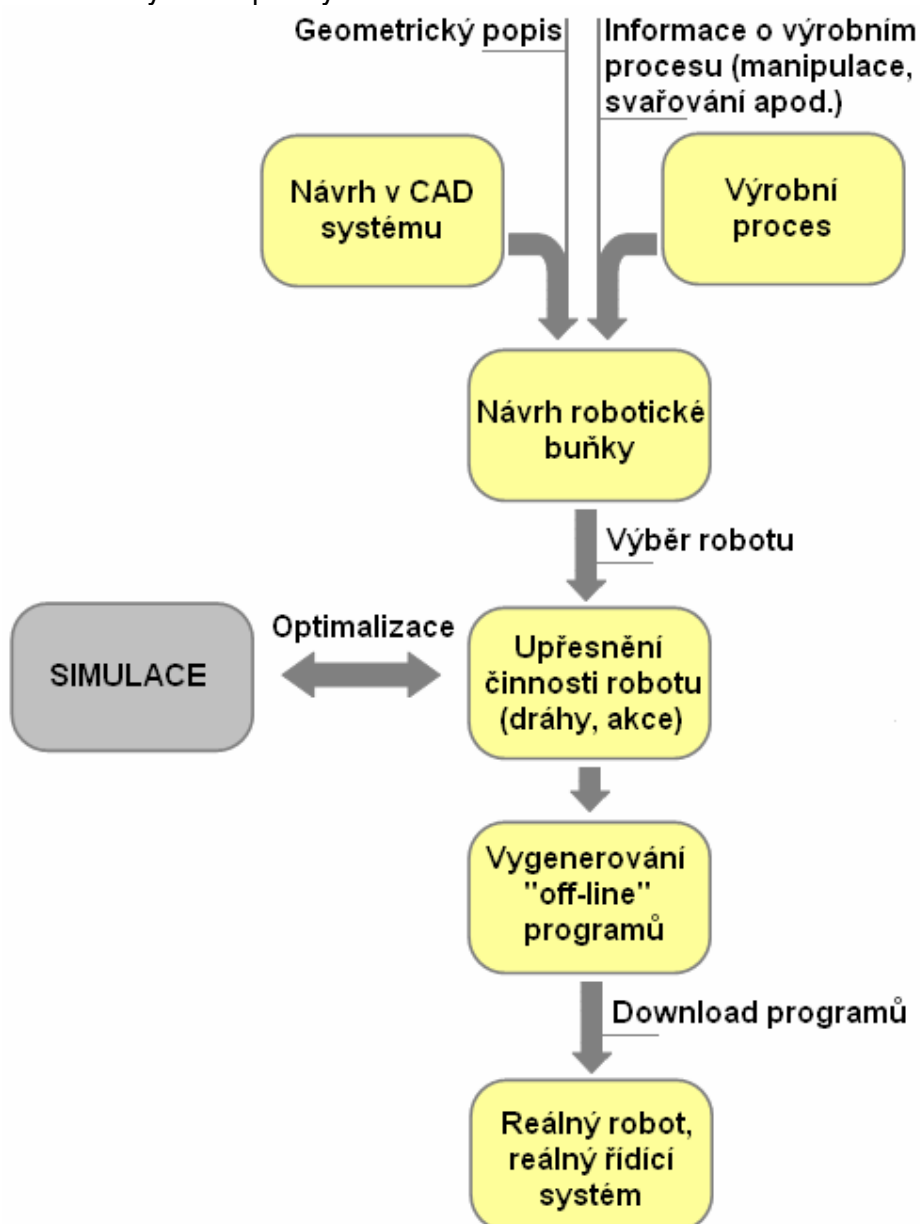
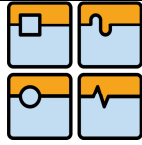
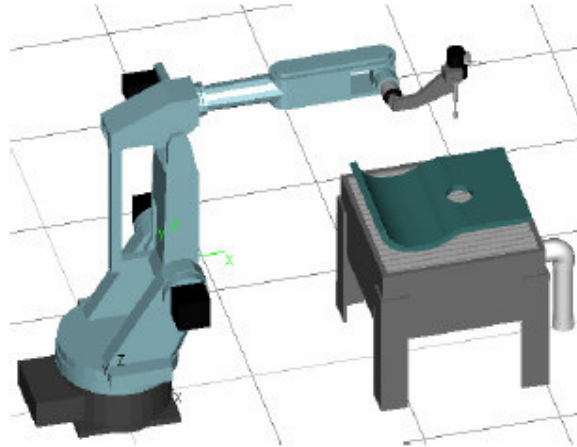


