



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

## NÁVRH MANIPULAČNÍ ÚLOHY PRO PRŮMYSLOVÝ ROBOT KUKA

DESIGN OF A MANIPULATION TASK FOR KUKA INDUSTRIAL ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN HEINRICH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/15

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Heinrich

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

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

### **Návrh manipulační úlohy pro průmyslový robot KUKA**

v anglickém jazyce:

### **Design of a Manipulation Task for KUKA Industrial Robot**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzujte aktuální možnosti uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se na pneumatické a elektrické úchopné hlavice, případně na efektory na bázi vakua. S použitím průmyslového robotu KUKA vytvořte funkční demonstrační aplikaci pro manipulační úlohu dle zadání.

Cíle bakalářské práce:

1. Analyzujte a vlastními slovy popište aktuální možnosti pro uchopování objektů s průmyslovými roboty. Zaměřte se na pneumatické či elektrické úchopné hlavice, popř. na vakuovou techniku.
2. Vypracujte obecný algoritmus řešení manipulační úlohy s robotem KUKA dle zadání a poté vytvořte pro danou úlohu funkční demonstrační aplikaci.

Seznam odborné literatury:


1. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
2. 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
3. KUKA - Operating and Programming Instructions - For End Users, KSS V5.2, V5.3, V5.4, 2006
4. KUKA KR C2 / KR C3 - Expert programming, 2006

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 18.11.2014



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou průmyslových robotů. Postupně pojednává o základních typech průmyslových robotů používaných na manipulaci, jejich charakteristických vlastnostech a číslech o výrobě a prodeji. Dále se práce zabývá úchopnými systémy, jejich rozdělením a popisem elektrických, hydraulických, pneumatických a vakuových úchopných hlavic. V poslední části je řešena manipulační úloha třemi různými styly programování pomocí průmyslového robota KUKA a podtlakového chapadla. Výsledkem jsou tři programy v KRL kódu včetně jejich popisu.

## **Klíčová slova**

Manipulace, koncový efektor, průmyslový robot, chapadlo, programování

## **Abstract**


This bachelor's thesis deals with dilemma of industrial robots. The study gradually describes basic types of the manipulating industrial robots, their characteristic features, production and sales numbers. Furthermore the study refers to the electric, pneumatic, hydraulic and vacuum driven grippers. In the last part, three different ways of programming move task are presented using industrial robot named KUKA and vacuum gripper. The results show three programs in the KRL code inclusive of the description.

## **Keywords**

Manipulation, end effector, industrial robot, gripper, programming

## **Bibliografická citace mé práce:**

HEINRICH, M. *Návrh manipulační úlohy pro průmyslový robot KUKA*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.


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

## Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedených zdrojů, odborné literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za jejich podporu při studiu.

V Brně 22.5.2015

.....  
Heinrich Martin

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

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkovat Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení, rady, informace, které mi byly poskytnuty při zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu během studia.

## Obsah

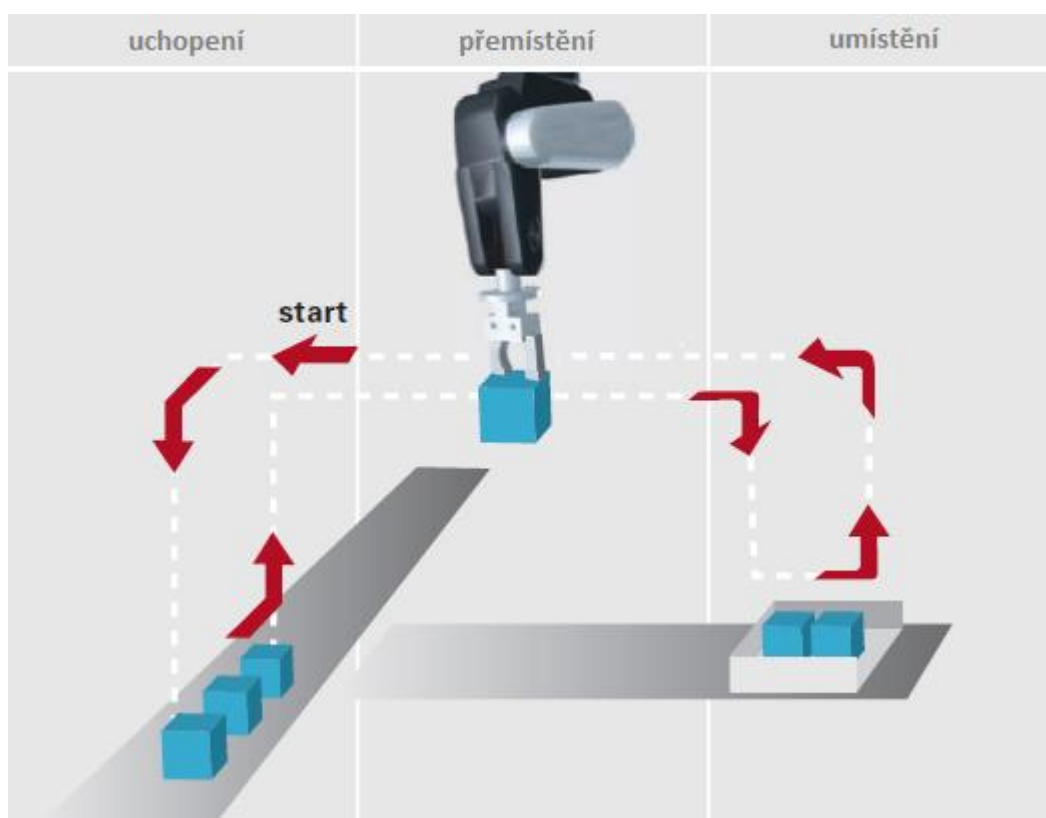
<b>1. Úvod</b> .....	<b>10</b>
1.1 Objekt manipulace .....	10
<b>2. Průmyslové roboty</b> .....	<b>12</b>
2.1 Rozdělení průmyslových robotů .....	12
2.1.1 Univerzální robot.....	13
2.1.2 Redundantní robot .....	14
2.1.3 Deficitní robot.....	15
2.1.4 Roboty s paralelní kinematikou .....	15
2.2 Základní technické parametry .....	16
2.3 Statistika prodeje průmyslových robotů .....	17
<b>3. Uchopovací systémy</b> .....	<b>19</b>
3.1 Mechanické úchopné hlavice .....	20
3.1.1 Počet úchopných bodů .....	20
3.1.2 Elektrické efekty .....	21
3.1.3 Pneumatické efekty .....	23
3.1.4 Hydraulické efekty .....	24
3.2 Vakuové úchopné hlavice .....	25
<b>4. Manipulační úloha</b> .....	<b>26</b>
4.1 Postup programování robotu KUKA.....	26
4.2 Popis manipulační úlohy .....	28
4.3 Popis řešení jednotlivých úloh .....	29
4.3.1 Statické.....	29
4 3.1.1 Program_01.src .....	29
4.3.2 Dynamické.....	32
4 3.2.1 Program_02.src .....	33



