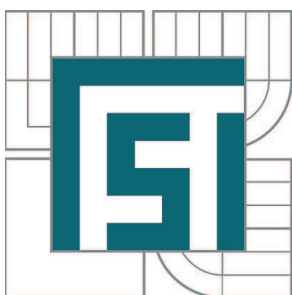


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# MANIPULAČNÍ OPERACE S PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY

MANIPULATION OPERATIONS WITH INDUSTRIAL ROBOTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ ČERNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jiří Černý

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

### **Manipulační operace s průmyslovými roboty**

v anglickém jazyce:

### **Manipulation operations with industrial robots**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzujte aktuální možnosti uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se na pneumatické a elektrické úchopné hlavice. S použitím průmyslového robotu KUKA a dostupných úchopných hlavic SCHUNK vytvořte demonstrační manipulační aplikaci s dostupnými objekty.

Cíle bakalářské práce:

1. Analyzujte a vlastními slovy popište aktuální možnosti pro uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se primárně na pneumatické a elektrické úchopné hlavice.
2. Analyzujte výhody a nevýhody pneumatických a elektrických úchopných hlavic a možnosti jejich řízení.
3. Vytvořte demonstrační manipulační aplikaci s objekty s využitím robotu KUKA a úchopných hlavic SCHUNK.

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 29.11.2012

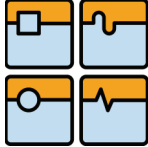
L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou a současným stavem úchopných hlavic. Postupně je pojednáno o průmyslových robotech využívaných pro manipulaci, chapadlech, speciálních jednotkách připojovaných k úchopným koncovým efektorům a o možnostech jejich řízení. Primárně je kladen důraz na elektricky a pneumaticky řízené úchopné hlavice. V poslední části je řešena demonstrační manipulační úloha pomocí průmyslového robotu a podtlakového chapadla. Výsledkem této manipulační úlohy je program pro řízení robotu KUKA.

## Klíčová slova


Manipulace, úchopná hlavice, chapadlo, řízení průmyslového robotu, programování, manipulační úloha

## Abstract

This bachelor's thesis inquires into problems and current state of robot grippers. Industrial robots used for manipulation, robot grippers, special unit connected to gripping end-effectors and possibilities of its control are mentioned step by step. The accent is primarily put on electric and pneumatic driven grippers. Sample of gripping task with industrial robot and vacuum gripper is solved in the last part of this thesis. The program for control of KUKA robot is output from this gripping task.


## Keywords

Manipulation, gripper, programming, control of industrial robot, gripping task

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### **Bibliografická citace**

ČERNÝ, J. *Manipulační operace s průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Manipulační operace s průmyslovými roboty“ vypracoval samostatně s použitím pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 24.5.2013

.....  
Jiří Černý

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	


## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení, rady, informace a připomínky a také doc. Ing. Radkovi Knoflíčkoví, Dr. za cenné připomínky při vypracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu během studia.




## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Průmyslové roboty pro manipulaci používané v praxi .....</b>	<b>13</b>
2.1. Roboty se šesti stupni volnosti (6-DOF roboty).....	13
2.2. Montážní roboty typu SCARA.....	14
2.3. Paletizační roboty .....	14
2.4. Roboty s paralelní kinematikou.....	15
<b>3. Úchopné hlavice .....</b>	<b>16</b>
3.1. Koncové efektory .....	18
3.2. Aktivní kontaktní chapadla.....	18
3.3. Uchopovací síla .....	20
3.4. Základní parametry úchopných hlavic .....	21
3.5. Pneumatické úchopné hlavice .....	22
3.6. Elektrické úchopné hlavice.....	25
3.7. Vybrané oblasti používání úchopných koncových efektorů .....	27
<b>4. Výhody a nevýhody elektrických a pneumatických chapadel.....</b>	<b>28</b>
4.1. Výhody a nevýhody elektrických chapadel.....	28
4.2. Výhody a nevýhody pneumatických chapadel .....	28
<b>5. Speciální moduly úchopných koncových efektorů .....</b>	<b>30</b>
5.1. Kompenzátory .....	30
5.2. Rotační moduly .....	30
5.3. Moduly pro automatickou výměnu efektorů .....	31
5.4. Otočné jednotky.....	32
5.5. Soustavy pro měření úchopné síly v čelistech chapadel.....	33
<b>6. Možnosti řízení pneumatických a elektrických chapadel .....</b>	<b>34</b>
6.1. Principy řízení pneumatických a elektrických úchopných hlavic .....	34
6.2. Snímače připojované k úchopným hlavicím .....	35
6.3. Řídicí systémy .....	37
6.4. Bezpečnost při řízení .....	38
<b>7. Manipulační úloha.....</b>	<b>40</b>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

7.1. Zadání manipulační úlohy.....	40
7.2. Popis robotizovaného pracoviště .....	40
7.3. Základní části řídicího programu pro robot KUKA.....	42
7.4. Popis použitých vstupů a výstupů, proměnných, podprogramů .....	42
7.5. Vývojový diagram, tvorba řídicího programu .....	44
7.6. Výsledný řídicí program pro manipulační úlohu .....	45
<b>8. Závěr .....</b>	<b>49</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>51</b>
<b>Seznam použitých symbolů .....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam použitých obrázků, grafů a tabulek .....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>56</b>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 1. Úvod

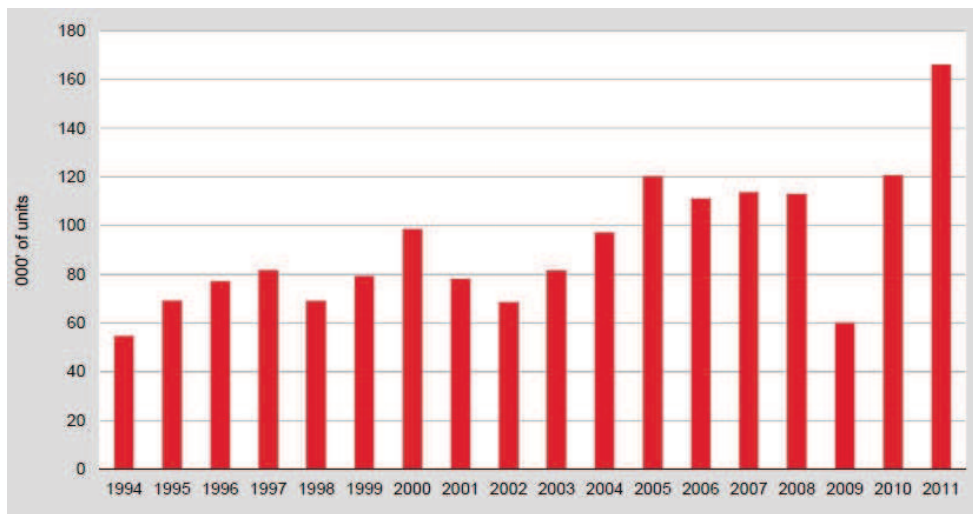
Manipulace s objekty je nejběžnější úloha v průmyslu. Manipulace je chápána jako přemístění předmětu z místa na místo, tedy změna polohy, definovaná posunutím nebo také rotací kolem některé z os symetrie předmětu. Tato úloha může být charakterizována počtem přepravených objektů za jednotku času. Manipulace je podmnožinou materiálového toku a lze ji charakterizovat několika rysy a parametry:

- Prostorovou orientací chapadla vůči manipulačnímu zařízení
- Výslednou silou uchopení, závisující na hmotnosti a setrvačnosti předmětu a odstředivé síle
- Geometrie objektu a jeho povrch, poloha těžiště a hmotnostní moment setrvačnosti
- Konstrukce čelistí chapadla v závislosti na rozložení sil, zahrnující tvar
- Povrchové vlastnosti objektu a čelistí chapadla, tuhost, kontaktní citlivost
- Působení okolního prostředí, prach a jiné znečištění, teplota, vibrace

Snahou všech odvětví průmyslu, kde je manipulace využívána, je zkrátit čas při přemísťování objektu na minimum. Jednou z možností je tento problém automatizovat za použití průmyslových robotů. V letech 2002 a 2003 nárůst automatizačních aplikací překonal aplikace, které jsou pouze ze strojírenské oblasti. Průmyslové roboty jsou aplikovány tam, kde hrozí nebezpečí úrazu při práci a také při monotónní a stereotypní práci. Roboty jsou schopny pracovat dvacet čtyři hodin denně, sedm dní v týdnu, s velmi vysokou přesností polohy a opakovatelností pohybu (pracovního cyklu). [1], [3], [22]

Samotné slovo robot vzniklo z českého slova robota, které popisuje těžkou práci otroka. Slovo robot bylo po prvé použito ve hře Karla Čapka R.U.R. První průmyslový robot Unimate, vážící 2 tuny, byl instalován v roce 1961 v továrně General Motors. Komerčně dostupný robot s označením T3, který byl řízen pomocí mikropočítače a poháněn hydraulikou, byl vyvinut v Cincinnati v roce 1973. V roce 1974 společnost ASEA uvedla na trh první průmyslový robot poháněný elektricky. Tento robot byl schopen přemísťovat objekty o max. hmotnosti 6 kg. Největší vzestup použití těchto zařízení byl při zavedení počítačové technologie, programovatelných automatů, senzorů a softwaru v roce 1996. [1], [2], [3], [22]

Podle Mezinárodní Federace pro Robotiku IFR (International Federation of Robotics) v roce 2011 opět vzrostl prodej průmyslových robotů o 38% na 160 000 kusů. Mezi přední investory do průmyslových robotů patří Japonsko, Jižní Korea, Čína, USA a Německo. [1], [3], [22]



Graf 1.: Statistika počtu prodaných průmyslových robotů v jednotlivých letech [22]

Problematika průmyslových robotů a manipulačních zařízení je aktuální, protože jsou čím dál tím více nasazovány do výroby. Nejvíce jsou roboty nasazovány v automobilovém průmyslu, kde jsou použity nejen pro problémy manipulace. Příkladem je lepení čelního skla na karoserii automobilu, kdy je využito průmyslového robotu s koncovou rámovou konstrukcí s podtlakovými úchopnými hlavicemi.

Vývoj úchopných koncových efektorů zaznamenává v posledních letech výrazný vzestup. Firmy zabývající se úchopnými technologiemi vyvíjejí stále dokonalejší zařízení pro manipulaci s objekty. [20]



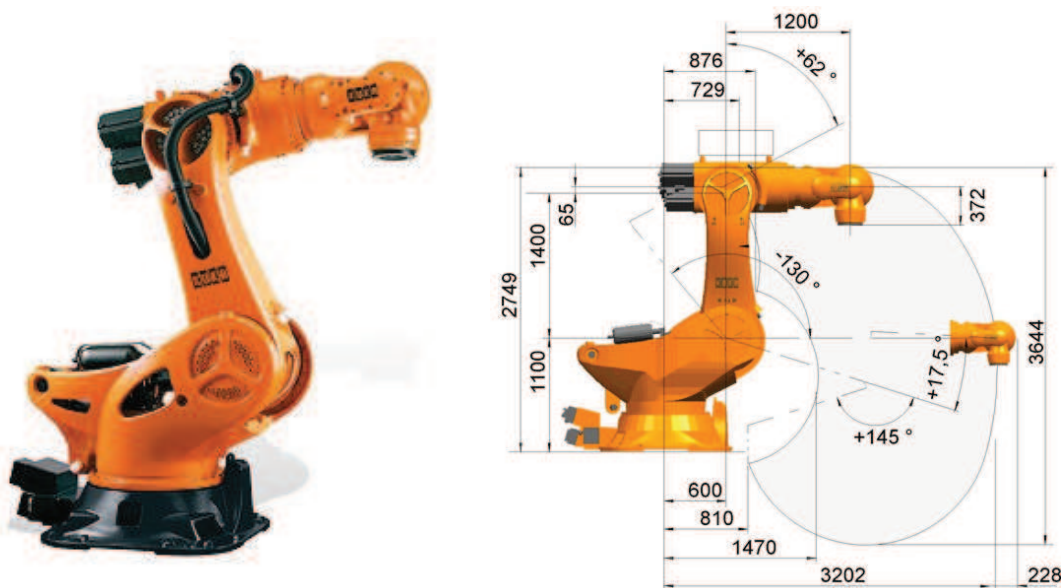
Obr. 1.: Vývoj koncových efektorů pro manipulaci SCHUNK v jednotlivých letech [20]

## 2. Průmyslové roboty pro manipulaci používané v praxi

Průmyslové roboty jsou automaticky řízené, programovatelné, víceúčelové manipulátory nejméně se třemi nebo více pohybovými osami opatřených pohony. Existuje velké množství druhů robotů, které se využívají v průmyslu, jestliže se řeší problém manipulace. Záleží na konkrétní manipulační úloze, podle které se zvolí daný typ robotu. Mezi základní druhy manipulace, při nichž se využívá průmyslových robotů, patří „pick and place“ a paletizace. U operací „vezmi a polož“ jsou nejvíce využívány roboty se šesti stupni volnosti, roboty SCARA a velmi rychlé roboty s paralelní kinematickou strukturou. Robot dnešní doby je schopen vykonat špičkově až sto pohybových úkonů během předem definované manipulační úlohy za jednu minutu. Kinematika robotu umožňuje dobu pracovního cyklu na jeden předmět mezi 2 a 10 sekundami. Předními výrobci průmyslových robotů jsou KUKA, ABB, MOTOMAN, Stäubli, Fanuc, Reis Robotics. [1], [18], [19]

### 2.1. Roboty se šesti stupni volnosti (6-DOF roboty)

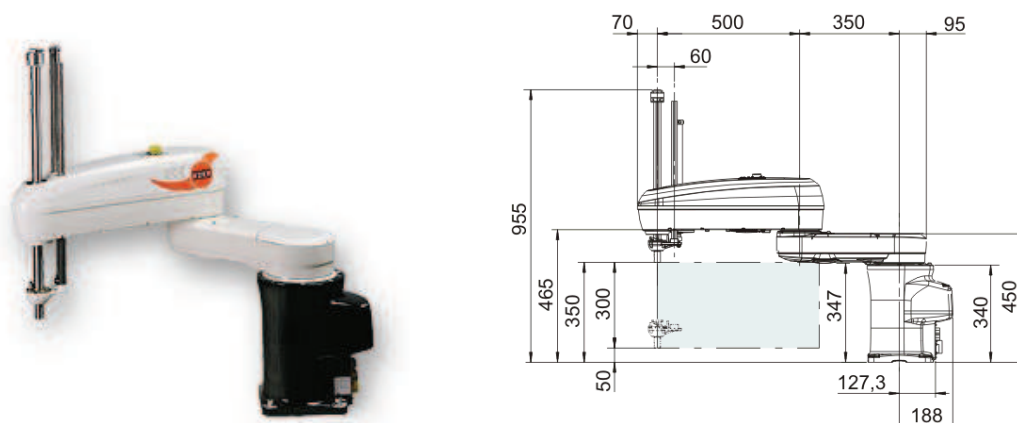
Roboty se šesti rotačními pohyblivými osami jsou nejčastěji vyráběnými, prodávanými a v průmyslu instalovanými roboty. Je to typický průmyslový robot. Tento robot tvoří sériová kinematika se šesti rotačními vazbami, které poskytují šest stupňů volnosti (6-DOF – 6 Degree Of Freedom). První tři rotační vazby od základny slouží při manipulaci s předmětem pro posun předmětu v prostoru, další tři vazby pro ustavení jeho orientace. Tato robotická ramena jsou vyráběna se širokou škálou nosností a dosahem. Podle maximální nosnosti jsou k dispozici roboty od 5 kg do 1300 kg. Pro svou univerzálnost se využívají pro všechny druhy operací, záleží na použitém koncovém efektoru. [5], [15], [16], [17], [19]



Obr. 2.1.: Robot s nejvyšší nosností KUKA KR 1300 TITAN PA [15]