Diagram 7.1 Postup „off-line“ programování

Zdroj: POCHYLÝ, A; KUBELA, T. 2007 (vlastní zpracování)



Tato metoda programování je v praxi velmi využívána, zejména díky možnostem simulace a následného doladování uchopovacích procesů. Další výhodou je automatická tvorba dráhy nástroje (Automatic Path Generation – AGP), která umožňuje po nahrání 3D modelu součásti a zadání parametrů vytvořit složitou dráhu, která bude kopírovat tvar součásti (obr 7.2).



Obr. 7.2 Příklad pro AGP ve workspace
Zdroj: POCHYLÝ, A; KUBELA, T. 2007

7.1.4. Příklad programu

Na obrázku 7.3 jsou zobrazeny polohy bodů použitých při programování výše uvažované přímkové dráhy, mezi počáteční a koncovou polohou objektu manipulace. V tabulce 7.1 je pak uveden příklad programu, metodou „teach-in“, pro tuto dráhu spolu se dvěma možnými způsoby řízení chapadla, které jsou z hlediska funkce ekvivalentní.

• HOME

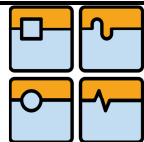
• P1

• P3

• P2

• P4

Obr. 7.3 Významné body pro programování dráhy
Zdroj: vlastní zpracování



V programu jsou použity dva základní příkazy pro transformaci pohybů mezi jednotlivými body:

- PTP (point to point) – nejrychlejší pohyb, kdy se interpolace provádí pro jednotlivé osy a ne pro referenční bod nástroje, pohyb probíhá po libovolné dráze a orientace nástroje se během pohybu mění
- LIN – lineární interpolace - pohyb mezi počátečním a koncovým bodem je veden po přímce a orientace nástroje při pohybu zůstává stejná

Tab. 7.1 Ukázka možného programu

Robot	Chapadlo
PTP HOME	
PTP P1	
	pulse 1 State=TRUE ---- SET SCHUNK MEG STATE=OPN
LIN P2	
	pulse 2 State=TRUE ---- SET SCHUNK MEG STATE=CLO
LIN P1	
PTP P3	
LIN P4	
	pulse 1 State=TRUE ---- SET SCHUNK MEG STATE=OPN
LIN P3	
PTP HOME	

Zdroj: vlastní zpracování

8. Adaptabilní chapadla




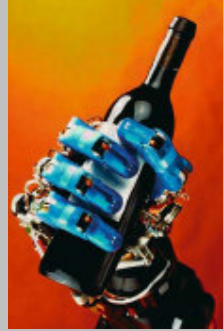
Současným trendem v robotických aplikacích je snaha o co největší přizpůsobivost jak koncových efektorů, tak i samotných robotů.

Adaptabilnost průmyslových robotů spočívá v implementaci senzorů, které snímají okolí v pracovním prostoru robotu. Řídící systém tyto údaje vyhodnocuje a je podle nich schopen reagovat na případné změny, tedy samostatně se přizpůsobit.

V manipulačních aplikacích je často vyžadováno uchopovat objekty, které nejsou uspořádány v zásobnících nebo umístěny v bodě s přesně definovanými prostorovými souřadnicemi a je třeba se poloze objektů přizpůsobit. To je uskutečňováno pomocí kamerových systémů, které snímají polohu jednotlivých objektů manipulace a řídicí systém pak navádí chapadlo na určené místo.