4 3.2.2 Program_02.dat .....	35
4.3.3 Dynamické s použitím senzorů.....	35
4 3.3.1 Program_03.src.....	36
4 3.3.2 Program_03.dat .....	38
<b>5. Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>40</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>42</b>
<b>Seznam tabulek a grafů .....</b>	<b>42</b>

## 1. Úvod

Manipulace je proces přemístování objektu manipulace z jednoho místa na druhé. Při ukládání objektu bývá také často zapotřebí jeho správného natočení. Manipulační proces byl dříve podceňovaný a přehlížený jako triviální. Tento proces totiž nijak nezvyšuje hodnotu zpracování. V poslední době je však manipulace jednou z hlavních operací v průmyslu. Proto je na snaze snížit manipulační čas na minimum, případně synchronizovat strojní čas s manipulačním časem. Manipulátorům čekajícím na strojní zařízení se snižuje efektivita. Snížení manipulačního času se provádí především modernizací pracoviště na automatizované. V rámci automatizace v průmyslu a všech jeho odvětvích se čím dál víc používají průmyslové manipulační roboty. Manipulační čas je dán poměrem přemístěných objektů za jednotku času. [1] [4]



*Obr. 1.: Schéma manipulačního procesu [1]*

### 1.1 Objekt manipulace

Jedná se o těleso, kterým hodláme pohybovat. Je velmi důležité znát jeho vlastnosti, ať už rozměrové, tvarové či fyzikální. Všechny tyto vlastnosti musíme brát v úvahu při vytváření manipulační úlohy. Díky znalosti těchto vlastností můžeme určit, zda je vůbec možné manipulaci s tímto objektem automatizovat. Jestliže ano, můžeme vybrat správné úchopné místo, což nám vymezení výběr úchopné hlavičky. Úchopné místo by mělo být co nejbližší k těžišti. Rozsah objektů manipulace je velmi vysoký, zvláště když nebereme v úvahu jen oblast strojírenství, ale i další obory, např.

zdravotnictví, potravinářský průmysl atd., ve kterých jsou kladeny jiné požadavky než ve strojírenství. Zde je zapotřebí brát v potaz prostředí, v jakém je objektem manipulováno, např. zda je potřebná vyšší čistota, nižší hlučnost apod.

Další hledisko, které je potřeba brát v úvahu, je členitost povrchu (díry, výstupky dutiny atd.) Tato členitost může úchopu pomoci, či jej omezit. Záleží na konkrétních případech. [1][4]

*Tab. 1.: Parametry ovlivňující úchop [1]*

Okolní podmínky uchopovací operace	Vlastnosti manipulované součásti	Součást při manipulační Operaci
požadavky ekonomické efektivity	geometrie	Pořadí
bezpečnostní opatření	tvár	vlastnosti při pohybu
požadavky pro instalaci	rozměry	přístupnost k součásti
teplota	rozměrové tolerance	manipulační tolerance
přívod energie	hmotnost	
požadavky čistoty prostředí	těžiště	
hygienické požadavky	povrch	
bezúdržbovost	materiál	
existence dalších objektů	konzistence	
proměnlivost součástí	chování součásti při manipulaci	
požadavky monitorování operace		

### Rozbor hlavních vlastností manipulovaných součástí:

**Rozměry:** jsou zde sledovány maximální rozměry (délka, šířka, hloubka) nebo poloha těžiště, poloha úchopného místa atd.