## 2.2. Montážní roboty typu SCARA

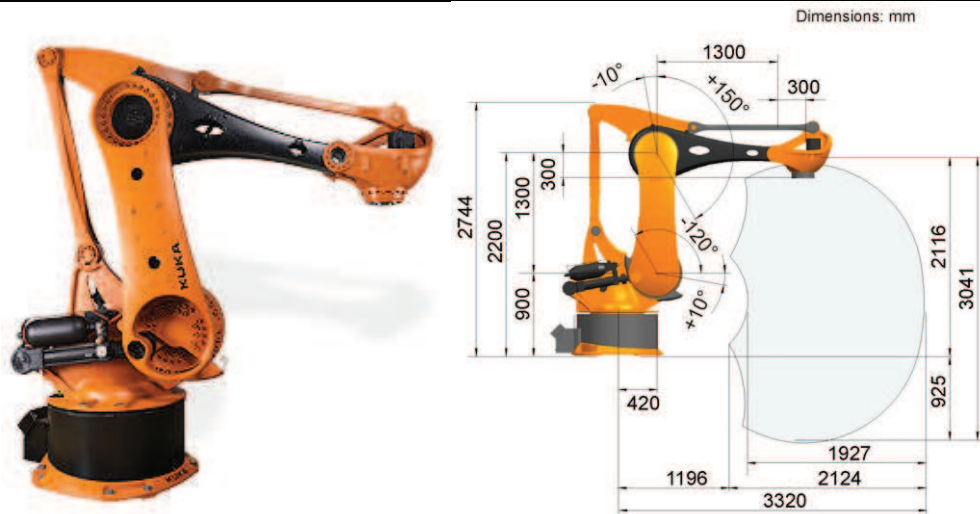
SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) roboty se uplatňují při častých aplikacích pick and place, kdy robot má za úkol uchopit a přemístit předmět bez možnosti rotace kolem horizontální osy. Díky tomuto pohybu postačuje robotu jednoduchá sériově řazenou kinematickou strukturu se čtyřmi osami, třemi rotačními a jednou posuvnou. Tímto jsou zajištěny čtyři stupně volnosti. První dvě rotační vazby jsou navzájem rovnoběžné a kolmé k základně, na které je robot usazen. Koncový vertikální posuvný pohyb je realizován společně s rotačním pohybem pomocí kuličkového šroubu. Tyto roboty jsou schopny pracovat s velmi vysokými rychlostmi a s preciznější opakovatelností než je tomu u ostatních robotů se sériovou kinematikou. Dosah robotu se pohybuje od 200 mm do 850 mm. Maximální nosnost dosahuje 10 kg a zdvih 400 mm. SCARA roboty se také uplatňují při montáži, balení a při automatizaci práce v čistém prostředí např. laboratorní práce. Kvůli poměrně malé zástavbové velikosti je kabeláž vedena vně konstrukce. [1], [11], [16]



Obr. 2.2.: SCARA robot firmy KUKA typ KR 10 SCARA R850 [15]

## 2.3. Paletizační roboty

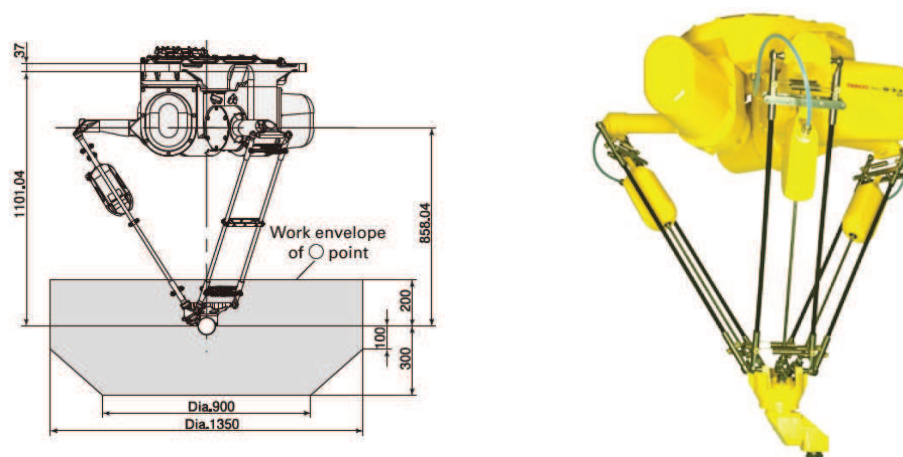
Pro umístění vyrobeného zboží na palety jsou využívány roboty pro paletizaci. Při této operaci robot na předem připravenou paletu ukládá výrobky do řad nad sebe. Poté je zboží zabaleno a připraveno k expedici. Takového principu práce se nejvíce využívá při paletizaci a balení v potravinářském průmyslu. Robot má obvykle pouze čtyři rotační osy, které mu postačují pro dokonalý pohyb při úloze paletizace. Dochází jen k přemístování nákladu a k rotaci kolem osy nákladu kolmé k základně. Díky tomu jsou roboty jednodušší, spolehlivější a levnější než 6-DOF roboty. Velký důraz je kladen na rychlost práce. Opět základní charakteristikou robotu je maximální dosah ramene a nosnost. V této době je k dispozici na trhu nejvýkonnější robot firmy KUKA s max. dosahem 3202 mm a max. zátěží 1300 kg. V reálných aplikacích jsou nejběžněji nasazovány paletizační roboty s nosností kolem 500 kg. [15], [17]



Obr. 2.3.: KUKA paletizační robot KR 700 PA s nosností 700 kg [15]

## 2.4. Roboty s paralelní kinematikou

Vedle robotů se sériovou kinematikou se vyrábí paralelní roboty (Delta roboty), které disponují vysokou rychlostí. Paralelní kinematická struktura znamená, že jednotlivé posuvné nebo rotační kinematické dvojice nejsou řazeny za sebou, ale vedle sebe. Tato struktura je schopna dosáhnout zrychlení až desetinásobku tíhového zrychlení a tím zkracuje čas na pracovní cyklus kolem půl sekundy. U sériové kinematické struktury se takto vysokých rychlostí nedosahuje. Paralelní robot je sestaven z dvou hlavních částí, základního rámu a pohyblivé základny, která je vybavena koncovým efektoem výhradně pro manipulaci nebo balení. Základní rám a pohyblivá základna je spojena pohyblivými vazbami, které jsou realizovány pomocí tyčí s kloubovými spoji na obou koncích. Nevýhodou této struktury je poměrně malý pracovní prostor, který je charakterizován maximálním dosahem a výškou zdvihu. Maximální pracovní dosah se pohybuje v rozmezí od 280 mm až 1600 mm. Roboty jsou schopny pracovat s předměty o maximální hmotnosti 6 kg. [16], [17], [18]



Obr. 2.4.: Robot s paralelní kinematikou FANUC M-3iA/6S [18]

### 3. Úchopné hlavice

Úchopná hlavice je koncový efektor průmyslového robotu nebo manipulátoru, který zprostředkovává silovou vazbu mezi robotickým zařízením a objektem a tím lze objekt uchopit a následně s ním manipulovat.

Pro manipulaci s předměty jsou využívána chapadla, která lze rozdělit podle principu jeho funkce na:

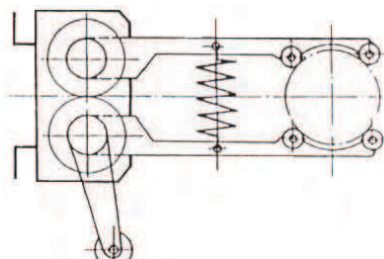
- mechanická (kontaktní)
- podtlaková
- magnetická
- speciální (adhezní, adaptabilní, jehlová)

Všechny tyto kategorie lze dále dělit na pasivní a aktivní. Pasivní chapadla neumožňují ovládat úchopné síly, uvolnění předmětu je možné pouze vnějším zásahem. Aktivní úchopné hlavice obsahují aktivní člen – motor, který ovládá pracovní čelisti. Základními komponentami každého aktivního chapadla je motor, převodový mechanismus a aktivní úchopný prvek (např. čelisti nebo přísavka). [1], [3], [6]

Mechanické úchopné hlavice vytváří nejpoužívanější koncové efektory pro manipulaci v průmyslu. Základní částí mechanických chapadel jsou čelisti, které mají schopnost uchopit předmět a po přemístění na dané místo jej uvolnit. Tyto čelisti jsou poháněny aktivním prvkem, kterým může být elektromotor, lineární pneumatický nebo hydraulický motor. Proto mohou být kontaktní chapadla dále dělena na:

- pneumatická
- hydraulická
- elektrická
- speciální (piezoelektrická).

Pasivní mechanická chapadla jsou nejjednodušší chapadla a uchopení objektu je realizováno pomocí speciální konstrukce čelistí. [1], [3], [6]



Obr. 3.0.1.: Schéma pasivní mechanické úchopné hlavice [6]



Podtlaková chapadla jsou použitelná pro manipulační aplikace s objekty, které mají složitou geometrii. Vytvořením podtlaku mezi pracovním elementem, přísavkou, a objektem je objekt uchopen a přemístěn na dané místo. U pasivních chapadel je podtlak vytvořen deformací přísavky, kdežto u aktivních je podtlak vytvořen připojenou vývěvou či ejektorem. [1], [3], [6]



*Obr. 3.0.2.: Podtlaková úchopná hlavice SCHUNK GSW-V s Venturiho tryskou pro vytvoření podtlaku [12]*

Magnetické úchopné hlavice jsou aplikovány při manipulaci s magnetickými předměty, které mají většinou malé rozměry a nízkou hmotnost (plechové kroužky, podložky). Předností těchto chapadel je jednoduchá konstrukce, která je realizována pomocí tyčových permanentních magnetů nebo elektromagnetů napájených stejnosměrným proudem. Uvolnění předmětu je provedeno pohybem v tangenciálním směru u permanentních magnetů a u elektromagnetů vypnutím el. proudu. [6]



*Obr. 3.0.3.: Magnetické chapadlo SCHUNK GSW-M [28]*

Adhezní chapadla využívají principu povrchového napětí adhezní kapaliny. Adhezní kapalina je přivedena mezi chapadlo a objekt manipulace a díky adhezi dojde ke spojení. Tato chapadla jsou vhodná pro uchopování předmětů o velikostech v řádech mikrometrů. Adaptabilní úchopné hlavice jsou velmi flexibilní, protože jsou schopny manipulovat s předměty, které mají jiný tvar a geometrii. Jehlová chapadla jsou vhodná pro manipulaci s předměty, které jsou vyrobeny z vláken (textilie, skelné nebo uhlíkové vlákna). Jehly proniknou skrz materiál a tím uchopí předmět. [1], [3]

Součástí každé úchopné hlavice jsou díry pro uchycení ke koncové přírubě průmyslového robotu, rozhraní pro přívod zdroje energie a také místa v podobě drážek nebo závitových děr pro připojení senzorů. [12]

### 3.1. Koncové efekторы

Koncové efekторы jsou podsystemy průmyslových robotů, které vykonávají danou operaci s cílovým předmětem. Efektor je umístěn na samém výstupu ramene průmyslového robotu a je připojen pomocí koncové příruby.

Koncové efekторы lze rozdělit podle účelu použití v průmyslu na:

- úchopné hlavice
- technologické hlavice
- kombinované hlavice
- měřicí hlavice
- speciální hlavice

Úchopné hlavice jsou využívány pro manipulaci s předměty. Technologické koncové efekторы jsou nasazovány při určitém technologickém procesu, jako je spojování materiálu (sváření), odebrání materiálu (obrábění) či lakování. Kombinované hlavice jsou schopny vykonat více operací najednou nebo po sobě bez nutnosti výměny koncového efektoru. Jde o kombinaci např. úchopné a technologické hlavice. Měřicí hlavice jsou nasazovány všude tam, kde je třeba zajistit požadované parametry během výroby. Mezi speciální hlavice patří efekторы, které nejsou velmi rozšířené, např. pro zábavní průmysl (KUKA Robocoaster) nebo koncové efekторы využívané ve zdravotnictví. [1], [3], [6]



Obr. 3.1.1.: Technologické hlavice pro svařování a lakování [16]

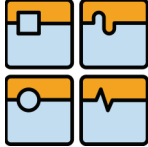


Obr. 3.1.2.: Speciální hlavice pro zábavní průmysl KUKA Robocoaster [29]

### 3.2. Aktivní kontaktní chapadla

Tento typ chapadel je nejrozšířenější svým použitím v průmyslu. Pohyb čelistí je přes převodový mechanismus ovládán motorem. Pohonnou jednotkou je ve většině případů přímočarý pneumatický motor nebo elektromotor. Energie z motoru je přenášena na čelisti, které mohou vykonávat přímočarý pohyb nebo se pohybovat po kružnici. Podle pohybu čelistí lze dále dělit mechanická chapadla na:

- paralelní
- radiální, úhlová

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Paralelní chapadla jsou konstrukcí velmi jednoduchá, kdy čelisti jsou posunovány v kluzném nebo valivém vedení. Tato chapadla jsou charakteristická šířkou rozevření čelistí. Kdežto radiální či úhlové úchopné hlavice obsahují čelisti, které jsou uloženy na čepu, kolem kterého se otáčejí. Při použití těchto hlavice je nutný větší okolní prostor při uchopování předmětu. [1], [3], [6], [12]

Existuje několik druhů převodových mechanismů, které se využívají k přeměně rotačního pohybu motoru na translační pohyb čelistí. Díky tomuto mechanismu jsou čelisti spojeny a vykonávají synchronizovaný pohyb, čímž dochází k automatickému vystředění předmětu mezi čelistmi. [1], [3], [6]

Používané převodové mechanismy kontaktních chapadel:

- klínový
- pákový
- vačkový
- ozubený
- šroubový

U pneumatických úchopných hlavice se běžně využívá klínového, pákového, vačkového nebo ozubeného mechanismu. Elektricky poháněná chapadla obsahují mechanismus klínový, šroubový nebo ozubený. [12]

**Klínový převod** je velmi jednoduchý. Klín je přímo napojen na pístnici pneumotoru. Při vniknutí stlačeného vzduchu do prostoru nad pístem dochází k zasunutí klínu mezi základny čelistí a tím k jejich otevření. V opačném případě, kdy stlačený vzduch je vháněn pod píst, jsou čelisti uzavřeny. [12]

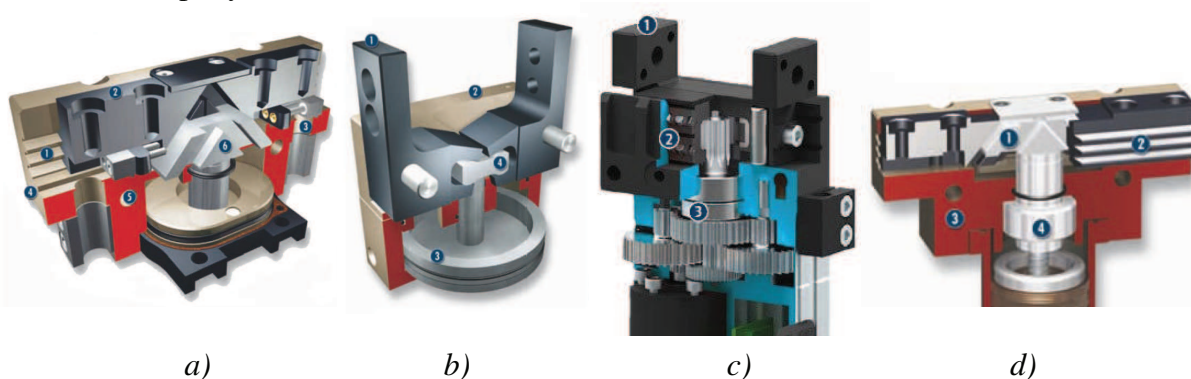
**Pákový převod** je využit jak u paralelních, tak zejména u radiálních a úhlových úchopných koncových efektorů. Přenos energie z pohonného členu na čelisti je zprostředkován buď soustavou pák, nebo vhodně tvarovaným přenosovým elementem umístěným na konci pístnice pneumotoru a vhodně tvarovanými čelistmi. [12]

**Váčkový mechanismus** je s výhodou využíván u radiálních a úhlových chapadel, kdy je nutné zajistit křivočarý pohyb čelistí. [12]

**Ozubené převody** mohou být konstruovány dvěma způsoby. Jeden z nich je použití ozubeného hřebene a pastorku a to u pneumatických chapadel. V tomto případě má chapadlo dva pneumotory, jež každý ovládá jednu čelist. Ozubený hřeben je součástí každé z pístnic motoru. Hřebeny jsou v záběru s jedním pastorkem, čímž je zajištěna synchronizace pohybu čelistí. [12]



**Šroubový mechanismus** převodu pohybu motoru na pohyb čelisti je realizován pomocí pohybového šroubu a matice. Šroub je připojen k elektromotoru a matice k základnám čelistí, tudíž rotační pohyb motoru je tímto spojením transformován na translační pohyb čelistí. [1], [3], [6], [12]



Obr. 3.2.: Chapadla s mechanismem: a) klínovým, b) pákovým, c) ozubeným, d) šroubovým a klínovým [12], [20]

### 3.3. Uchopovací síla

K zajištění bezpečného přemístění objektu je nutné znát sílu, která je potřebná k uchopení objektu. Při pohybu působí na objekt proměnlivé zatížení. Mezi základní síly působící na objekt patří tíhová a síly vyvolané pohybem (setrvačná, odstředivá a dostředivá síla). Součet těchto sil musí být roven třecí síle mezi čelistmi chapadla a objektem, aby bylo dosaženo bezpečného držení a nedošlo ke skluzu objektu. Tlak vyvolaný stiskem objektu musí být nižší, než je dovolené napětí pro daný materiál, z kterého je objekt vyroben. S rostoucí délkou prstu chapadla se snižuje uchopovací síla. [1], [10], [11]

Pro **tíhovou sílu**  $F_G$  působící na objekt platí:

$$F_G = mg \text{ [N]},$$

kde  $m$  je hmotnost objektu v kg,

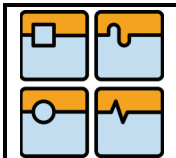
$g$  je tíhové zrychlení ( $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ ).