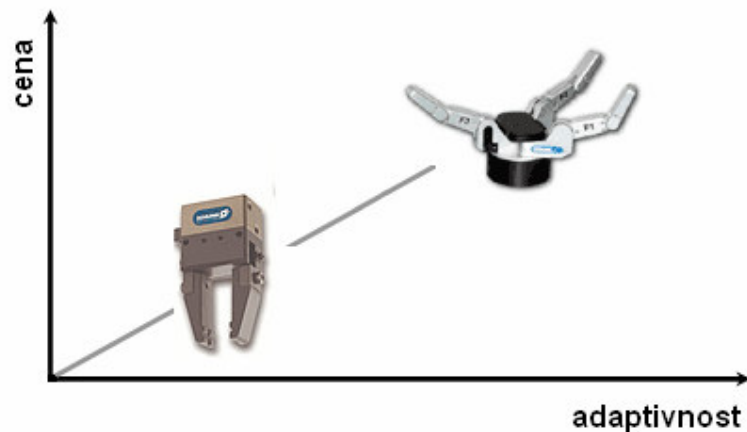
Přizpůsobivost samotného chapadla závisí na množství operací, které můžeme vykonávat, tedy na množství geometricky odlišných objektů, které je schopno uchopit. Společnosti zabývající se problematikou chapadel se snaží vyvinout chapadla, která by se svými manipulačními schopnostmi přiblížila možnostem lidské ruky (tab. 8.1).

Tab. 8.1 Robotické ruce

				
Název	Stanford/ JPL Hand	Barret Hand	Robonaut Hand	DLR Hand
Rok	1983	1988	1999	2004
Počet prstů	3	3	5	4
Počet kloubů	9	8	22	17
Počet stupňů volnosti	9	4	14	13

Zdroj: WOLF, A. a kol. 2005 (vlastní zpracování)

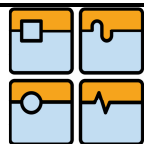
Vývoj těchto mechanických rukou je velmi náročný. Chapadlo musí obsahovat řadu senzorů, kloubů a převodů, vše pokud možno v kompaktním a lehkém provedení. Tudiž jeho vývoj vyžaduje mnoho finančních prostředků, což se samozřejmě odrazí v konečné ceně produktu.



Graf 8.1 Závislost ceny a adaptivnosti chapadel

Zdroj: SCHUNK www.schunk.com (vlastní zpracování)

Například jeden z předních výrobců úchopových hlavíc společnost SCHUNK má ve své nabídce ruku s názvem SDH (obr. 8.1), která dovoluje uchopovat velké množství geometricky rozličných objektů a je vybavena řadou senzorů. Její cena je ovšem v porovnání se základními chapadly mnohokrát vyšší.

**Obr. 8.1 Možnosti uchopení SCHUNK SDH**Zdroj: SCHUNK www.schunk.com

Nabízí se tedy otázka, jestli se při realizaci uchopovací operace vyplatí investice do podobného zařízení. Z vědeckého a inženýrského hlediska je to samozřejmě velká výzva, snažit se sestavit zařízení, které se svou dokonalostí a přizpůsobivostí bude rovnat lidské ruce. Tento problém bude pravděpodobně ještě hodně dlouho zaměstnávat mozky konstruktérů předních výrobců chapadel. V průmyslové praxi masové využívání robotických rukou zřejmě nenastane. Málokdy je totiž potřeba uchopovat tolik rozličných objektů v jednom pracovním prostoru průmyslového robotu, a když ano, dá se s výhodou použít mechanismů pro rychlou výměnu a používat více základních chapadel s různým tvarem čelistí.

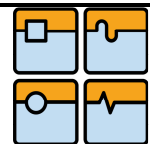
9. Závěr

V práci jsme provedli základní popis a rozdělení v praxi využívaných průmyslových robotů a manipulátorů, rozebrali jsme základní kinematické modely jejich funkce a provedli popis nejdůležitějších parametrů, rozhodujících při výběru průmyslového robotu.

Hlavní náplní práce byl popis a rozdělení koncových efektorů. Vytvořili jsme přehled základních typů, rozdělených dle oblasti použití. Nejvíce jsme se zaměřili na hlavice pro paletizaci a manipulaci, tedy na chapadla. Zpracovali jsem přehled všech možných typů a fyzikálních principů používaných chapadel a krátce pojednali na téma jejich využitelnosti.