**Materiál:** jsou zde sledovány mechanické vlastnosti (pružnost, pevnost, elasticita, plastičnost), nebo fyzikální vlastnosti jako např. (syklost, tekutost, magnetičnost atd. )

**Povrch:** je zde sledován stav povrchu vzhledem k možnosti úchopu, ať už součinitele tření pro mechanický úchop, tak i z hlediska drsnosti povrchu pro úchop vakuovou technikou. Třecí síla daného povrchu totiž také závisí na drsnosti povrchu, materiálu a čistotě daného povrchu. Znečištěný povrch (např. zbytky emulze, vody, oleje a písku) může zapříčinit potřebu větší úchopové síly.

[2] [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## 2. Průmyslové roboty

Samotné slovo „robot“ má původ v češtině a je odvozeno od slova „robota“, tedy práce. Nejčastější moderní podoba kloubového průmyslového robota je lidská paže. [4]

Definice: „Robot je přeprogramovatelný multifunkční manipulátor navržený tak, aby pohyboval materiálem, díly, nástroji nebo speciálními zařízeními prostřednictvím proměnných naprogramovaných pohybů pro výkon různých úkolů“, z knihy Robotics — Control, Sensing, Vision and Intelligence, Fu, Gonzalez, Lee, MacGraw Hill, 1987. [6]

Robotizace je druh průmyslové automatizace. Robotizace se využívá pro zvýšení efektivity výroby. Efektivita robota je zapříčiněna vysokou rychlostí a přesností pohybu, ale může být dána i možností robota pracovat v nevlídném prostředí. Zvláště při velkosériové výrobě je průmyslový robot velmi vhodné řešení, a to především díky tomu že neztrácí svou výkonnost, přesnost, nosnost, atd. Kvalita práce se nijak časem nesnižuje. [7]

### 2.1 Rozdělení průmyslových robotů

**Klasifikace robotů:**

#### 1) Podle kinematických struktur

Kartézská kinematická struktura:

**TTT** tvořena třemi translačními kinematickými dvojicemi

Cylindrická kinematická struktura:

**RTT** tvořena jednou rotační a dvěma translačními kinematickými dvojicemi

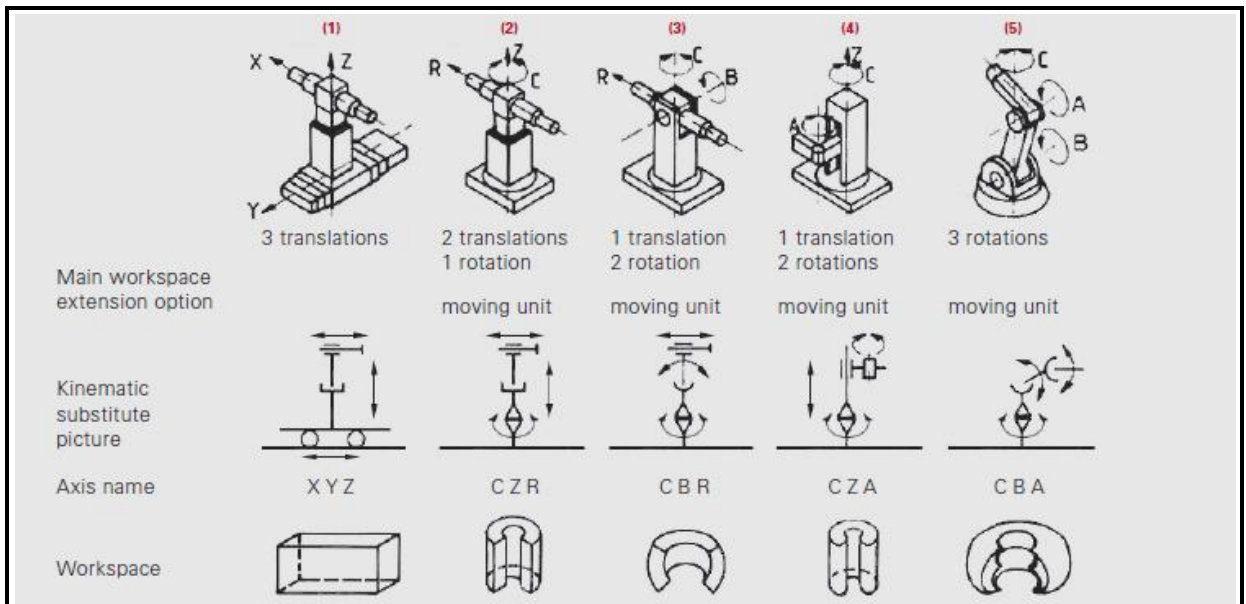
Sférická kinematická struktura:

**RRT** tvořena dvěma rotačními a jednou translační kinematickou dvojicí

Angulární kinematická struktura:

**RRR** tvořena třemi rotačními kinematickými dvojicemi

[1] [9]



Obr. 2.: Zobrazuje jednotlivé typy kinematických struktur. [1]

Dále také můžeme roboty rozdělit podle řazení kinematických struktur na sériové (za sebou) nebo paralelní (vedle sebe). [5]

## 2) Podle počtů stupňů volnosti:

Stupeň volnosti - DOF (Degrees Of Freedom)

Počet stupňů volnosti je jeden ze základních parametrů manipulačního robota. Počet stupňů volnosti se rovná počtu říditelných os. Stupně volnosti manipulačního robota závisí na kinematické struktuře robota.