**Setrvačná síla**  $F_x$  ( $F_y$ ) může být vyvolána zrychlením nebo zpomalením při translačním pohybu chapadla ve vodorovném směru, kde platí:

$$F_x (F_y) = ma_x (a_y) \text{ [N]},$$

kde  $m$  je hmotnost objektu kg,

$a_x$  ( $a_y$ ) je zrychlení nebo zpomalení v ose  $x$  ( $y$ ) v  $\text{ms}^{-2}$ .



Při pohybu chapadla po kruhové dráze působí na objekt **síla dostředivá**  $F_d$ :

$$F_d = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \quad [\text{N}],$$

kde  $m$  je hmotnost objektu v kg,

$v$  je obvodová rychlost na poloměru kruhové dráhy v  $\text{ms}^{-1}$ ,

$r$  je poloměr kruhové dráhy v m,

$\omega$  je úhlová rychlost pohybu po kružnici  $\text{rads}^{-1}$ .

Při rotaci předmětu v neinerciální vztažné soustavě vznikne odstředivá síla  $F_o$ , která je reakcí k dostředivé síle  $F_d$  v inerciální vztažné soustavě, tudíž výpočet je stejný jako pro  $F_d$ . Síla  $F_o$  má opačný směr jako síla  $F_d$ .

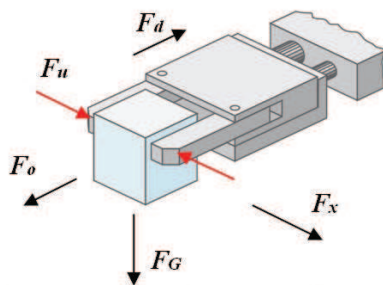
Dále působí **třecí síla**  $F_t$  mezi povrchy objektu a čelisti chapadla:

$$F_t = F_u f \quad [\text{N}],$$

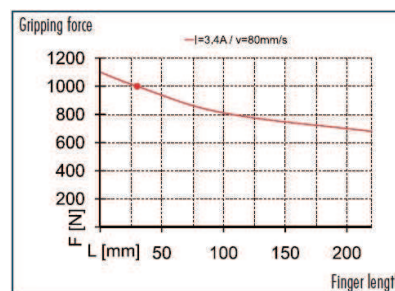
kde  $F_u$  je uchopovací síla čelistí v N,

$f$  je koeficient tření.

Uchopovací síla není konstantní v celém průběhu čelistí. Tato síla je závislá na vzdálenosti od základny čelistí, kdy s rostoucí vzdáleností od základny klesá uchopovací síla. Pokud je známa velikost uchopovací síly, lze určit výkonnost pohonu a typ chapadla pro danou manipulační úlohu. [1], [10], [11]



Obr. 3.3.: Síly působící na chapadlo během translačního i rotačního pohybu [1]



Graf 3.: Závislost uchopovací síly na délce čelistí chapadla [12]

### 3.4. Základní parametry úchopných hlavic

Technické informace o chapadlech se získávají pomocí základních parametrů. Tyto informace jsou nezbytné při zavádění chapadla do pracovního cyklu. Technické parametry jsou k dispozici v katalozích výrobců, v nichž jsou chapadla většinou řazena dle velikosti nebo hmotnosti uchopovaného předmětu. Volbou chapadla o správných parametrech lze získat, ve spojení s průmyslovým robotem, efektivní zařízení pro všechny manipulační aplikace v průmyslu.

#### **Základní parametry pneumatických úchopných hlavíc:**

- doporučená hmotnost objektu [kg]
- min./max. pracovní tlak [bar]
- nominální pracovní tlak [bar]
- posuv čelistí na jednu čelist [mm]
- úhel rozevření čelistí na jednu čelist [°]
- přesnost opakování [mm]
- min./max. teplota okolí [°C]
- stupeň krytí (IP) [-]
- doba otevření/zavření [s]
- hmotnost chapadla [kg]
- moment uzavírání čelistí [N.m]
- spotřeba vzduchu na dvojitý posuv [cm<sup>3</sup>]

#### **Parametry elektrických úchopných hlavíc:**

- posuv čelistí na jednu čelist [mm]
  - min./max. uchopovací síla [N]
  - hmotnost chapadla [kg]
  - doporučená hmotnost objektu [kg]
  - max. dovolená délka čelistí [mm]
  - IP třída [-]
  - min./max. teplota okolí [°C]
  - přesnost opakování [mm]
  - maximální rychlost [mm/s]
  - nominální dodávaný proud [A]
  - maximální dodávaný proud [A]
  - nominální napětí [V]
- [12]

### **3.5. Pneumatické úchopné hlavice**

Pneumaticky řízené úchopné koncové efekty jsou v průmyslu nejvíce využívány. Pohonným členem je přímočarý pneumatický motor. Vpuštěním stlačeného vzduchu pod nebo nad píst je ovládáno otevření či zavření pracovních čelistí, tudíž i uchopení nebo uvolnění manipulovaného předmětu. Vzduch je stlačen na 4 nebo 6 barů. Ovládání je řešeno přes směrový ventil. Přepínání mezi jednotlivými režimy je elektricky řízeno. Pohyb přímočarého pneumotoru je přes převodový mechanismus, např. klínový, vačkový, pákový nebo ozubený, přenášen na čelisti. [12]

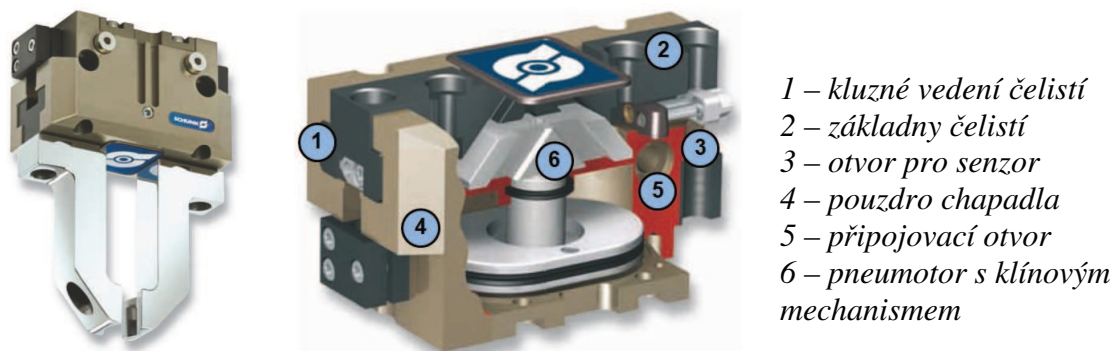
Pneumatické úchopné hlavice jsou v současné době vyráběny primárně v těchto provedeních:

- 2 – čelist'ová paralelní chapadla
- 2 – čelist'ová úhlová chapadla
- 2 – čelist'ová radiální chapadla
- 3 – čelist'ová koncentrická chapadla
- 3 – čelist'ová úhlová chapadla.

Mezi přední výrobce pneumatických úchopných hlavice patří SCHUNK, FESTO, SMC, RÖHM, GIMATIC. [12], [21], [25], [26]

### Paralelní pneumatická chapadla

Tyto úchopné hlavice se vyznačují paralelním pohybem dvou čelistí po přímé dráze. Vedení základen čelistí je kluzné nebo valivé. Převodový mechanismus je v tomto případě velmi často klínový. Použití paralelních dvoučelist'ových chapadel je při manipulaci s objekty, jež mají v ideálním případě dva rovnoběžné povrchy. Způsob uchopení objektu tímto chapadlem umožňuje relativně malé vzdálenosti mezi jednotlivými objekty manipulace. Uchopovací síla není ve všech místech čelisti stejná, ale klesá s rostoucí délkou čelistí. Při porovnání maximálních uchopovacích sil s jinými druhy chapadel dosahují tato chapadla vysokých hodnot. Například 2 – čelist'ové paralelní chapadlo SCHUNK PGN-plus je schopno uchopit objekt silou až 21 000 N. Maximální rozevření čelistí vztahované na jednu čelist se pohybuje od 1 mm do 300 mm. [12], [21], [25], [26]



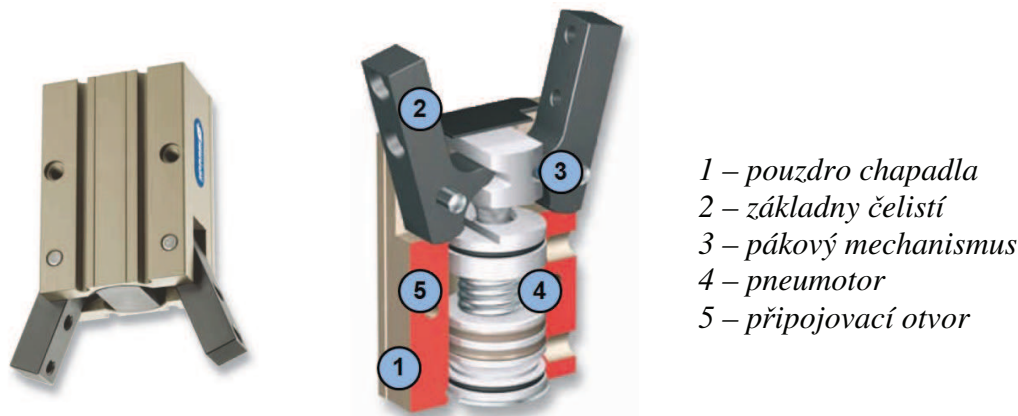
Obr. 3.5.1.: 2-čelist'ové paralelní pneumatické chapadlo SCHUNK JGP s klínovým mechanismem a jeho hlavní části [12]

### Úhlová pneumatická chapadla

Úhlová chapadla jsou typická pohybem čelistí po křivočaré dráze. Charakteristickým parametrem těchto úchopných koncových efektorů je úhel rozevření čelistí na jednu čelist. Hodnoty maximálního rozevření čelistí se pohybují od 8° do 20°, tudíž maximální celkové rozevření čelistí je až 40°. Zde je využíváno pákového nebo vačkového převodového



mechanismu mezi pneumatorem a čelistmi. Úhlová chapadla se třemi čelistmi jsou vhodná zejména při manipulačních úlohách s válcovými předměty. [12], [21]



Obr. 3.5.2.: 2-čelistové úhlové pneumatické chapadlo SCHUNK LGW a jeho hlavní části [12]

### Radiální pneumatická chapadla

Větší rozevření čelistí a tím i širší využití nabízí radiální pneumatické úchopné hlavice. Maximální celkový úhel rozevření je  $180^\circ$ . Nevýhodou tohoto typu chapadla je nutnost velkého prostoru kolem objektu při uchopování, tudíž i zvýšené nároky na prostory pro setříděné objekty. Charakteristickým parametrem je moment uchopení, který dosahuje maximální velikosti kolem 300 Nm. Při použití vhodně tvarovaných konců čelistí se tato chapadla využívají k nabírání předmětů. Tato chapadla jsou vyráběna pouze ve 2-čelistovém provedení. [12], [21]

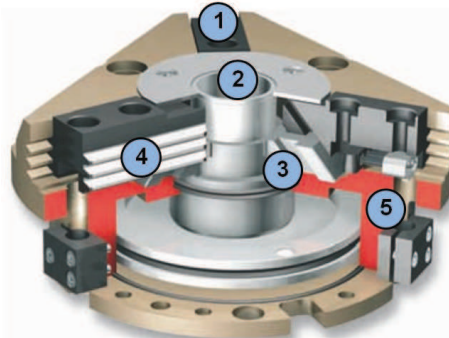


Obr. 3.5.3.: Radiální pneumatická chapadla GIMATIC GX-25S a SCHUNK PRG se speciálně tvarovanými čelistmi [12], [25]

### Koncentrická pneumatická chapadla

Možnost optimálního vystředění nabízejí koncentrická neboli soustředná chapadla. Vystředění je zajištěno uchopením předmětu třemi čelistmi. Velmi časté využití těchto chapadel je při manipulaci s tyčovými předměty s válcovým průřezem, kdy v ose chapadla je otvor k vedení válcové tyče. Při pohybu pístu pneumatorem dolů jsou přes klínový mechanismus synchronně otevírány všechny tři čelisti. Hodnota maximálního celkového rozevření čelistí je 70 mm. [12], [21], [25]





- 1 – základny čelistí  
2 – středový otvor  
3 – pneumotor s klínovým převodem  
4 – kluzné vedení čelistí  
5 – pouzdro chapadla

Obr. 3.5.4.: 3-čelistové koncentrické chapadlo SCHUNK PZB-plus se středovým otvorem a jeho základní části [12]

### 3.6. Elektrické úchopné hlavice

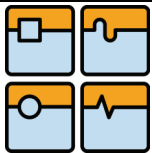
Elektrická chapadla jsou svou konstrukcí podstatně složitější než chapadla pneumatická, protože obsahují elektronické prvky. Pohonným členem ve většině případů je servomotor nebo krokový motor. Tento elektromotor prostřednictvím převodového mechanismu, např. šroubového, klínového nebo ozubeného, způsobuje translační pohyb chapadla. Nutnými součástmi každé elektricky řízené úchopné hlavice jsou senzory a samostatná řídicí jednotka pro chapadlo, která je připojena k řídicímu systému celého robotického zařízení. [12], [26]

Základními částmi elektrického chapadla je elektromotor, převodový mechanismus, řídicí elektronika, rozhraní pro připojení kabelu pro přenos dat a přívod elektrické energie o napětí 24 V. Nezbytnou částí chapadla je enkodér pro precizní nastavování pozice čelistí. Obvykle jsou v chapadle použity dva převodové mechanismy, kdy jeden transformuje rotační pohyb od elektromotoru na pohyb translační a druhý způsobuje rozevření čelistí. Pro převod rotačního pohybu na přímočarý je použit šroubový mechanismus realizovaný pohyblivým šroubem a maticí. [12], [26], [27]

Obecně tento typ chapadel pracuje s menšími uchopovacími silami než pneumatické úchopné hlavice. Jako u všech úchopných hlavice se uchopovací síla zmenšuje s rostoucí vzdáleností od základny čelistí. Avšak největší předností elektrických chapadel je přímé nastavování rozevření čelistí a tím i řízení velikosti síly, jakou čelisti působí na manipulovaný objekt. [12], [26], [27]

Tyto úchopné koncové efekty nejsou nabízeny na trhu v tak rozmanitých provedeních jako pneumaticky řízená chapadla. V současné době jsou vyráběny typy:

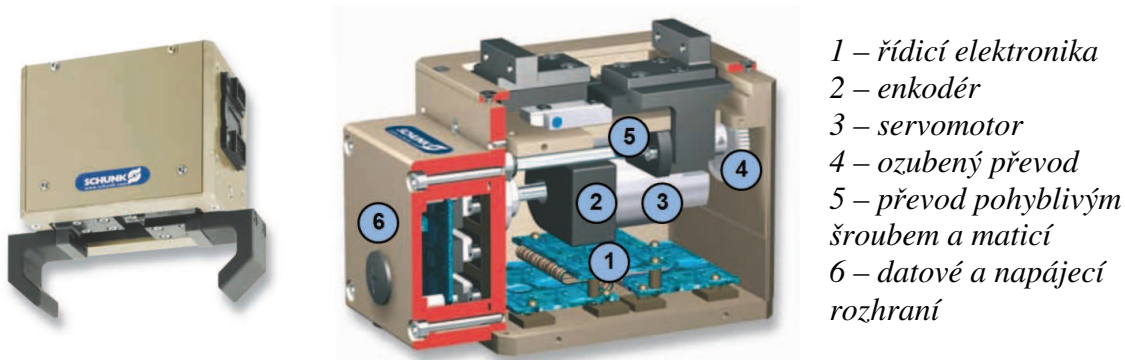
- 2 – čelistová paralelní chapadla
- 3 – čelistová koncentrická chapadla.