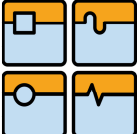
V praktické části jsme řešili postup návrhu a výpočtu koncového efektoru pro manipulaci s pomocí průmyslového robotu KUKA KR3 a chapadla SCHUNK MEG 64 EC dle uvedené metodiky. Uvažovali jsme tři typy úprav uchopovacího elementu pro současné uchopení válce a krychle, pro než byli vypočítány uchopovací síly. Vybrali jsme nejvýhodnější úpravu čelistí a to vyfrézování rybinového vybrání pro větší stabilitu a bezpečnost pro uchopení válcového objektu, s ponecháním dostatečně velké stykové plochy pro bezpečné uchopení objektu tvaru krychle. Dále jsme řešili připojení chapadla k přírubě průmyslového robotu. Znovu jsme uvažovali tři možné varianty provedení, z nichž jsme nakonec vybrali variantu, umožňující nejrychlejší případnou výměnu efektoru. K této variantě jsme zpracovali výkresovou dokumentaci.

Dále jsme krátce pojednali o možnostech programování průmyslových robotů a řízení chapadel s ukázkou programu pro námi řešenou situaci. Závěrem jsme se zamysleli nad použitelností adaptabilních chapadel v průmyslové praxi.



Seznam použitých zdrojů

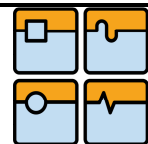
- PIRES, J. N. *Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future*. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
- WOLF, A.; STEINMANN, R. SCHUNK, H. *Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks*. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7
- SCHMID, D. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Europa-Sobotáles, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9
- MONKMAN, G. J.; HESSE, S.; STEINMANN, R.; SCHUNK, H. *Robot Grippers*. Weinheim : Wiley-VCH-Verl., 2007. 452 s. ISBN 978-3-527-40619-7
- SKAŘUPA, J; ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. 1. vyd. Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 105 s.
- SKAŘUPA, J; ZELINA, P. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. vyd. VŠB - Technická Univerzita Ostrava, 1996. 107 s.
- POCHYLÝ, A; KUBELA, T. *Simulace a off-line programování robotických buněk v systému Workspace 5*. [online]. [cit. 2009-05-21]. Studijní opora, návody do laboratorních cvičení, řešené příklady. VUT v Brně, FSI, ÚVSSR, 2007. 65 s. Dostupné z: http://simulace.fme.vutbr.cz/stranky/studium/opory/NavrhOptimalizaceRoboticky chBunek/Workspace_Opora_CZ.pdf
- BATES, C. *Move over machine tools here come robots* [online]. 2006 [cit. 2009-05-22]. Dostupné z: <http://www.americanmachinist.com/304/Issue/Article/False/13386/Issue>.
- *Technická specifikace GHS RL90* [online]. 2006, poslední aktualizace 12.3.2008 [cit. 2009-05-22]. Dostupné z: http://markkom.de/hosted/ghsautomation.ch/cms/upload/pdf/RL90_en.pdf.
- *KUKA KR 10 scara R600 Specification* [online]. 2007, poslední aktualizace 15.5.2008 [cit. 2009-05-16]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/6BCC27CB-A42C-4EF7-B3E0-1A0A8C777630/0/KUKA_KR10scara_Spezifikation_en.pdf.
- *KUKA KR 30-3 Specification* [online]. Poslední aktualizace 15.5.2009 [cit. 2009-05-17]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/4A8F448A-345B-4FB9-B891-86161E0336FB/0/SP_kr3060cr.pdf >.
- *KUKA KR 1000 Titan Data Sheet* [online]. Poslední aktualizace 15.5.2009 [cit. 2009-05-17]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/6635A8D8-3690-4EE4-8C98-2AE92C468204/0/Data_sheet_KR1000_titan.pdf.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- *KUKA KR 3 Specification* [online]. Poslední aktualizace 15.5.2009 [cit. 2009-05-16]. Dostupné z: <http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/926CEC2C-A2C5-4537-A5C5-05A76F6CC09C/0/kr3_de_en_fr.pdf>.
- *KUKA KR 3 CR Data Sheet* [online]. Poslední aktualizace 4.6.2008 [cit. 2009-05-16]. Dostupné z: <http://www.kuka.com/res/media/datasheets_08/Roboter/Kleinrobotik/Datenblatt_KR_3_CR_en.pdf>.
- *SCHUNK MEG 64 EC and MEG C 64 Assembly and Operating Manual*[online]. 2008, poslední aktualizace 24.9.2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupné z: <http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/OM_AU_MEG64-EC_EN.pdf>.
- *SCHUNK SDH Catalog Pages* [online]. Poslední aktualizace 21.1.2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupné z: <http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SDH_DE_EN.pdf>.
- *2008 Press Info Charts* [online]. 2008, poslední aktualizace 13.10.2008 [cit. 1998-06-13]. Dostupné z: <http://www.worldrobotics.org/downloads/2008_Pressinfo_Charts.pdf>.