Na úplný pohyb v prostoru je zapotřebí tří nezávislých os, tedy tři stupně volnosti. Tento pohyb můžeme zajistit jakoukoliv kombinací tří pohybů (translace, rotace).

Další tři stupně volnosti jsou zapotřebí na jakékoliv natočení v prostoru. Tento pohyb se provádí pomocí třech rotačních pohybů v nezávislých osách. [8]

-Univerzální robot: (6 stupňů volnosti.) Určuje polohu a orientaci objektu manipulace v kartézském souřadném systému

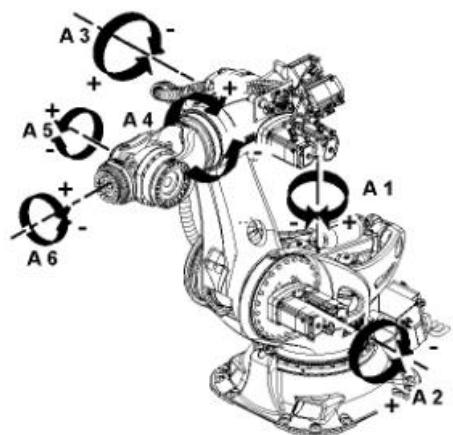
- Redundantní robot: (Více než 6 stupňů volnosti.) Větší volnost umožňuje lepší pohyblivost, např. v omezených prostorech, nebo změnu polohy celého robota

-Deficitní robot: (Méně než 6 stupňů volnosti.) Roboti se 4 stupni volnosti, tzv. SCARA roboti se často používají pro montáž. [4]

### 2.1.1 Univerzální robot

Robot s šesti stupni volnosti (6DOF) je nejvíce používaným druhem průmyslového robota. Je využíván pro všechny typy operací, nejen na manipulaci, ale také pro další aplikace jako svařování, broušení a jiné. Vše v závislosti na volbě koncového efektoru. Tento typ robota je charakteristický pro průmyslové roboty a používá sériovou kinematickou strukturu tvořenou šesti rotačními vazbami. Tato

struktura je v současnosti nejrozšířenější (cca 90% všech průmyslových robotů). [7] [9]

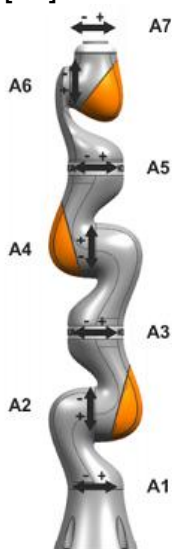


*Obr. 3.: Zobrazení os robota s 6DOF [11]*

*Obr. 4.: Příklad 6DOF robota KUKA KR 1000 Titan [11]*

## 2.1.2 Redundantní robot

Robot s více jak šesti stupni volnosti jsou používány jen málo nebo ve speciálních případech. Další stupně volnosti přidávají robotu možnost větší pohyblivosti. Nově představené lehké roboty (LBR) KUKA se sedmi stupni volnosti (7DOF) jsou spjaty se složitou senzoricou, díky níž jsou citlivé na dotek a tím i bezpečnější. Při kolizi se samy zastaví. Jsou schopny se nechat vést tahem či tlakem operátora. [2] [11]



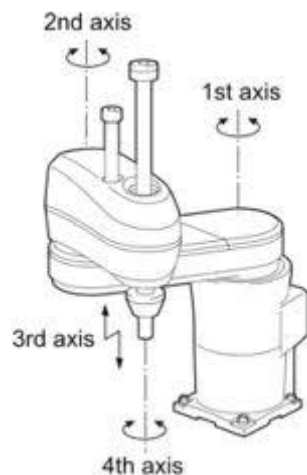
*Obr. 5.: Zobrazení os robota se 7DOF [11]*

*Obr. 6.: Příklad 7DOF robota KUKA LBR iiwa7 [11]*



### 2.1.3 Deficitní robot

Robot s méně než šesti stupni volnosti. Hlavním představitelem tohoto typu jsou tzv. SCARA roboty. SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) je robot se čtyřmi stupni volnosti. Kinematická struktura tohoto robota je složena ze tří rotačních a jedné translační vazby. Rotační vazby zajišťují polohování robota, translační vazba je zde pro zvedání předmětu. Robot je navržen pro tzv. pick and place (uchopit a umístit) aplikace určené k manipulaci s lehkými objekty. [2] [11] [3]



Obr. 7.: Zobrazení os robota SCARA[11]

Obr. 8.: Příklad robota KUKA KR10 SCARA [11]