Hlavními výrobci elektrických úchopných hlavíc jsou SCHUNK, SMC, DESTACO. [12], [26], [27]

## 2 – čelist'ová paralelní elektrická chapadla

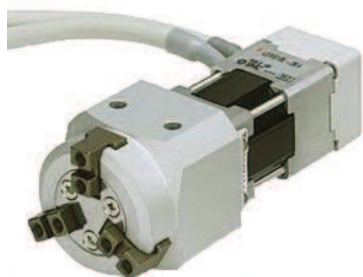
Funkce těchto elektrických chapadel je obdobná jako u paralelních pneumatických chapadel s tím rozdílem, že čelisti jsou ovládány elektromotorem a může být dosažena menší maximální uchopovací síla. Tato maximální uchopovací síla se pohybuje kolem 1 800 N (chapadlo SCHUNK PEH). Čelisti jsou vedeny v kluzném vedení nebo prostřednictvím valivých elementů. Ve většině případů je zde využit převod pomocí pohybového šroubu a matice kombinovaný s klínovým nebo ozubeným převodem. [12], [26], [27]



Obr. 3.6.1.: 2-čelist'ové paralelní elektrické chapadlo SCHUNK PG a jeho hlavní části [12]

## 3 – čelist'ová koncentrická elektrická chapadla

Elektricky řízená chapadla, která jsou schopna vystředit objekt manipulace uchopením ve třech místech. U těchto chapadel je využito výhradně šroubového a klínového mechanismu. Všechny tři čelisti se opět pohybují synchronně, jako je tomu u pneumatických koncentrických úchopných hlavíc. Chapadlo může být upraveno tak, že pro připojení k manipulačnímu zařízení je využito šroubového spoje (chapadlo SCHUNK EZN). U chapadla SCHUNK EZN 100 je maximální uchopovací síla 800 N a šířka rozevření čelistí na jednu čelist 10 mm. [12], [26], [27]



Obr. 3.6.2.: Koncentrické elektrické chapadlo SMC LEHS [26]



Obr. 3.6.3.: Koncentrické elektrické chapadlo SCHUNK EZN [12]

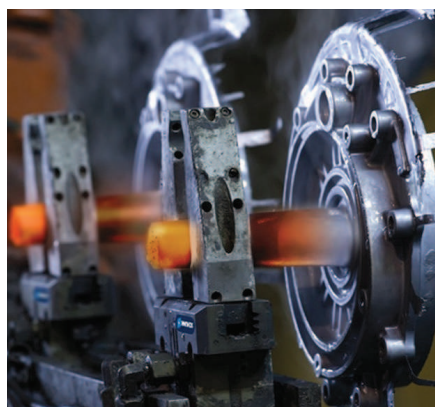
### 3.7. Vybrané oblasti používání úchopných koncových efektorů

K manipulování s objekty dochází ve všech oblastech průmyslu. Úchopné hlavice lze využít jak k obyčejnému přemísťování, tak k paletizaci nebo montáži. Tyto operace se nejčastěji vykonávají při normálních podmínkách, ale chapadla tomu uzpůsobená jsou schopna pracovat za velmi vysokých nebo nízkých teplot nebo v prašném prostředí. Pro přepravování předmětů je důležitá paletizace. Objekty jsou pravidelně umístěvány na paletu a následně baleny. [1], [12], [20]

Jednou z oblastí, kde je úchopná hlavice vystavena velmi vysoké teplotě, je slévárství. Chapadlo má za úkol manipulovat s odlitky, které mají velmi vysokou teplotu. Pomocí manipulačního zařízení s chapadlem pro použití při extrémních podmínkách dochází postupně k vyjmutí odlitku z formy a následně k ponoření do ochlazovací lázně. Tato chapadla jsou odolná i proti velkým teplotním rozdílům. Těmto podmínkám je schopné odolat pouze pneumaticky řízené chapadlo. [1], [12], [20]

Další oblastí použití je montáž. Při montáži se využívá mnoha typů chapadel, např. podtlakových, pneumatických i elektrických. Výroba automobilů je typickým místem použití montážních úchopných hlavic. Při montáži spalovacího motoru je použito pneumatického chapadla s vysokou hodnotou uchopovací síly pro manipulaci s blokem motoru. Další použití je lepení čelního skla ke konstrukci auta pomocí rámové konstrukce s podtlakovými úchopnými hlavicemi. [1], [12], [20]

Specifickou oblastí použití chapadel je manipulace v čistém prostředí. Chapadla, použitá v laboratořích nebo při zacházení s potravinami, musí splňovat nutné laboratorní nebo hygienické normy. V laboratořích je manipulováno často s křehkými a miniaturními objekty. S výhodou se zde využívá elektrických nebo podtlakových chapadel. [1], [12], [20]



a)




b)



c)

Obr. 3.7.: Příklady využití úchopných hlavic: a) manipulace s odlitky [20], b) manipulace s blokem motoru [20], c) manipulace s potravinami [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 4. Výhody a nevýhody elektrických a pneumatických chapadel

U pneumaticky a elektricky poháněných úchopných hlavice existuje řada výhod, kvůli kterým jsou tyto hlavice aplikovány při konkrétních manipulačních úlohách, ale i jistých nevýhod, které limitují jejich použití.

### 4.1. Výhody a nevýhody elektrických chapadel

Elektrické pohony dovolují výborné ovládání úchopné síly a pohybu. Další výhodou jsou nízké provozní náklady. Kompaktní konstrukce elektromotoru a zvyšující se účinnost má čím dál tím větší význam pro dnešní aplikace. Výhodou je i čistota provozu, proto elektrická chapadla mohou být nasazena v čistých prostorách. Zdrojem energie pro činnost úchopné hlavice je elektřina, tudíž odpadá nutnost dalšího pohonného média pro celé robotické zařízení. [1], [9], [12]

Obecnou nevýhodou elektrických zařízení je nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Také hmotnost samotného úchopného zařízení je v porovnání s ostatními druhy chapadel větší. Nutnost samostatné řídicí jednotky pro chapadlo a nutnost použití senzorů se podepisuje na vyšší pořizovací ceně. Tyto úchopné hlavice nelze používat při vysokých teplotách, kdy hrozí nebezpečí natavení elektronických částí. [1], [9], [12]

### 4.2. Výhody a nevýhody pneumatických chapadel

Pneumatická chapadla jsou známa svou jednoduchostí, dlouhou životností a lehkou dostupným pohonným médiem (stlačený vzduch). Pneumatika umožňuje kompaktní krytování pohonné části. Pneumaticky řízená chapadla jsou schopna pracovat v extrémních podmínkách např. při chlazení u odlévání nebo v prašném prostředí při broušení. Tyto úchopné hlavice spolehlivě fungují v elektrickém nebo magnetickém poli. Další výhodou jsou rychlé časy otevírání a zavírání. Je dosaženo větší maximální uchopovací síly než u elektrických úchopných hlavice. V porovnání s ostatními typy chapadel, pneumatická lze pořídit za nižší pořizovací cenu. [1], [9], [12]

Nevýhodou je poněkud znečištěný vzduch, který je prostřednictvím jednotky na úpravu vzduchu mazán rozstříkovaným olejem a po odvedení práce vypuštěn z chapadla do ovzduší. Vzduch musí být vždy filtrován, kdy filtry jsou součástí jednotek na úpravu vzduchu. Tyto koncové efekty běžně vyžadují ustalovač pro dojezd čelistí na koncovou polohu, aby nedošlo k poškození chapadla. Čelisti se pohybují příliš tvrdě do koncové polohy. Ovládání je omezeno na otevření a zavření čelistí, tudíž nelze nastavovat velikost rozevření čelistí a tím i sílu uchopení. Chapadla s tímto pohonem obtížně udržují rovnoměrný pohyb čelistí při nízkých rychlostech. Hlučnost je vyšší než u ostatních typů pohonů. Také provoz je

poměrně drahý u takto poháněných chapadel, protože výroba stlačeného vzduchu je asi sedmkrát dražší než výroba elektřiny.[1], [9], [12], [21]



Obr. 4.2.: Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu FESTO MS9 [21]

Tab. 4.: Porovnání výhod a nevýhod elektrických a pneumatických chapadel [1], [9], [12]

	ELEKTRICKÁ CHAPADLA	PNEUMATICKÁ CHAPADLA
OVLADATELNOST	+	-
MAX. UCHOPOVACÍ SÍLA	-	+
JEDNODUCHOST KONSTRUKCE	-	+
ČISTÉ PROSTŘEDÍ (laboratoře)	+	-
EXTRÉMNÍ PROSTŘEDÍ (vysoké i nízké teploty, vlhkost)	-	+
ZNEČIŠTĚNÉ PROSTŘEDÍ (lakovny, prašné prostředí)	-	+
PRÁCE V MAG. A EL. POLI	-	+
POŘIZOVACÍ CENA	-	+
HLUČNOST	+	-

## 5. Speciální moduly úchopných koncových efektorů

Tyto speciální moduly a jednotky, které se připojují k úchopným hlavicím, ve velké míře zvyšují flexibilitu a adaptabilitu celého robotického zařízení a tím jsou řešením pro více průmyslových aplikací. Mezi základní příslušenství, které výrobci chapadel poskytují, patří kompenzátory, rotační a otočné jednotky a moduly pro automatickou výměnu chapadla.

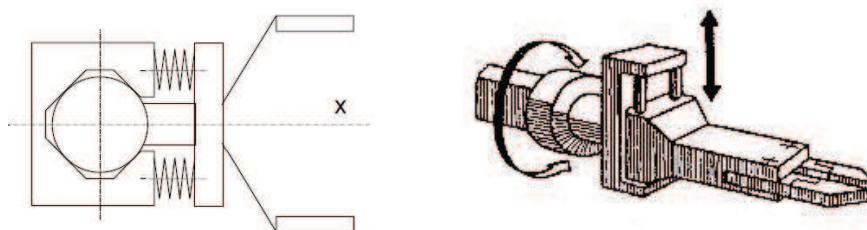
### 5.1. Kompenzátory

Kompenzátory jsou mechanické moduly, které především odstraňují pracovní a geometrické nepřesnosti polohy vzájemných částí ve vztahu rameno robotu – zápěstí robotu – koncový efektor – předmět, vyskytující se zejména při předávání objektů mezi průmyslovým robotem a výrobním strojem nebo manipulačním zařízením a upínacím přípravkem. Princip činnosti je založen na poddajném chování kompenzátoru, kdy vzniká přizpůsobení čelistí chapadla daným úchopným plochám předmětu. [6], [8], [10]

Poddajné chování kompenzátoru je zajištěno pomocí:

- pryžové bloky (silentbloky)
- pružiny
- membrány
- vlnovce.


Součástí kompenzátoru mohou být i přídavné translační osy, které umožní posuv koncového efektoru v ose kolmé na osu chapadla. Tyto posuvy se využívají u kompenzátorů připojených k jednoduchým robotickým zařízením s nižším stupněm volnosti. [6], [8], [10]



Obr. 5.1.: Příklad kompenzátoru s pružinami a kulovým čepem a kompenzátor s přídavnou translační osou [6]

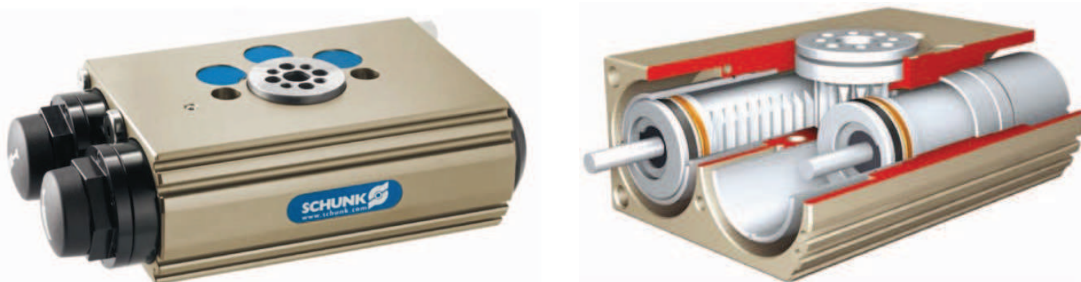
### 5.2. Rotační moduly

Rotační moduly přidávají koncovému efektoru další stupeň volnosti v podobě rotačního pohybu. Pohyb je realizován pomocí mechanismu, který je elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky poháněn. [20]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pneumaticky poháněné rotační jednotky jsou vybaveny dvěma přímočarými pneumatickými motory, jejichž píst je opatřen ozubeným hřebenem. Toto ozubení zabírá s ozubeným kolem, které je mezi oběma písty. Ozubené kolo je součástí příruby, která se připojuje ke koncovému efektoru. Při pohybu pístů proti sobě dochází k rotaci výstupní příruby. Díky tomuto modulu je chapadlo schopno rotace až  $180^\circ$  s možností nastavení odchylky od koncové polohy  $3^\circ$ . Hydraulicky poháněné rotační moduly pracují na stejném principu s použitím kapalného pracovního média. [20]

Rotační jednotky s elektrickým pohonem jsou konstruovány na bázi statoru a rotoru. Další komponentou je brzda, která ovládá pohyb rotace. Tato jednotka je programovatelná, tudíž lze nastavit libovolný úhel otočení koncového efektoru. Jednotka je schopna pracovat s vysokou přesností až  $0.01^\circ$ . [20]



Obr. 5.2.: Rotační jednotka SCHUNK SRU-plus a řez touto jednotkou [20]