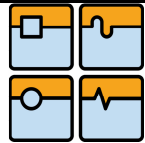
Seznam www stránek

- KUKA www.kuka-robotics.com
- ABB www.abb.com
- SCHUNK www.schunk.com
- WORLDROBOTICS www.worldrobotics.org
- GHSAUTOMATON www.ghsautomation.com



Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
a_k	[m]	Hrana krychle
a_k	[ms ⁻²]	Zrychlení koncového bodu robotu
a_{nA1}	[ms ⁻²]	Normálové zrychlení koncového bodu při rotaci kolem osy A1
a_{tA1}	[ms ⁻²]	Tečné zrychlení koncového bodu při rotaci kolem osy A1
a_{tA1}°	[°s ⁻²]	Úhlové zrychlení osy A1 robotu
d_v	[m]	Průměr válečku
F_G	[N]	Uchopovací síla
$F_{G,y}$	[N]	Uchopovací síla potřebná pro kompenzaci sil působících v ose y
$F_{G,z}$	[N]	Uchopovací síla potřebná pro kompenzaci sil působících v ose z
F_{GX}	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy x
$F_{GX,P}$	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy x, pro čelist s prizmatickým vybráním
F_{GY}	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy y
$F_{GY,P}$	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy y, pro čelist s prizmatickým vybráním
F_{GZ}	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy z
$F_{GZ,P}$	[N]	Celková uchopovací síla potřebná k udržení objektu při pohybu ve směru osy z, pro čelist s prizmatickým vybráním
F_i	[N]	Síla od i-té čelisti
F_{ix}	[N]	Síla i-té čelisti potřebná ke kompenzaci sil působících v ose x
F_{iz}	[N]	Síla i-té čelisti potřebná ke kompenzaci sil působících v ose z
F_{tx}	[N]	Třecí síla působící ve směru osy x
F_{tz}	[N]	Třecí síla působící ve směru osy z
G	[N]	Tíha objektu manipulace
g	[N]	Tíhové zrychlení
m_k	[kg]	Hmotnost krychle
m_v	[kg]	Hmotnost válečku
r	[m]	Poloměr obloukové dráhy
v_{A1}	[ms ⁻¹]	Rychlost koncového bodu při rotaci kolem osy A1
v_{A1}°	[°s ⁻¹]	Úhlová rychlost osy A1 robotu
V_k	[m ³]	Objem krychle
v_v	[m]	Výška válečku
V_v	[m ³]	Objem válečku