### 2.1.4 Roboty s paralelní kinematikou

Roboty s paralelní kinematikou, tzv. DELTA roboty, se liší od klasických robotů se sériovou kinematickou strukturou, u kterých jsou kinematické prvky řazeny za sebou tím, že jsou zde řazeny vedle sebe. Struktura těchto robotů se vyznačuje vysokou tuhostí, která snižuje vibrace a zvětšuje přesnost polohování. Tyto roboty mají tři až šest stupňů volnosti, záleží na konkrétním typu robota. Paralelní roboty se skládají z pohyblivé základny, ke které je připojený koncový efektor. Pohyblivá základna se pohybuje prostřednictvím ramen připojených k rámu a uložených na obou koncích na kloubech, díky čemuž mění svou délku. Důsledkem tohoto uspořádání je robot velmi rychlý a dosahuje velkého zrychlení. Robot je ale touto konstrukcí limitován malým pracovním prostorem, výškou zdvihu a nízkou nosností. Tato konstrukce je také značně náročná na řídicí systém (v dnešní době výkonných systémů již toto nepředstavuje problém). [9] [18] [13] [17]



*Obr. 9.: Příklad delta robota ABB IRB 360 [18]*

## 2.2 Základní technické parametry

Mezi základní parametry manipulačního robota patří počet os, neboli počet stupňů volnosti (viz předchozí kapitola), maximální dosah, nosnost a přídatná zátěž nosného ramena. Dalšími důležitými parametry je rychlost, zrychlení robota, přesnost opakování a jeho hmotnost.

### **-Nosnost:**

Manipulační roboty můžeme orientačně rozdělit na čtyři kategorie podle nosnosti:

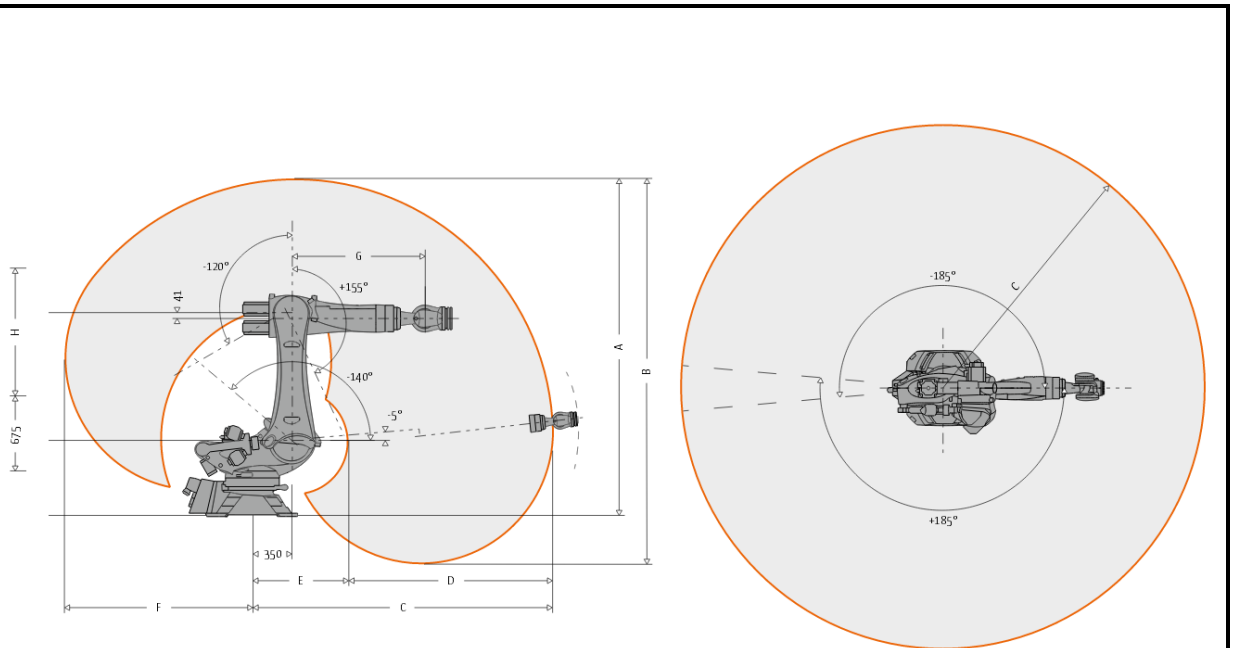
Nízká mezní zátěž:	<b>3-16 kg</b>
Střední mezní zátěž	<b>30-60 kg</b>
Vysoká mezní zátěž	<b>90-300 kg</b>
Velká nosnost	<b>300-1300 kg</b>

[11]

### **-Pracovní prostor:**

Velikost pracovního prostoru je velmi důležitý parametr, který je vymezen dosahem robota. Tento prostor by měl být zajištěn proti vstupu neoprávněných osob. V moderních provozech se bezpečnost pracovního prostoru zajišťuje elektronickým hrazením (světelné závory, laserové scannery, pevné zábrany atd.), které při zjištění narušení tohoto prostoru automaticky pozastaví veškerou činnost robotů. Tvar pracovního prostoru robota se liší v závislosti na kinematické struktuře a počtu stupňů volnosti. [14] [2] [5]