### 5.3. Moduly pro automatickou výměnu efektorů

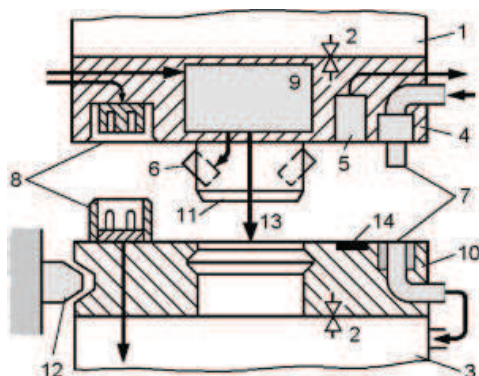
Pro manipulaci s objekty s různými parametry, mezi které patří např. geometrie, vlastnosti povrchu, vlastnosti materiálu, je zapotřebí několika chapadel. Při použití jednoho manipulačního zařízení, např. průmyslového robotu, je nutná výměna úchopné hlavice. Tuto výměnu lze provádět ručně, kdy je průmyslový robot zastaven. Tímto se zvyšuje doba pro manipulaci. Další možností výměny chapadla je automatická výměna za použití modulu pro automatickou výměnu úchopné hlavice. [3], [7], [11], [12], [20]

Tento přídatný modul je v dnešní době hojně využíván, kdy je kladen velký důraz na flexibilitu zařízení a zkrácení pracovního procesu. Jedná se o rozhraní mezi přírubou robotického zařízení a chapadlem, které umožňuje velmi jednoduše a bezpečně oddělit chapadlo od průmyslového robotu. Výměna chapadla trvá 2 až 7 sekund, záleží na velikosti a hmotnosti chapadla. [3], [11], [12], [20]

Modul je rozdělen na dvě části, z nichž jedna je připojena na koncovou přírubu průmyslového robotu a druhá je napojena k úchopné hlavici. Tímto vznikne rozhraní, které obsahuje prvky pro mechanické spojení, konektory pro spojení kanálu pro energii a kanálu pro data. Další součástí je senzor pro měření vzdálenosti obou částí modulu při připojování



nebo odpojování chapadla. Nezbytný je i elektricky ovládaný mechanický zámek, který zabezpečí připojení obou částí modulu. [3], [11], [12], [20]



Obr. 5.3.1.: Schéma rozhraní mezi částmi modulu [3]



Obr. 5.3.2.: Modul pro automatickou výměnu úchopné hlavice SCHUNK SWS [20]

## 5.4. Otočné jednotky

Otočné jednotky jsou další komponentou, která je připojována mezi koncovou přírubu robotického ramene a úchopnou hlavici. Tato jednotka umožňuje připojení několika chapadel k jednomu výstupu průmyslového robotu (obvykle 2 - 6). Místa pro připojení hlavice jsou navzájem pootočená, aby nedocházelo ke kolizi chapadel. Přeměna připojených hlavic trvá méně než jednu sekundu. [1], [3], [20]

Podle počtu rozhraní se otočné jednotky dělí do dvou skupin:

- jednotka s dvěma rozhraními
- revolverová jednotka

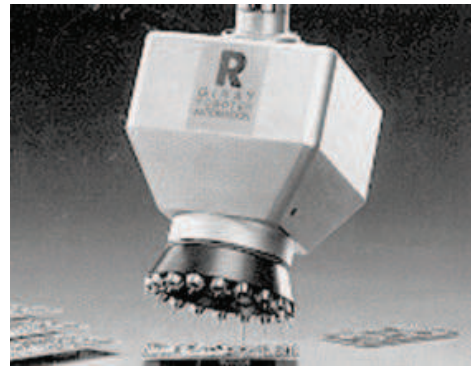
Pro většinu aplikací je postačující použití rotační jednotky s dvěma rozhraními pro umístění chapadel. Revolverová otočná jednotka obsahuje několik míst pro uložení chapadel. Tato místa jsou na obvodu revolverové hlavy. Chapadla jsou schopna pracovat nezávisle jedno na druhém. [1], [3], [20]

Použitím těchto jednotek odpadá nutnost odpojení úchopné hlavy při změně parametrů manipulační úlohy. Tím je zajištěna vyšší flexibilita a nižší hodnota doby pracovního cyklu. Také je zvýšen stupeň volnosti celého robotického systému. Časté využití je při činnosti čtyřosého robotu (např. paletizační robot), kdy je třeba objekt otočit do horizontální polohy. [1], [3], [20]





Obr. 5.4.1.: Otočná jednotka SCHUNK SKE pro 2 chapadla [20]



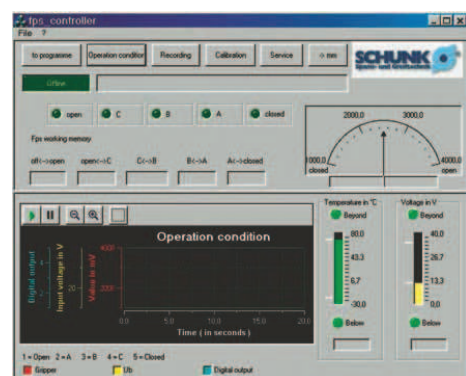
Obr. 5.4.2.: Revolverová hlava firmy Giray Roboter Automation [3]

### 5.5. Soustavy pro měření úchopné síly v čelistech chapadel

Dalším speciálním přídatným modulem je modul pro přímé měření sil působící na čelisti chapadla. Základem systému je měřící komponenta, která je umístěna mezi základnu čelisti a samotnou čelist. Součástí komponenty je senzor měřící napětí, které vznikne deformací čelistí při uchopení objektu. Tyto deformace jsou převáděny procesorem na analogový signál, vyjadřující velikost působící síly. Na procesoru je vestavěný LCD displej pro přímé odečtení síly působící na předmět. K tomuto modulu je dodáván i počítačový software ke sledování spojitého průběhu síly (dle firmy SCHUNK). [12]



Obr. 5.5.1.: Chapadlo s měřící soustavou SCHUNK FMS [12]



Obr. 5.5.2.: Softwarové rozhraní firmy SCHUNK [12]

## 6. Možnosti řízení pneumatických a elektrických chapadel

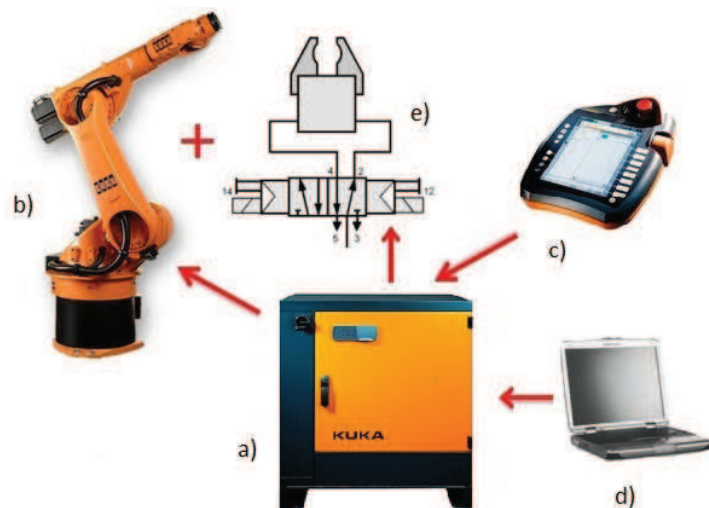
V dnešní době si fungování moderních robotických systémů bez sensorové techniky nelze představit. Řízení koncového elektrického chapadla může být realizováno pouze za použití senzorů. Řízením je zahrnuto monitorování pohybu chapadla nebo také synchronizace mezi úchopnou hlavicí s manipulovaným předmětem. Ovládání je vykonáváno přes programovatelný automat, který je napojen přímo na řídicí jednotku robotu. Je využíváno logického řízení na bázi vstupů a výstupů (I/O). Řízení je chápáno jako ladění PD nebo PID regulátoru. Ladění je vykonáváno pomocí zpětné vazby (feedback).

Mezi řízené funkce chapadla zejména patří:

- uchopovací síla a rychlost uchopení
- pozice a orientace objektu mezi čelistmi
- síly a momenty během manipulace
- identifikace místa uchopení (tj. snímání přítomnosti objektu manipulace)
- teplota chapadla [1], [3]

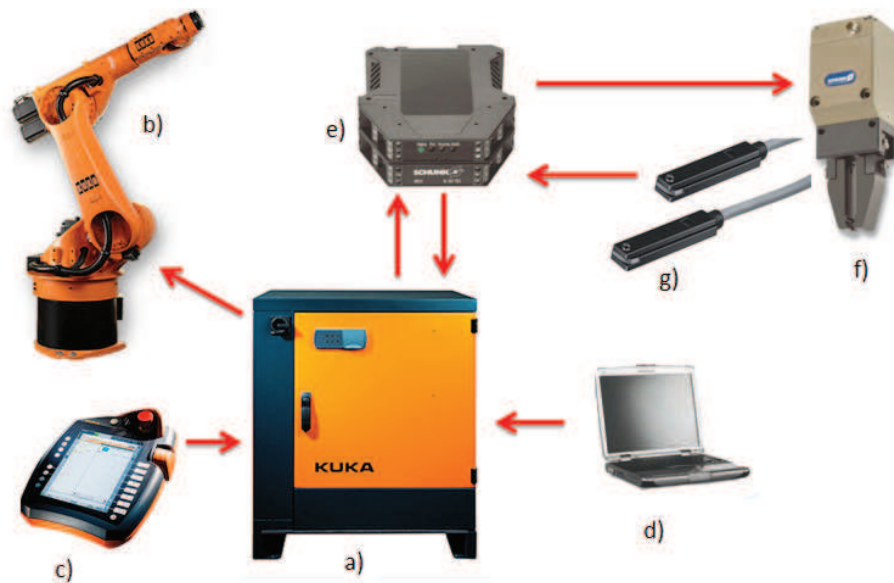
### 6.1. Principy řízení pneumatických a elektrických úchopných hlavic

Řízení pneumatických úchopných hlavic je omezeno pouze na otevření a zavření uchopovacích čelistí. Ovládání je odlišné pro chapadla s jedním nebo s dvěma přímočarými pneumatory nebo přímočarými hydromotory. Základním prvkem pro ovládání sevření/rozevření prstů je šoupátkový rozvaděč elektricky ovládaný. Přestavováním polohy šoupátka rozvaděče dochází k ovládání směru toku vzduchu na píst pneumaturu. Tím se mění pracovní objem válce pneumaturu respektive zdvih pístu. Tato velikost zdvihu přímo ovlivňuje šířku rozevření čelistí. Při toku vzduchu nad píst chapadla se čelisti otevírají, při vyplnění prostoru pod pístem stlačeným vzduchem se čelisti zavírají. [3], [12]



Obr. 6.1.1.: Schéma řízení pneumatické úchopné hlavic – a) řídicí systém, b) průmyslový robot, c) teach-pendant, d) PC, e) pneum. chapadlo s rozvaděčem [1], [12], [15]

Pro řízení elektricky ovládaných chapadel je přímo výrobcem dodávána ovládací jednotka, která je připojena k chapadlu a zároveň k řídicí jednotce celého průmyslového robotu. Řídicí jednotka vyhodnocuje signály ze senzorů, jako jsou např. signály z ultrazvukového senzoru pro určení polohy předmětu nebo signály z CCD kamery, a přímo řídí činnost pracovních čelistí. Součástí úchopné hlavice je elektromotor, který prostřednictvím mechanismu ovládá rozevírání čelistí. Pohonnou jednotkou je ve většině případů servomotor nebo krokový motor kvůli jejich jednoduché regulaci a malým rozměrům. [3]




Obr. 6.1.2.: Schéma řízení elektrického chapadla – a) řídicí systém, b) průmyslový robot, c) teach-pendant, d) PC, e) řídicí jednotka chapadla, f) el. chapadlo, g) senzory [12], [15]

## 6.2. Snímače připojované k úchopným hlavicím

Senzory jsou nezbytnou součástí úchopných hlavicí, hlavně elektricky řízených. Pomocí snímačů se získávají informace o stavu robotického zařízení a prostředí, ve kterém se nachází. V případě senzorů je měřena určitá fyzikální veličina, která je posléze převedena na elektrický signál. Tento signál je dále veden do řídicího systému, kde je zpracován. [3], [4], [12]

Senzory lze rozdělit do dvou hlavních kategorií a to na dotykové a bezdotykové senzory. U dotykových snímačů je požadována síla nebo krouticí moment působící přímo na snímač, aby byl schopen něco zaznamenat. Bezdotykové senzory jsou v provozu v určité vzdálenosti od měřeného objektu. Tyto senzory se dají dále rozdělit na senzory pro měření síly nebo momentu a na senzory, které slouží k ovládní spouštění mechanismu. Do bezdotykových snímačů jsou zařazeny např. optické nebo indukční senzory. [3], [4], [12]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Při manipulačních úlohách jsou k úchopným hlavicím zejména připojovány tyto typy senzorů:

- bezdotykový indukční senzor
- bezdotykový magnetický snímač a jazýčkový (reed) snímač
- optický senzor
- ultrazvukový senzor
- taktilní senzor

**Indukční senzor** je použitelný pouze pro elektricky vodivé materiály. Funkce je založena na činnosti vysokofrekvenčního střídavého elektromagnetického pole, které je produkováno oscilátorem senzoru. Pokud vstoupí kovový předmět do tohoto magnetického pole, částečně pohltí energii mag. pole. Tento pokles je zaznamenán řídicí jednotkou a senzor je aktivní. Velmi častým případem je připojení těchto snímačů do koncových poloh čelistí, aby byl zaznamenán dojezd čelistí do koncové polohy. Dalším uplatněním je monitorování rotačních a otočných modulů chapadla. [3], [4], [12], [24]

Dalším běžně využívaným senzorem je **magnetický senzor**. Tento senzor reaguje na magnetické pole. Princip funkce je založen na Hallově jevu, kdy magnetické pole kolmé na směr elektrického proudu vychyluje nosiče elektrického proudu, tudíž vznikne mezi konci vodiče rozdíl el. proudu. Opět je tento rozdíl vyhodnocen řídicí jednotkou. Využívá se pro obdobné účely jako indukční senzor. Výhodou jsou značně menší rozměry a snadné připojení k chapadlu. [3], [4], [12]

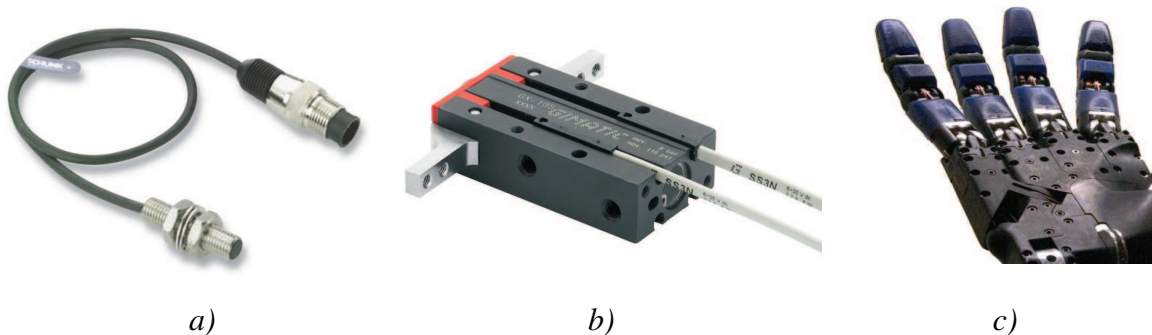
**Jazýčkové (reed) snímače** jsou mechanické bezdotykové snímače, které jsou nasazovány ve stejných případech jako magnetické senzory, s výhodou nižší pořizovací ceny. Základní částí senzoru jsou dva feromagnetické kontakty, které jsou působením mag. pole ohnuty. Ohyb zapříčiní spojení kontaktů a sepnutí senzoru. [3], [4], [12]