Seznam obrázků

Obr. 2.1 Kinematika robotu	17
Obr. 2.2 Typy základní kinematiky	18
Obr. 2.3 GHS RL90 RoboLiner	19
Obr. 2.4 KR 10 scara R600 (osy)	20
Obr. 2.5 KR 30-3 (osy)	20
Obr. 2.6 KUKA KR 1000 titan.....	21
Obr. 2.7 KUKA KR 1000 Titan (pracovní prostor)	21
Obr. 3.1 Připojení koncového efektoru.....	23
Obr. 3.2 Schunk SDH	24
Obr. 3.3 Frézovací hlavice	25
Obr. 3.4 ABB IRB 5500 – FlexPrinter.....	26
Obr. 3.5 ABB IRB 1410 ArcPack.....	27
Obr. 3.6 ABB TruView systém	27
Obr. 3.7 Kuka Multiple Robocoaster	28
Obr. 3.8 Kuka 4D simulator.....	28
Obr. 4.1 Schématické znázornění prstového chapadla.....	31
Obr. 4.2 Druhy styku prstových chapadel	31
Obr. 4.3 Kinematika vybraných metod chapadel bez transformačních bloků.....	32
Obr. 4.4 Možné transformace	33
Obr. 4.5 Uchopení a separace vrstev látky	35
Obr. 4.6 Výběr z principů činnosti vakuových chapadel	35
Obr. 4.7 Adhezivní pásové chapadlo	36
Obr. 6.1 Dráha po přímce	40
Obr. 6.2 Dráha po oblouku.....	40
Obr. 6.3 Označení os robotu Kuka KR3.....	41
Obr. 6.4 Hodnoty rychlostí a zrychlení pro jednotlivé osy robotu Kuka KR3	41
Obr. 6.5 Úprava čelistí 1	44
Obr. 6.6 Úprava čelistí 2	44
Obr. 6.7 Orientace os.....	45
Obr. 6.8 Uchopovací síly SCHUNK MEG 64.....	48
Obr. 6.9 Nastavení uchopovací síly	49
Obr. 6.10 SCHUNK MEG 64 EC.....	49
Obr. 6.11 SCHUNK MEG 64 EC (řez)	49
Obr. 6.12 Uchopovací přesah	50
Obr. 6.13 Schéma zapojení SCHUNK SWS-005	51
Obr. 6.14 AGE compensation unit	51
Obr. 6.15 Varianta bez redukční části s nástrčným středícím členem	52
Obr. 6.16 Varianta s redukční částí s pevným středícím členem	53
Obr. 6.17 Varianta s redukční částí pro rychlou výměnu	53
Obr. 7.1 Schéma zapojení (bez externích zdrojů napájení)	55
Obr. 7.2 Příklad pro AGP ve workspace	57
Obr. 7.3 Významné body pro programování dráhy	57
Obr. 8.1 Možnosti uchopení SCHUNK SDH	60

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Rozdělení robotů KUKA	21
Tab. 2.1 KR 1000 Titan (specifikace os)	22
Tab. 2.2 KR 5 sixx R850 (specifikace os)	22
Tab. 4.1 Fyzikální principy jednotlivých druhů chapadel	30
Tab. 4.2 Dosažitelné pohyby pomocí jednotlivých druhů pohonů	32
Tab. 4.3 Výběr z možných kinematických řešení transformačních členů	34
Tab. 5.1 Praktické využití úchopových hlavíc	37
Tab. 5.2 Výhody a nevýhody různých typů chapadel	38
Tab. 6.1 Vlastnosti objektů manipulace	40
Tab. 6.2 Zrychlení na úsecích obloukové dráhy	43
Tab. 6.3 Odvození vzorců pro stanovení uchopovací síly	46
Tab. 6.4 Úprava vztahů pro prizmatické vybrání	47
Tab. 6.5 Vliv hmotnosti čelistí na uchopovací sílu	47
Tab. 6.6 Uchopovací síly na přímé dráze	48
Tab. 6.7 Uchopovací síly na obloukové dráze	48
Tab. 7.1 Ukázka možného programu	58
Tab. 8.1 Robotické ruce	59

Seznam grafů

Graf 1.1 Odhadovaný celosvětový počet průmyslových robotů	16
Graf 1.2 Odhadovaný objem prodeje průmyslových robotů v Evropě 2006-2007	16
Graf 6.1 Skutečné hodnoty zrychlení v závislosti na zatížení	42
Graf 8.1 Závislost ceny a adaptivnosti chapadel	59

Seznam diagramů

Diagram 3.1 Rozdělení koncových efektorů, dle oblasti využití	24
Diagram 5.1 Životní cyklus vačkového hřídele	37
Diagram 6.1 Postup návrhu	39
Diagram 7.1 Postup „off-line“ programování	56

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

Označení	Název	Druh výkresu
1-A2-BP/00	PŘIPOJENÍ CHAPADLA	Výkres sestavy
4-A2-BP/01	DUTÝ KOLÍK	Výrobní výkres
3-A2-BP/02	REDUKCE	Výrobní výkres
3-A2-BP/03	DRŽÁK	Výrobní výkres
4-A2-BP/04	SCHUNK ABR 64 (upraveno)	Výrobní výkres