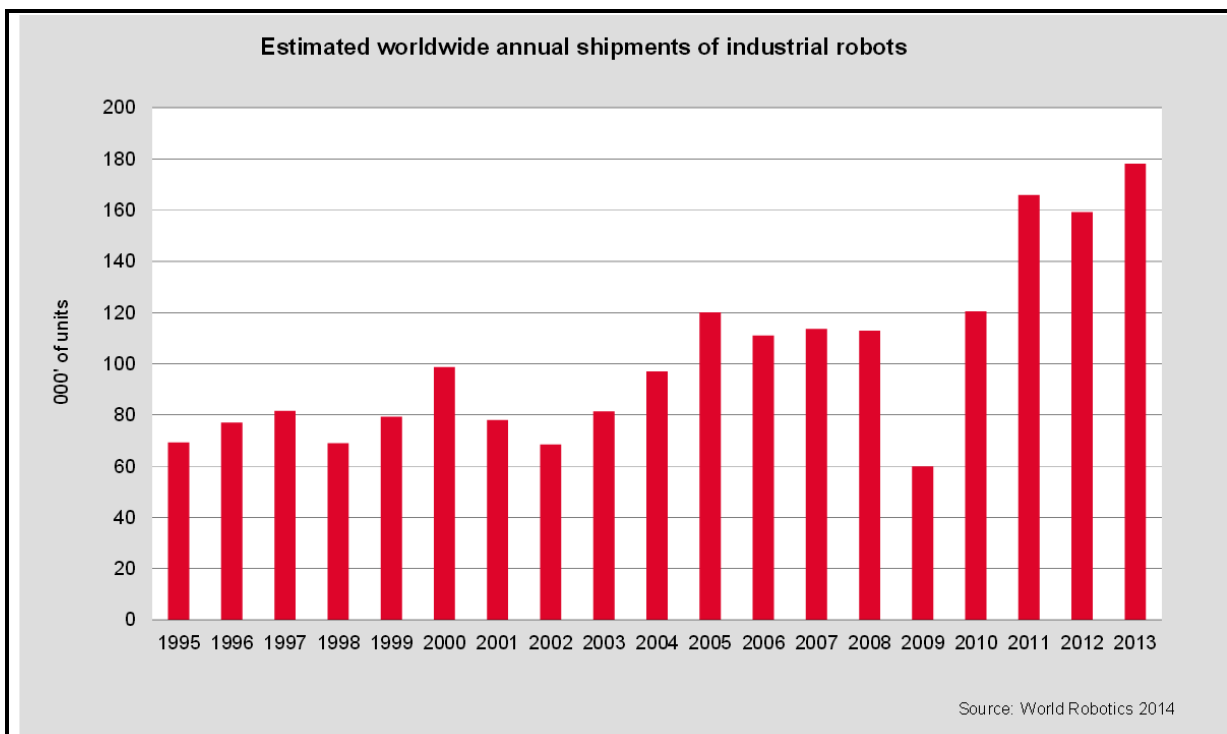
Obr. 10,11.: Příklad pracovního prostoru robota KUKA KR 1000 Titan [11]

### **-Zrychlení, rychlost, hmotnost**

Tyto veličiny jsou spjaté s nosností robota, kdy platí závislost čím větší nosnost, tím větší hmotnost samotného robota a tím i menší zrychlení a rychlost. Velikost zrychlení a rychlosti potřebujeme znát nejen k určení rychlosti manipulace, ale i k určení úchopné síly. Pro určení úchopné síly potřebujeme znát zrychlení koncového bodu. Pro určení zrychlení koncového bodu se využívají senzory, případně se zrychlení počítá, pokud jej neznáme od výrobce.

## **2.3 Statistika prodejů průmyslových robotů**

Zatím nejvíce manipulačních robotů bylo prodáno v roce 2013, jednalo se o 12% nárůst prodejů, což činilo celkem 178 132 prodaných robotů za jeden rok. Na prodeích se nejvíce podílel automobilový, chemický, gumárenský, elektrotechnický a potravinářský průmysl. V roce 2013 se stala Čína největším trhem s podílem asi 20% celkového počtu prodaných kusů. Asi 70% výroby manipulačních robotů padá na vrub Japonska, Číny, USA, Jižní Korey a Německa. Mezi roky 2008-2013, v období celosvětové finanční krize, rostl prodej robotů průměrným tempem 9,5% ročně.



Graf 1.: Celkový roční celosvětový počet dodaných průmyslových robotů. [10]

Největším evropským trhem je Německo. Značný nárůst prodeje zaznamenaly země východní a střední Evropy, především pak Česká republika a Slovensko, což je důsledkem rozšiřující se automobilové výroby.

Od roku 2010 je největším spotřebitelem průmyslových robotů automobilový průmysl, oproti ostatním průmyslovým odvětvím drží asi 40% podíl.

Celosvětový prodej průmyslových robotů měřený od jejich představení v 60. letech činí asi 2 650 000 kusů, spousta těchto robotů je již nahrazena novějšími. Průměrná životnost průmyslového robota je asi 12 let. Proto se předpokládá, že je v současnosti provozováno 1 332 000 – 1 600 000 průmyslových robotů.