**Optické senzory** jsou založeny na principu optické závory, kdy optický přijímač absorbuje světlo vysílané z emitoru. Tyto dvě části mohou být uloženy na stejném místě. Při odražení paprsku světla od předmětu je částečně pohlcena jeho energie předmětem. Rozdíl energií vyslaného a přijatého paprsku je zpracován řídicí jednotkou. Tyto senzory jsou využívány pro měření vzdáleností. Použití je možné pouze v čistých prostředích a při práci s předměty s vhodným povrchem pro odraz paprsku. [3], [4], [12]

Dotykové **taktilní senzory** jsou schopny zaznamenat sílu uchopení nebo jednoduše, zda je dotyk realizován. Taktilní čidla jsou integrovány přímo do čelistí chapadla. Oblast využití je zejména při konstrukci robotických pětiprstých chapadel zastupujících funkci lidské ruky. [3], [4], [12]

**Senzory využívající princip ultrazvuku** jsou nasazovány při potřebě měření vzdálenosti, např. při určení polohy, do které se má chapadlo přemístit. Tyto senzory jsou příbuzné optickým sensorům, jen zde nejsou kladeny nároky na specifické vlastnosti měřeného objektu a na čistotu prostředí, tudíž použití ve znečištěném prostředí je velmi časté. [3], [4], [12]

Pro měření dalších parametrů jako jsou např. přítomnost podtlaku, teplota nebo vodivost objektu manipulace, jsou připojovány k chapadlu další speciální senzory. [3], [24]



Obr. 6.2.: a) indukční senzor, b) chapadlo GIMATIC s mag. senzory, c) robotická ruka s taktilními snímači [12], [25], [30]

### 6.3. Řídicí systémy

Základním zařízením, které je potřebné k chodu a ovládání průmyslového robotu, je řídicí systém. Tento systém je programovatelný a tím umožňuje široké uplatnění pro automatizované technologické procesy. Řídicí systém je uložen ve skříni a obsahuje dvě základní části, jednotku pro ovládání a napájecí jednotky. Uvnitř skříně je integrován chladicí systém, aby bylo zamezeno stavu přehřátí. Na skříni musí být umístěn nouzový vypínač pro okamžité zastavení celého zařízení při hrozícím nebezpečí. [11], [15], [16], [23]

Ovládací jednotka je odpovědná za řízení pohybu robotu, tudíž za řízení motorů, které pohání osy robotu. Další funkcí je vyhodnocování informací, které jsou přijaty ze sensorů v podobě elektrických signálů. Součástí této jednotky je základní deska, na které je uložen mimo jiné procesor nebo paměťová karta, ve které je uložen program, dle kterého je řízen daný proces. Program je sestaven v programovacím jazyce, který je specifický pro každého výrobce, např. roboty od firmy KUKA jsou programovány v KRL jazyce a roboty ABB v jazyku RAPID. Napájecí jednotka slouží k zajištění dodávky elektrické energie ke komponentám robotu, jako jsou motory, senzory, koncové efekторы. [11], [15], [16], [23]

Na zadní straně řídicího systému je rozhraní pro připojení k dalšímu zařízení (koncový efektor, senzory, motory, PC, teach-pendant, atd.). Každý systém je charakteristický počtem vstupů a výstupů, které mohou být připojeny. Řídicí systém firmy ABB IRC5 má vestavěné rozhraní pro 16 vstupů a 16 výstupů. [11], [15], [16], [23]



*Obr. 6.3.1.: Řídicí jednotka ABB IRC5 [16]      Obr. 6.3.2.: Řídicí systém KUKA KR C4 [15]*

Pro komunikaci mezi člověkem a řídicím systémem respektive celým robotickým zařízením slouží ovládací panel – teach-pendant. Díky tomuto zařízení je člověk schopen naprogramovat robot nebo ho přímo ovládat. Součástí tohoto ovladače jsou tlačítka, které umožňují zadávat příkazy do řídicího systému. Novinkou jsou teach-pendanty s dotykovým displejem a USB rozhraním. [11], [15], [16], [23]



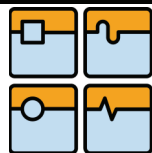
*Obr. 6.3.3.: Klasický teach-pendant KUKA KR C2 [31]*

*Obr. 6.3.4.: Teach-pendant s dotykovým displejem KUKA SMARTPAD [15]*

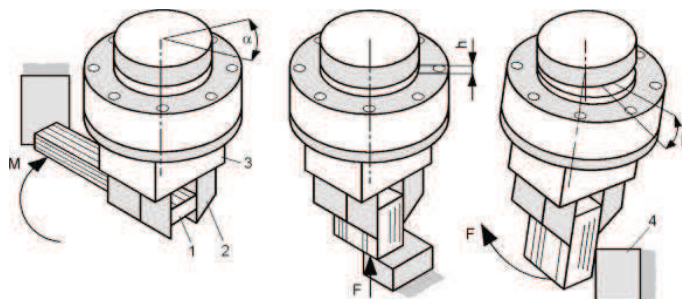
## 6.4. Bezpečnost při řízení

Při manipulačním procesu musí být dodržena bezpečnost obsluhy a provozovaných komponent robotizovaného pracoviště. Při manipulaci s předmětem hrozí nebezpečí, které mohou způsobit škody na vlastním robotu a okolních periferních zařízeních nebo dokonce způsobit zranění obsluhy pracoviště nebo procházejících osob okolo. Nebezpečí kolize koncového efektoru s okolním prostředím je nejčastěji způsobeno nesprávným naprogramováním pohybů robotu nebo vniknutím cizího předmětu do pracovního prostoru robotu. Dalším nebezpečím je uvolnění předmětu ze sevření čelistí chapadla při poruše dodávky pohonného média pro chapadlo. Pro zamezení těchto situací jsou používány bezpečnostní prvky. Tyto prvky lze rozdělit na prvky pro detekci kolize a prvky, které zajišťují bezpečnost při poruše dodávky energie. [1], [3], [11]

Proti poškození koncového efektoru při kolizi se používají moduly, které jsou schopny pootočení, zasunutí a naklápění. Při velkém nárazu, který není zcela ztlumen modulem, působí velké odporové síly působící na manipulovaný předmět. Tyto síly sepnou snímače a ty

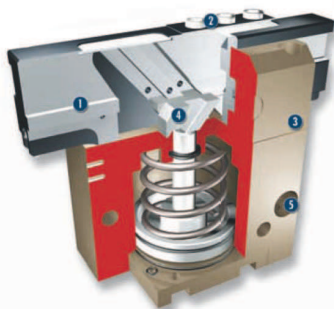


dají pokyn řídicí jednotce nouzově zastavit manipulační zařízení. Moderní jednotky proti kolizi jsou nastavitelné a po překonání nárazu se opět ustaví do původní polohy. [3], [11]



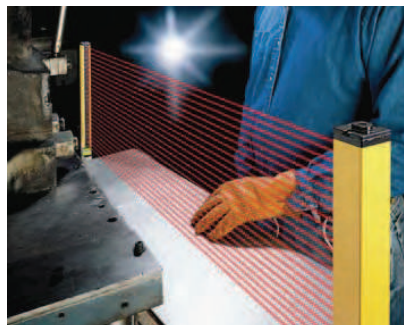
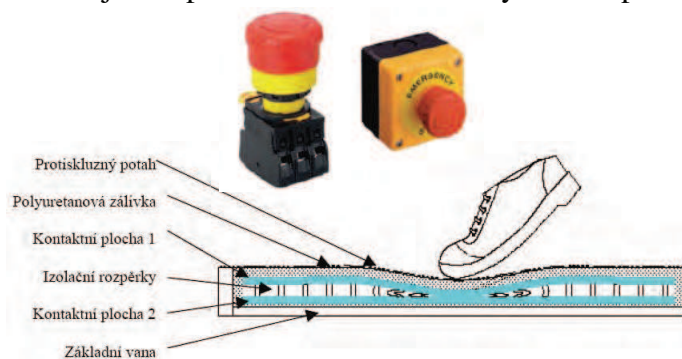
Obr. 6.4.1.: Schéma funkce modulu pro detekci kolize [3]

Při přerušení dodávky energie pro chapadlo lze využít bezpečnostní pružinu, která je nasazena na pístnici přímočarého pneumotoru. Silou od pružiny, která tlačí píst pneumatického chapadla do zavřené pozice, je zajištěno stálé zavření čelistí, čímž je zamezeno nebezpečí upuštění předmětu. Pokud síla od pružiny nestačí k zajištění sevření předmětu, je použit škrťací ventil umístěný na pneumatickém motoru. Při přerušení dodávky stlačeného vzduchu je ventil uzavřen a tím je zamezeno ucházení vzduchu z válce. [1], [3], [11]



Obr. 6.4.2.: Chapadlo SCHUNK PGF opatřené bezpečnostní pružinou [12]

Obecně je bezpečnost při činnosti robotického zařízení zajišťována nouzovým vypínačem, který umožní nouzové zastavení celého zařízení. K zamezení vstupu člověka nebo vniknutí předmětu do pracovního prostoru robotu jsou aplikovány pevné zábrany nebo modernější bezpečnostní světelné závory či nášlapné rohože. [11]



Obr. 6.4.3.: Bezpečnostní prvky – nouzový vypínač, nášlapná rohož a světelná závora [11]



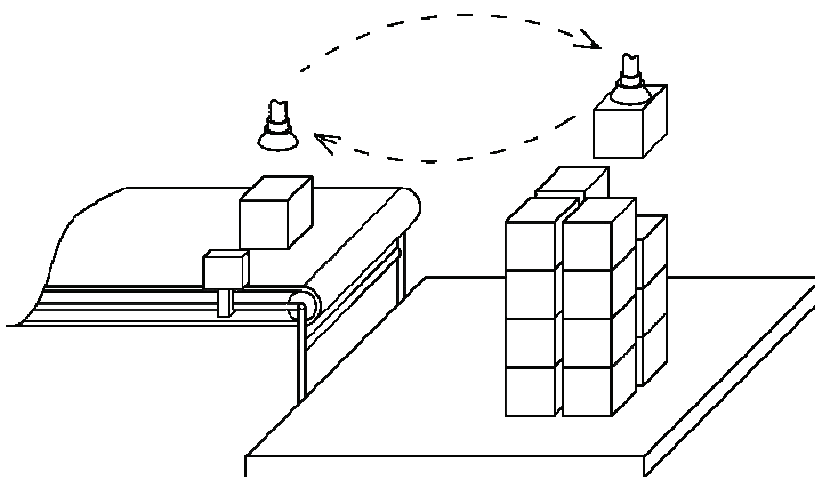
## 7. Manipulační úloha

Praktickou částí této bakalářské práce je vytvořit program pro robot KUKA pro zadanou manipulační úlohu. Program pro ovládání robotu je specifický pro každého výrobce. Firma KUKA využívá k řízení svých robotů programovací jazyk KRL. Pro tvorbu tohoto programu je velmi vhodné sestavení vývojového diagramu (flow chartu), podle kterého lze následnou manipulační úlohu převést do programovacího jazyku.

### 7.1. Zadání manipulační úlohy

Pomocí dostupného robotu KUKA a úchopných hlavic SCHUNK vytvořit demonstrační manipulační úlohu. Tato manipulační úloha je založena na paletizaci předmětů, které jsou dopravovány pásovým dopravníkem. Průmyslový robot uchopí dopravovaný objekt v poloze, která je snímána pomocí optického senzoru umístěného na pásovém dopravníku. Poté je objekt prostřednictvím robotu otočen o 90° kolem svislé osy a umístěn na místo uložení.

Jako objekt manipulace je zde zvolena plastová krychle o hraně 40 mm. Za celý jeden paletizační cyklus je přemístěno 16 plastových krychliček a tím je vytvořen rastr 2x2x4. Po paletizaci je koncový efektor přemístěn do počáteční polohy.



Obr. 7.1.: Schéma manipulační úlohy

### 7.2. Popis robotizovaného pracoviště

Robotizované pracoviště pro tvorbu manipulační úlohy je sestaveno z:

- průmyslového robotu KUKA KR 3
- řídicího systému KUKA a teach-pendantu
- podtlakové úchopné hlavice s kompenzační jednotkou

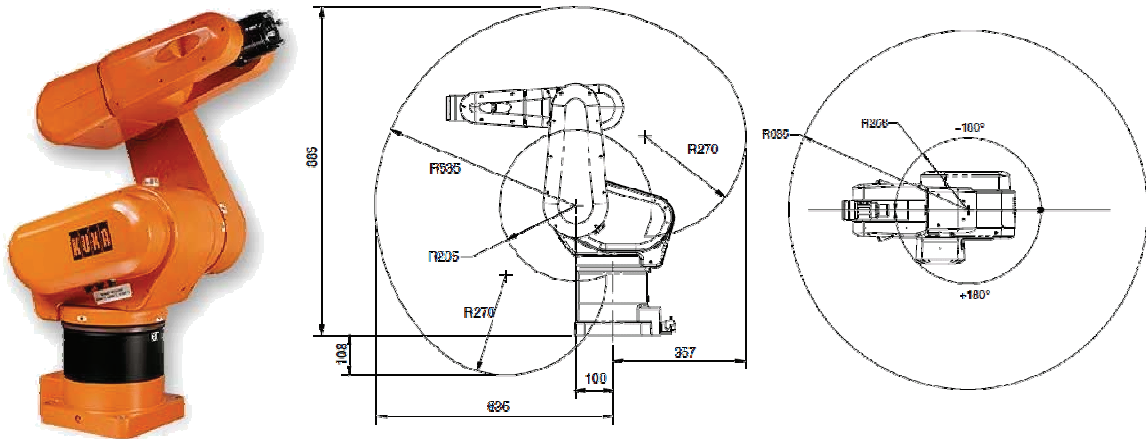




## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

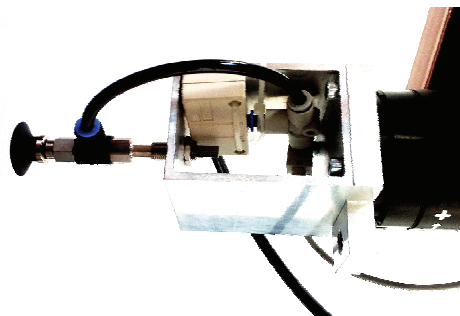
- vzduchového kompresoru
- pásového dopravníku
- osobního počítače
- optického senzoru
- senzoru pro detekci podtlaku

Průmyslový robot KUKA KR 3 je robot se šesti stupni volnosti. Jeho maximální nosnost je 3 kg, maximální dosah 635 mm, opakovatelnost pohybu dosahuje až  $\pm 0,05$  mm. Celková hmotnost robotu je 53 kg. Rychlost jednotlivých rotačních os je v průměru  $5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ . [32]




Obr. 7.2.1.: Průmyslový robot KUKA KR 3 a jeho pracovní dosah [32]

Základními prvky podtlakového chapadla jsou ejektor a talířová přísavka. Vzduch hnaný kompresorem přes ejektor vytvoří mezi přísavkou a objektem podtlak a tím je objekt uchopen. Podtlaková úchopná hlavice je vybavena senzorem pro detekci podtlaku pro monitorování, zda je objekt uchopen. Tímto se zamezí případu, kdy robot pomocí podtlaku neuchopí předmět a pokračuje v další instrukci.



Obr. 7.2.2.: Použité podtlakové chapadlo s kompenzační jednotkou

Pásový dopravník zajišťuje přísun kostiček k průmyslovému robotu. Součástí tohoto dopravníku je i optický snímač polohy, kterým je objekt detekován.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 42
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Vše je ovládáno řídicím systémem KUKA, ke kterému je připojen samotný KUKA robot, dále osobní počítač s uživatelským rozhraním, teach-pendant, vzduchový kompresor, optický senzor, senzor pro detekci podtlaku i pásový dopravník.

Fotografie celého robotického pracoviště je v příloze – příloha č. 2.