Jedním z ukazatelů technologické vyspělosti země je „hustota robotizace“ na 10 000 zaměstnanců ve zpracovatelském průmyslu. Tuto hodnotu má nejvyšší Jižní Korea s 437 roboty na 10 000 zaměstnanců. V České a Slovenské republice je tato hodnota mezi 66-93 roboty na 10 000 zaměstnanců. Například Německo má tuto hustotu 282 robotů na 10 000 zaměstnanců.

Dle sledovaných dat z německého autoprávního průmyslu zvyšováním automatizace výroby nedochází k zvýšení míry nezaměstnanosti v tomto odvětví.

Do budoucna se počítá se stále zvyšující poptávkou po průmyslových robotech.

[10]




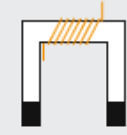

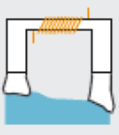
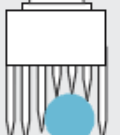



Tab. 2.: Celkové roční dodávky víceúčelových robotů ve vybraných zemích [10]

Country	2012	2013	2014*	2017*
<b>America</b>	<b>28,137</b>	<b>30,317</b>	<b>33,700</b>	<b>40,000</b>
Brazil	1,645	1,398	2,000	3,500
North America (Canada, Mexico, USA)	26,269	28,668	31,500	36,000
Other America	223	251	200	500
<b>Asia/Australia</b>	<b>84,645</b>	<b>98,807</b>	<b>120,000</b>	<b>186,000</b>
China	22,987	36,560	50,000	100,000
India	1,508	1,917	2,500	5,000
Japan	28,680	25,110	28,000	32,000
Republic of Korea	19,424	21,307	23,500	26,000
Taiwan	3,368	5,457	6,000	9,000
Thailand	4,028	3,221	4,200	7,000
other Asia/Australia	4,650	5,235	5,800	7,000
<b>Europe</b>	<b>41,218</b>	<b>43,284</b>	<b>46,000</b>	<b>55,000</b>
Czech Rep.	1,040	1,337	1,800	2,600
France	2,956	2,161	2,300	2,800
Germany	17,528	18,297	19,500	21,000
Italy	4,402	4,701	4,800	5,500
Spain	2,005	2,764	3,000	3,800
United Kingdom	2,943	2,486	2,500	3,500
other Europe	10,344	11,538	12,100	15,800
<b>Africa</b>	<b>393</b>	<b>733</b>	<b>800</b>	<b>1,000</b>
not specified by countries**	4,953	4,991	4,500	6,000
<b>Total</b>	<b>159,346</b>	<b>178,132</b>	<b>205,000</b>	<b>288,000</b>

### 3. Uchopovací systémy

Úchopné hlavice jsou typem koncových efektorů průmyslového robota. Jsou určeny k uchopení objektu manipulace. Při uchopení dochází k vytvoření určité vazby mezi robotem a objektem manipulace. Sílu této vazby označujeme jako úchopná síla. Díky této vazbě můžeme s daným objektem manipulovat. [1] [17]

Rozdělení úchopných hlavic podle principu fungování:

mechanické		podtlakové	magnetické	adhezni	adaptabilní	jehlové
nůžkové	vidlicové		elektromagnetické	adhezni fólie		
						
s paralelními čelistmi	třibodové		s permanentními magnety			
						

Obr. 12.: Rozdělení úchopných hlavic [1]

Všechny druhy úchopných hlavic mohou být rozděleny na aktivní a pasivní.

**-Aktivní chapadla:** Jsou ovládána řídicím systémem a vybaveny zpětnou vazbou. Skládají se z motoru, převodového mechanismu a aktivního úchopného prvku. Za použití motoru se provádí regulace úchopné síly i následné uvolnění objektu manipulace.

**-Pasivní chapadla:** Bývají konstrukčně velmi jednoduché a úchop je realizován samotnou jejich konstrukcí. Jsou určeny pro manipulaci s lehkými objekty. Nemají možnost regulace úchopné síly, uvolnění objektu manipulace je zapříčiněno vnější silou. [7] [9]

### 3.1 Mechanické úchopné hlavice

Tento typ chapadla je v současnosti nejrozšířenější, ale je také konstrukčně nejsložitější. Jsou složeny z prstů nebo čelistí a motoru. Motor zajišťuje pohyb těchto čelistí nebo prstů, které vykonávají úchop. Nejčastěji se jedná o pneumatický nebo elektrický motor. Výstup z motoru je přenášen přes převodový mechanismus na čelisti nebo prsty. [5]