### 7.3. Základní části řídicího programu pro robot KUKA

Program v jazyce KRL je rozdělen do dvou souborů a to souboru typu src a typu dat. V souboru typu src je hlavní část programu, ve které je obsažena celá řídicí struktura programu. Tato struktura je pro jednoduchost a přehlednost rozdělena na hlavní program a podprogramy (procedury). [13], [14]

Jak hlavní program, tak podprogram obsahuje část deklarační, ve které jsou deklarovány typy proměnných, typy pohybů, popřípadě pojmenovány vstupy či výstupy, dále část inicializační a hlavní část s vlastní programovací strukturou. Inicializační část představuje počáteční nastavení robotu při zahájení manipulační úlohy. Zde jsou například definovány počáteční hodnoty proměnných nebo výstupů a nastavení poloh souřadných systému nebo polohy centrálního bodu koncového efektoru (TCP). [13], [14]

V datovém souboru jsou nastaveny všechna potřebná data pro řízení robotu, například deklarace globálních proměnných či polohy jednotlivých bodů, do kterých je robot během manipulace veden. [13], [14]

### 7.4. Popis použitých vstupů a výstupů, proměnných, podprogramů

Zařízení, která jsou připojena k řídicímu systému, jsou v řídicím programu charakterizována označením vstupu `$IN[1]` nebo výstupu `$OUT[1]`. Tyto vstupy/výstupy (I/O) jsou binární, tudíž mohou nabývat pouze hodnot 1 nebo 0 (TRUE nebo FALSE).


V této manipulační úloze jsou jednotlivé vstupy označeny:

- `$IN[18]` – senzor pro detekci podtlaku (TRUE = podtlak aktivní)
- `$IN[19]` – tlačítko spuštění manipulační úlohy (TRUE = spuštění man. úlohy)
- `$IN[23]` – optický senzor pro detekci objektu (TRUE = objekt zaznamenán)

Pro přehlednost jsou v programu vstupy označeny `$IN[18]` – senzor2, `$IN[19]` – tlacitko\_spusteni, `$IN[23]` – senzor1.

Výstupy jsou charakterizovány:

- `$OUT[1]` – poloha rozvaděče vzduchu 1
- `$OUT[2]` – poloha rozvaděče vzduchu 2

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pokud  $\$OUT[1] = FALSE$  a  $\$OUT[2] = TRUE$ , pak vzduch je hnán přes ejektor a chapadlo vytváří podtlak. Naopak pokud  $\$OUT[1] = TRUE$  a  $\$OUT[2] = FALSE$ , pak vzduch není přiváděn do chapadla, tudíž podtlakové chapadlo není aktivní.

Dále je nutné pojmenování používaných proměnných v řídicím programu a určení jejich datového typu. Proměnné nelze pojmenovat libovolně. Názvy se musí volit tak, aby nebyly v rozporu s pravidly jazyku KRL anebo nebyly pojmenovány stejně jako názvy funkcí, systémových proměnných, atd.

V řídicím programu jsou použity následující proměnné:

- **counter** – proměnná znázorňující počet paletizovaných objektů  
– datový typ: INTEGER (INT) – celé číslo  
– nabývá hodnot 1 - 17
- **pozice** – proměnná označující pozici objektu při paletizaci  
– datový typ: INT – celé číslo  
– nabývá hodnot 1 - 16
- **radek** – proměnná označující pořadí objektu v ose x při paletizaci  
– datový typ: INT – celé číslo  
– nabývá hodnot 1 - 2
- **sloupec** – proměnná označující pořadí objektu v ose y při paletizaci  
– datový typ: INT – celé číslo  
– nabývá hodnot 1 - 2
- **rovina** – proměnná označující pořadí objektu v ose z při paletizaci  
– datový typ: INT – celé číslo  
– nabývá hodnot 1 - 4

Řídicí program je rozdělen do hlavní části, ve které je řešena celková manipulační úloha, a dále do čtyř podprogramů. V prvním podprogramu je zahrnuta problematika řízení robotu při umístování jednotlivých krychliček z dopravníku do rastru 2x2x4. Jako druhý podprogram byla zvolena část manipulační úlohy, kdy se chapadlo přemístí z výchozího bodu do bodu uchopení objektu z pásového dopravníku. Dvěma posledními procedurami je vyřešeno přísátí a uvolnění předmětu pomocí podtlakového chapadla.

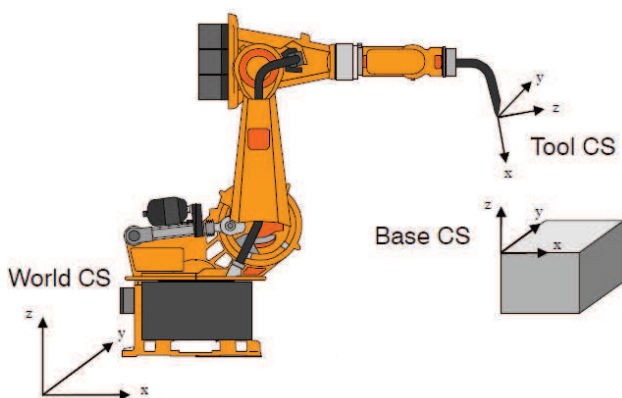
Podprogramy manipulační úlohy:

- **paletizace ()** – paletizace objektů
- **uchopeni ()** – uchopení objektu z dopravníku
- **prisati ()** – vytvoření podtlaku mezi přísavkou a objektem
- **uvolneni ()** – neexistuje podtlak mezi přísavkou a objektem

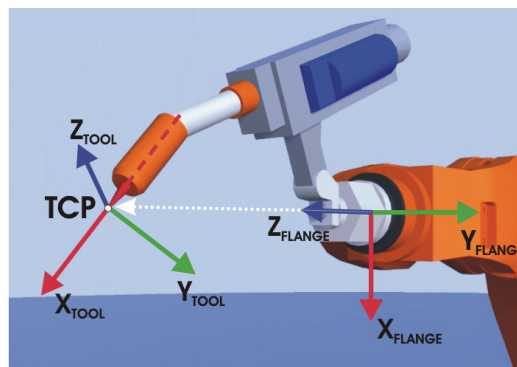
## 7.5. Vývojový diagram, tvorba řídicího programu

Při tvorbě řídicího programu je velmi vhodné předem vytvořit vývojový diagram (flow chart), který obsahuje základní prvky, jako jsou rozhodovací části nebo podprogramy. Pro případ této manipulační úlohy vývojový diagram obsahuje např. podprogram uchopení či paletizace. Zjednodušený vývojový diagram je v příloze – příloha č. 3.

Na počátku tvorby řídicího programu je nutno vhodně nastavit pozici centrálního bodu nástroje (TCP) a polohu báze. Poloha TCP se vztahuje ke středu koncové příruby robotu. Souřadnicový systém báze je nastaven vzhledem k světovému souřadnicovému systému robotu. V případě této man. úlohy byl TCP nastaven  $\$TOOL = \{X\ 0, Y\ 0, Z\ 175, A\ 0, B\ 0, C\ 0\}$  a báze  $\$BASE = \{X\ 514, Y\ -143, Z\ -138, A\ -180, B\ 0, C\ 0\}$ . [13], [14]




Obr. 7.5.1.: Souřadnicové systémy robotu – světový, báze, nástroje [14]



Obr. 7.5.2.: Definování TCP robotu [13]

V řídicím programu byly použity následující hlavní příkazy:

- příkaz IF – tento podmíněný příkaz je vykonán, pokud je splněna daná podmínka
  - pokud podmínka neplatí, program vykoná příkazy za klíčovým slovem ELSE
  - cyklu bylo využito pro počítání paletizovaných objektů, při překročení 16-ti přepravených objektů je program ukončen
- cyklus FOR – tento cyklus je vykonáván po daný počet cyklů
  - bylo využito třech vnořených cyklů pro výpočet souřadnicí bodu, do kterého se koncový efektor přemístí při paletizaci objektu
- příkaz SWITCH – tento příkaz slouží k vícecestnému rozhodování
  - byl využit při určení pozice pro postupné umístění objektů při paletizaci [13], [14]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 45
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pro samotné pohyby průmyslového robotu byly v programu použity jednotlivé příkazy PTP a LIN\_REL.

- PTP – obecný pohyb, u kterého nelze nadefinovat přesná trajektorie
- nejrychlejší pohyb (nejedná se o přímočarý pohyb, kvůli kinematice robotu s rotačními vazbami)
  - tohoto pohybu bylo využito při přesunu chapadla mezi počátečním bodem, bodem nad objektem před uchopením z dopravníku, bodem nad místem uložení objektu při paletizaci

- LIN\_REL – relativní lineární pohyb, u kterého lze definovat přesnou trajektorii a rychlost pohybu
- relativní pohyb – chapadlo je přemístěno o zadanou vzdálenost
  - pohybu bylo využito při přesném dojezdu chapadla do místa uchopení či uvolnění objektu [13], [14]

Pro zvyšování nájezdu chapadla při paletizaci, reprezentovaného bodem BOD, byly využity následující rovnice pro jednotlivé souřadnice.

```
BOD[radek, sloupec, rovina].X = pocatek.X + ((radek - 1) * 50)
BOD[radek, sloupec, rovina].Y = pocatek.Y + ((sloupec - 1) * 50)
BOD[radek, sloupec, rovina].Z = pocatek.Z - ((rovina - 1) * 40)
BOD[radek, sloupec, rovina].A = pocatek.A + 90
BOD[radek, sloupec, rovina].B = pocatek.B
BOD[radek, sloupec, rovina].C = pocatek.C
```

Tyto body jsou počítány od počátečního bodu pocatek definovaného v básovém souřadnicovém systému pocatek = {X -50, Y -50, Z -90, A 0, B 0, C 0}.

Grafické řešení řešení manipulační úlohy, které znázorňuje grafickou podobu řídicího programu, je v příloze – příloha č. 1.

## 7.6. Výsledný řídicí program pro manipulační úlohu

- MANIPULACNI\_ULOHA.src

```
DEF MANIPULACNI_ULOHA()
;---- Deklarace promennych ----
INT counter
SIGNAL tlacitko_spusteni $IN[19]
DECL AXIS START_BOD
;---- Inicializace promennych ----
```



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

```
pozice = 1
counter = 1

BAS (#INITMOV,0)
BAS(#BASE, 8)
BAS(#TOOL, 1)
START_BOD = {A1 15.55, A2 -74.42, A3 79.52, A4 0, A5 84.9, A6 15.55}
$OUT[1] = FALSE
$OUT[2] = FALSE
uvolneni()

;---- Hlavni cast ----

$OV_PRO = 50
PTP START_BOD
WAIT FOR tlacitko_spusteni==TRUE

IF counter < 17 THEN
  FOR counter = 1 TO 16 STEP 1
    WAIT FOR senzor1==TRUE
    uchopeni()
    paletizace()
  ENDFOR
  counter = counter + 1
ELSE
  pozice = 1
  counter = 1
  PTP START_BOD
ENDIF

END

;---- Paletizace ----

DEF paletizace()

INT radek, sloupec, rovina
pocatek = {X -50,Y -50,Z -90,A 0,B 0,C 0}

FOR radek=1 TO 2
  FOR sloupec=1 TO 2
    FOR rovina=1 TO 4

      BOD[radek, sloupec, rovina].X = pocatek.X + ((radek - 1) * 50)
      BOD[radek, sloupec, rovina].Y = pocatek.Y + ((sloupec - 1) * 50)
      BOD[radek, sloupec, rovina].Z = pocatek.Z - ((rovina - 1) * 40)
      BOD[radek, sloupec, rovina].A = pocatek.A + 90
      BOD[radek, sloupec, rovina].B = pocatek.B
      BOD[radek, sloupec, rovina].C = pocatek.C
    ENDFOR
  ENDFOR
ENDFOR

SWITCH pozice
CASE 1
  PTP BOD[1,1,1]
CASE 2
  PTP BOD[2,1,1]
CASE 3
  PTP BOD[1,2,1]
```



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

```
CASE 4
  PTP BOD[2,2,1]
CASE 5
  PTP BOD[1,1,2]
CASE 6
  PTP BOD[2,1,2]
CASE 7
  PTP BOD[1,2,2]
CASE 8
  PTP BOD[2,2,2]
CASE 9
  PTP BOD[1,1,3]
CASE 10
  PTP BOD[2,1,3]
CASE 11
  PTP BOD[1,2,3]
CASE 12
  PTP BOD[2,2,3]
CASE 13
  PTP BOD[1,1,4]
CASE 14
  PTP BOD[2,1,4]
CASE 15
  PTP BOD[1,2,4]
CASE 16
  PTP BOD[2,2,4]
ENDSWITCH
```

```
LIN_REL {Z 52}
pozice = pozice +1
uvolneni()
WAIT FOR senzor2==FALSE
LIN_REL {Z -52}
```

```
END
```

---

```
;---- Uchopeni kosticky z dopravniku ----
```

```
DEF uchopeni()

PTP {X 500,Y -342.9,Z -220,A 0, B 0,C 0}
LIN_REL {Z 90}
prisati()
```

```
WAIT FOR senzor2==TRUE
LIN_REL {Z -90}
```

```
END
```

---

```
;---- Podtlak aktivni ----
```

```
DEF prisati()

$OUT[1] = FALSE
$OUT[2] = TRUE
WAIT SEC 0.5
```

```
END
```

---

```
;---- Podtlak neaktivni ----
```

```
DEF uvolneni()
```

```
$OUT[1]=TRUE  
$OUT[2]=FALSE  
WAIT SEC 0.5
```

```
END
```

- **MANIPULACNI\_ULOHA.dat**

```
DEFDAT MANIPULACNI_ULOHA2
```

```
SIGNAL senzor1 $IN[23]  
SIGNAL senzor2 $IN[18]
```

```
EXTERNAL DECLARATIONS
```

```
DECL POS pocatek  
DECL POS BOD[2,2,4]
```


```
INT pozice
```

```
ENDDAT
```

Pozn.: Šedou čarou jsou odděleny jednotlivé podprogramy. V řídicím programu není vytvořen program pro řízení pásového dopravníku, protože tento úkol nebyl v zadání.

Celý řídicí program pro průmyslový robot KUKA je součástí přílohy č. 4 (CD - ROM) – MANIPULACNI\_ULOHA.src a MANIPULACNI\_ULOHA.dat.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 8. Závěr


Manipulace s objekty je běžnou operací, která se vyskytuje ve výrobní i nevýrobní oblasti průmyslu. Tyto manipulační úlohy lze automatizovat pomocí robotizovaného pracoviště, jehož hlavní částí je průmyslový robot nebo manipulátor. V současné době jsou v praxi využívány roboty šestiosé (6-DOF roboty), montážní SCARA roboty a paletizační roboty. Další nedílnou součástí robotizovaného pracoviště je řídicí systém, který je zodpovědný za kontrolu pohybů robotu a za činnost dalších připojených zařízení jako jsou úchopné hlavice, snímače, zdroje dodávané energie (stlačený vzduch) nebo periferie. Vše lze ovládat pomocí ovládacího rozhraní, teach-pendantu nebo počítače.

Koncové efekty pro manipulaci lze rozdělit podle mnoha hledisek, např. podle principu funkce (mechanické, podtlakové, atd.) nebo podle typu pohonného prvku. Podle pohonu se aktivní kontaktní chapadla dělí na pneumatická, hydraulická, elektrická a speciální. Tyto kontaktní úchopné hlavice jsou v současnosti nejvíce rozšířené a to zejména chapadla pneumatická a elektrická. U aktivních chapadel je energie z motoru přenášena prostřednictvím převodového mechanismu na čelisti. Pneumatická chapadla jsou obvykle konstruována s klínovým, pákovým, vačkovým či ozubeným převodem. Elektrické úchopné hlavice disponují převodem klínovým, šroubovým nebo ozubeným.

Pneumatická chapadla lze dále dělit podle počtu a pohybu čelistí při uchopování objektu a to na 2-čelist'ová paralelní, 2-čelist'ová úhlová, 2-čelist'ová radiální, 3-čelist'ová koncentrická a 3-čelist'ová úhlová. Mezi výhody těchto chapadel patří jednoduchost konstrukce a řízení, práce v extrémních podmínkách a vyšší uchopovací síly. Nevýhodou je znečištěný výstupní vzduch, tvrdý dojezd čelistí do koncové polohy a drahý provoz. Řízení takto poháněných chapadel je omezeno pouze na otevírání a zavírání čelistí, což je realizováno pomocí rozvaděče.

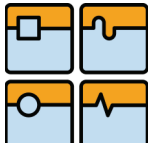
Elektricky poháněné úchopné hlavice jsou konstrukčně podstatně složitější než pneumatické. Tato chapadla jsou k dispozici jen v 2-čelist'ovém paralelním a 3-čelist'ovém koncentrickém provedení. Akčním členem je ve většině případů použit servomotor nebo krokový motor. Vestavěný enkodér zajišťuje přesné nastavování polohy čelistí. Výhody těchto chapadel jsou přímé ovládní velikosti rozevření čelistí, schopnost práce v čistém prostředí a tichý chod. Mezi nevýhody lze zařadit nutnost senzorů a samostatné řídicí jednotky pro chapadlo, neschopnost práce při vysokých teplotách nebo vysoká hmotnost.

K úchopným hlavicím jsou často připojovány speciální moduly, které zvyšují flexibilitu a adaptabilitu chapadel. Kompenzátory vyrovnávají nepřesnosti při manipulaci, rotační jednotky přidávají robotickému zařízení další stupeň volnosti a otočné jednotky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	


umožňují současnou práci dvou a více koncových efektorů bez nutnosti výměny. Moduly pro automatickou výměnu efektorů jsou instalovány pro rychlé a snadné vyměnění efektoru, které lze i automatizovat. Mezi základnu čelistí a čelisti jsou připojeny měřicí soustavy pro přesné měření úchopné síly chapadla.

Při automatickém řízení průmyslového robotu KUKA je nutné vytvořit řídicí program v jazyce KRL. Tento programovací jazyk je specifický pro každého výrobce průmyslových robotů. V této bakalářské práci byla řešena paletizační úloha, ke které byl použit robot KUKA KR 3 a podtlaková úchopná hlavice. Objekty (krychle o hraně 40 mm), které byly dopravovány pásovým dopravníkem, byly paletizovány robotem do rastru 2x2x4 a při transportu byly navíc otočeny o 90° kolem svislé osy. K tvorbě tohoto programu byl vytvořen zjednodušený vývojový diagram. Pomocí obecných pohybů (PTP) a lineárních pohybů (LIN) a hlavních příkazů IF, SWITCH, FOR byl vytvořen řídicí program.

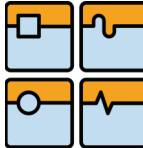
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Seznam použitých zdrojů

- [1] WOLF, A., R. STEINMANN, H. SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005, 248 s. ISBN 35-402-5657-1.
- [2] PIRES, J. *Industrial robots programming: building applications for the factories of the future*. New York: Springer, 2007, 282 s. ISBN 03-872-3325-3.
- [3] MONKMAN, Gareth J. *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, c2007, 452 s. ISBN 978-352-7406-197.
- [4] SICILIANO, B., O. KHATIB. *Handbook of robotics*. Berlin: Springer, c2008, 1611 s. ISBN 35-402-3957-4.
- [5] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty I.: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. PRaM*. Brno: VUT Brno, 1993, 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [6] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty II.: Konstrukce výstupních hlavíc a periferií*. Brno: PC DIR, 1993, 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [7] KOLÍBAL, Z. *Adaptivita koncových efektorů průmyslových robotů*. Brno: VUT v Brně, 2001, 20 s. ISBN 80-214-1884-2.
- [8] KOLÍBAL, Z., R. KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. Košice: Viena, 2000, 178 s. ISBN 80-889-2227-5.
- [9] RUMÍŠEK, P. *Automatizace: roboty a manipulátory* [online]. Brno: 2003 [cit. 2013-02-05]. Dostupné z www: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/mechanizace\\_a\\_automatizace\\_\\_roboty\\_\\_rumisek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/mechanizace_a_automatizace__roboty__rumisek.pdf)>.
- [10] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2013-05-02]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z www: <[http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf)>.
- [11] Blecha, P., Z. Kolíbal, R. Knoflíček, A. Pochylý, T. Kubela, R. Blecha, T. Březina. *Mechatronika, Modul 10: Robotika* [on-line]. 2008, [cit. 2013-05-02]. Dostupný z www: <<http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/7/Modul%2010%20Tschechisch%20komplett.pdf>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [12] Katalog SCHUNK: *Gripping modules*. SCHUNK GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik, 2010, 1550 s.
- [13] *Operating and Programming Instructions For End Users For KUKA System Software V5.2, V5.3, V5.4*. KUKA Roboter GmbH, 2006.
- [14] *Expert programming, KUKA System Software (KKS)* [on-line]. KUKA Roboter GmbH, 2005, [cit. 2013-05-02]. Dostupný z www: <[http://autosat2.humber.ca/files/atmn302/proghbexpert\\_r5.2\\_en.pdf](http://autosat2.humber.ca/files/atmn302/proghbexpert_r5.2_en.pdf)>.
- [15] *KUKA: Robotics* [online]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/)>.
- [16] *ABB: Česká republika* [online]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[www.abb.cz](http://www.abb.cz)>.
- [17] *ROBOTI.CZ: Vše o průmyslových robotech* [online]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.roboti.cz/>>.
- [18] *FANUC* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[www.fanucrobotics.cz](http://www.fanucrobotics.cz)>.
- [19] *Motoman: Roboty* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[http://www.motoman.cz/cs/produkty/roboty/?no\\_cache=1](http://www.motoman.cz/cs/produkty/roboty/?no_cache=1)>.
- [20] *SCHUNK: Superior Clamping and Gripping* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.cz.schunk.com/schunk/index.html?country=CZE&r=1>>.
- [21] *FESTO* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[http://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](http://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)>.
- [22] *IFR: International Federation of Robotics* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.ifr.org/>>.
- [23] *UNIVERSAL ROBOTS* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.universal-robots.cz/>>.
- [24] *OMEGA: Your One-Stop Source for Process Measurement & Control!*. [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.omega.com/>>.
- [25] *GIMATIC* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z www: <[www.gimatic.com](http://www.gimatic.com)>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	


- [26] *SMC: Competence in Automation* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <www.smc.cz>](http://www.smc.cz).
- [27] *DESTACO* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <www.destaco.com>](http://www.destaco.com).
- [28] *Direct Industry: The Virtual Industrial Exhibition* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.directindustry.com/prod/schunk/magnetic-grippers-12463-902929.html>](http://www.directindustry.com/prod/schunk/magnetic-grippers-12463-902929.html).
- [29] *KUKA Entertainment* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.kuka-entertainment.com/en/>](http://www.kuka-entertainment.com/en/).
- [30] *Shadow: Robot Company* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.shadowrobot.com/gallery.shtml?gallery=handC5r\\_061102&img=c5\\_medium.jpg>](http://www.shadowrobot.com/gallery.shtml?gallery=handC5r_061102&img=c5_medium.jpg).
- [31] *RobotWorx: Welding Division* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.welding-robots.com/kuka.php?controller=kr+c2>](http://www.welding-robots.com/kuka.php?controller=kr+c2).
- [32] *RobotWorx: Experts in Automation* [on-line]. 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.robots.com/kuka/kr-3>](http://www.robots.com/kuka/kr-3).

## Seznam použitých symbolů

<u>Symbol</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Význam symbolů</u>
$F_G$	[N]	Tíhová síla působící na objekt manipulace
$F_x$	[N]	Setrvačná síla působící na objekt manipulace ve směru osy x
$F_y$	[N]	Setrvačná síla působící na objekt manipulace ve směru osy y
$F_d$	[N]	Dostředivá síla působící na objekt manipulace
$F_o$	[N]	Odstředivá síla působící na objekt manipulace
$F_t$	[N]	Třecí síla působící mezi povrchy uchopeného objektu a čelisti
$F_u$	[N]	Uchopovací síla působící na objekt manipulace
$m$	[kg]	Hmotnost objektu manipulace
$g$	[ms <sup>-2</sup> ]	Tíhové zrychlení ( $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ )
$a_x$	[ms <sup>-2</sup> ]	Zrychlení působící na objekt manipulace při pohybu v ose x
$a_y$	[ms <sup>-2</sup> ]	Zrychlení působící na objekt manipulace při pohybu v ose y
$v$	[ms <sup>-1</sup> ]	Obvodová rychlost objektu manipulace při pohybu po kruhové dráze
$r$	[m]	Poloměr kruhové dráhy objektu manipulace
$\omega$	[rads <sup>-1</sup> ]	Úhlová rychlost objektu manipulace při kruhovém pohybu
$f$	[-]	Koeficient tření mezi povrchy objektu manipulace a čelisti

## Seznam obrázků, grafů a tabulek

<b>Obr. 1.1.:</b> Vývoj koncových efektorů pro manipulaci SCHUNK v jednotlivých letech [20] .	12
<b>Obr. 2.1.:</b> Robot s nejvyšší nosností KUKA KR 1300 TITAN PA [15] .....	13
<b>Obr. 2.2.:</b> SCARA robot firmy KUKA typ KR 10 SCARA R850 [15] .....	14
<b>Obr. 2.3.:</b> KUKA paletizační robot KR 700 PA s nosností 700 kg [15] .....	15
<b>Obr. 2.4.:</b> Robot s paralelní kinematikou FANUC M-3iA/6S [18] .....	15
<b>Obr. 3.0.1.:</b> Schéma pasivní mechanické úchopné hlavice [6].....	16
<b>Obr. 3.0.2.:</b> Podtlaková úchopná hlavice SCHUNK GSW-V s Venturiho tryskou pro vytvoření podtlaku [12] .....	17
<b>Obr. 3.0.3.:</b> Magnetické chapadlo SCHUNK GSW-M [28].....	17
<b>Obr. 3.1.1.:</b> Technologické hlavice pro svařování a lakování [16] .....	18
<b>Obr. 3.1.2.:</b> Speciální hlavice pro zábavní průmysl KUKA Robocoaster [29] .....	18
<b>Obr. 3.2.:</b> Chapadla s mechanismem: a) klínovým, b) pákovým, c) ozubeným, d) šroubovým a klínovým [12], [20].....	20
<b>Obr. 3.3.1.:</b> Síly působící na chapadlo během translačního i rotačního pohybu [1] .....	21
<b>Obr. 3.5.1.:</b> 2-čelist'ové paralelní pneumatické chapadlo SCHUNK JGP s klínovým mechanismem a jeho hlavní části [12] .....	23
<b>Obr. 3.5.2.:</b> 2-čelist'ové úhlové pneumatické chapadlo SCHUNK LGW a jeho hlavní části [12] .....	24
<b>Obr. 3.5.3.:</b> Radiální pneumatická chapadla GIMATIC GX-25S a SCHUNK PRG se speciálně tvarovanými čelistmi [12], [25] .....	24
<b>Obr. 3.5.4.:</b> 3-čelist'ové koncentrické chapadlo SCHUNK PZB-plus se středovým otvorem a jeho základní části [12].....	25
<b>Obr. 3.6.1.:</b> 2-čelist'ové paralelní elektrické chapadlo SCHUNK PG a jeho hlavní části [12]26	26
<b>Obr. 3.6.2.:</b> Koncentrické elektrické chapadlo SMC LEHS [26] .....	26
<b>Obr. 3.6.3.:</b> Koncentrické elektrické chapadlo SCHUNK EZN [12] .....	26
<b>Obr. 3.7.:</b> Příklady využití úchopných hlavic: a) manipulace s odlitky [20], b) manipulace s blokem motoru [20], c) manipulace s potravinami [1] .....	27
<b>Obr. 4.2.:</b> Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu FESTO MS9 [21].....	29
<b>Obr. 5.1.:</b> Příklad kompenzátoru s pružinami a kulovým čepem a kompenzátor s přídatnou translační osou [6] .....	30
<b>Obr. 5.2.:</b> Rotační jednotka SCHUNK SRU-plus a řez touto jednotkou [20].....	31
<b>Obr. 5.3.1.:</b> Schéma rozhraní mezi částmi modulu [3].....	32
<b>Obr. 5.3.2.:</b> Modul pro automatickou výměnu úchopné hlavice SCHUNK SWS [20].....	32
<b>Obr. 5.4.1.:</b> Otočná jednotka SCHUNK SKE pro 2 chapadla [20] .....	33

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

<b>Obr. 5.4.2.:</b> Revolverová hlava firmy Giray Roboter Automation [3] .....	33
<b>Obr. 5.5.1.:</b> Chapadlo s měřicí soustavou SCHUNK FMS [12] .....	33
<b>Obr. 5.5.2.:</b> Softwarové rozhraní firmy SCHUNK [12] .....	33
<b>Obr. 6.1.1.:</b> Schéma řízení pneumatické úchopné hlavice – a) řídicí systém, b) průmyslový robot, c) teach-pendant, d) PC, e) pneum. chapadlo se směrovým ventilem [1], [12], [15]....	34
<b>Obr. 6.1.2.:</b> Schéma řízení elektrického chapadla – a) řídicí systém, b) průmyslový robot, c) teach-pendant, d) PC, e) řídicí jednotka chapadla, f) el. chapadlo, g) senzory [12], [15] .....	35
<b>Obr. 6.2.:</b> a) indukční senzor , b) chapadlo GIMATIC s mag. senzory, c) robotická ruka s taktilními snímači [12], [25], [30] .....	37
<b>Obr. 6.3.1.:</b> Řídicí jednotka ABB IRC5 [16] .....	38
<b>Obr. 6.3.2.:</b> Řídicí systém KUKA KR C4 [15] .....	38
<b>Obr. 6.3.3.:</b> Klasický teach-pendant KUKA KR C2 [31] .....	38
<b>Obr. 6.3.4.:</b> Teach-pendant s dotykovým displejem KUKA SMARTPAD [15] .....	38
<b>Obr. 6.4.1.:</b> Schéma funkce modulu pro detekci kolize [3] .....	39
<b>Obr. 6.4.2.:</b> Chapadlo SCHUNK PGF opatřené bezpečnostní pružinou [12].....	39
<b>Obr. 6.4.3.:</b> Bezpečnostní prvky – nouzový vypínač, nášlapná rohož a světelná závora [11] .....	39
<b>Obr. 7.1.:</b> Schéma manipulační úlohy.....	40
<b>Obr. 7.2.1.:</b> Průmyslový robot KUKA KR 3 a jeho pracovní dosah [32].....	41
<b>Obr. 7.2.2.:</b> Použité podtlakové chapadlo s kompenzační jednotkou .....	41
<b>Obr. 7.5.1.:</b> Souřadnicové systémy robotu – světový, báze, nástroje [14].....	44
<b>Obr. 7.5.2.:</b> Definování TCP robotu [13].....	44
<b>Graf 1.:</b> Statistika počtu prodaných průmyslových robotů v jednotlivých letech [22] [21] ...	12
<b>Graf 3.:</b> Závislost uchopovací síly na délce čelistí chapadla [12].....	21
<b>Tab. 4.:</b> Porovnání výhod a nevýhod elektrických a pneumatických chapadel [1], [9], [12] .	29

## Seznam příloh

**Příloha č. 1:** Grafické řešení manipulační úlohy

**Příloha č. 2:** Robotizované pracoviště pro manipulační úlohu

**Příloha č. 3:** Zjednodušený vývojový diagram

**Příloha č. 4:** CD-ROM – výsledný program (MANIPULACNI\_ULOHA.src,  
MANIPULACNI\_ULOHA.dat)