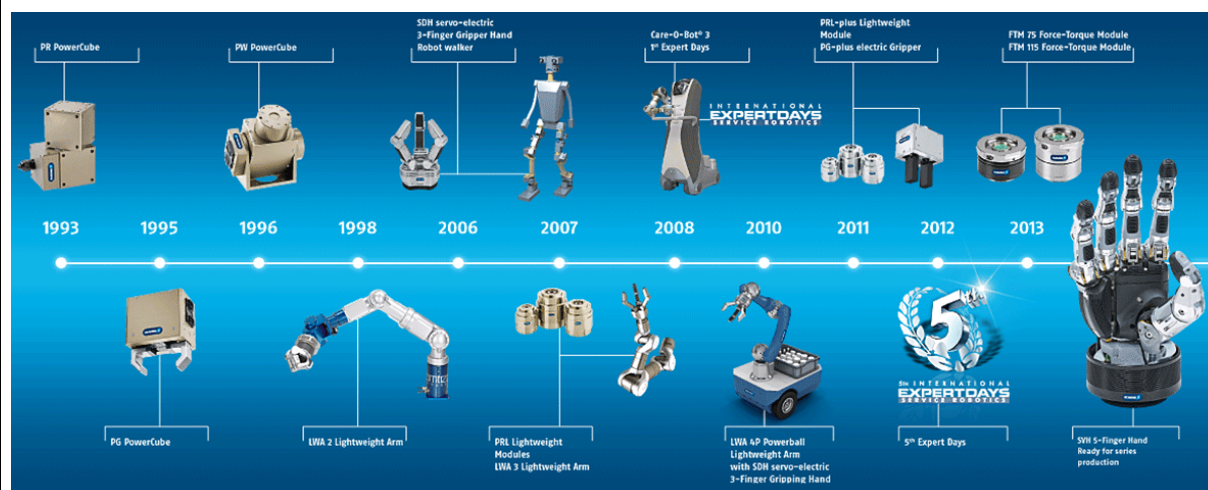
#### Rozdělení mechanických úchopných hlavic podle druhu pohonu

- Elektrické
- Pneumatické
- Hydraulické

[8]

#### 3.1.1 Počet úchopných bodů

Počet úchopných bodů se určuje u koncového efektoru, které nazýváme chapadlo. Skládá ze dvou a více čelistí nebo prstů. Dvoučelist'ová chapadla jsou nejvíce rozšířená mezi mechanickými úchopnými hlavicemi, a to především proto, že na většinu operací jsou dvě čelisti dostačující. V roce 2013 představila firma SCHUNK první sériově vyráběnou pětiprstou ruku, je téměř shodná s lidskou. Umožňuje téměř všechny pohyby jako lidská. Všechna elektronika je integrována do zápěstí. Je to jedna z nejdokonalejších úchopných hlavic. [7]



Obr. 13.: Postupný vývoj úchopných hlavic firmy SCHUNK [12]



### 3.1.2 Elektrické efekty

Elektrické efekty jsou konstrukčně složitější než pneumatické a hydraulické efekty, ale zároveň jsou hned po pneumatických efektorech nejvyužívanějším typem efektorů. A to především díky jejich dobré regulaci, která zajišťuje přesné polohování, zrychlení i generování přesné úchopné síly. Moderní elektrická chapadla bývají kombinovaná se senzory, které jsou napojeny na řídicí jednotku stejně jako elektromotor. [1] [12] [7]

Typy elektromotorů:

Pro pohon elektrických efektorů se využívají elektromotory se stejnosměrným i střídavým napětím.

Nejčastěji využívané typy motorů - Servomotory  
- Krokové motory  
- Lineární motory  
- Piezoelektrické motory

[8] [7]



*Obr. 14.: Elektrický efektor SCHUNK [12]*

#### -Servomotory

Jako většina elektrických motorů se i servomotor skládá z rotoru a statoru. Tento typ motoru převádí elektrickou energii na mechanickou, velikost a směr proudu na kotvě vytváří točivý moment. Je to prakticky jakýkoliv stejnosměrný elektrický motor se zpětnou vazbou ze snímače na hřídeli. Tato zpětná vazba umožňuje regulaci motoru.

Servomotor je schopný dodávat velký točivý moment. Většinou je kombinovaný s převodovkou pro snížení rychlosti.

[7] [8]

#### -Krokové motory



Stejně jako servomotor se i krokový motor skládá z rotoru a statoru. Tento typ motoru funguje na principu změny složek elektromagnetického pole. Tuto změnu zapříčiňuje impulsní buzení vinutím motoru. Těmito impulsy vzniká nespojitě se otáčející pole, které následovně otáčí rotorem. Poloha hřídele je závislá na počtu impulsů a její rychlost otáčení je závislá na frekvenci těchto impulsů.

Krokové motory se využívají k přímému pohonu, který nevyžaduje velký výkon. Pro zvýšení výkonu se krokový motor doplňuje hydraulickým posilovačem.

Hlavní výhodou těchto motorů je snadná říditelnost rychlosti pohybu. V robotice se používají také kvůli snadné obsluze.

Hlavní nevýhodou je nízký krouticí moment, který klesá s rostoucími otáčkami.

[7] [8]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

### **-Lineární motory**

Lineární motor vykonává posuvný pohyb místo běžného rotačního a patří mezi nejmodernější typ elektromotoru. Lineární krokové motory fungují na podobném principu jako rotační krokový motor a charakter pohybu lineárního krokového motoru je stejný jako charakter pohybu rotačního krokového motoru s převodem na pohyb translační. Avšak při stejných podmínkách bude na výstupu u lineárního motoru jemnější krokování a nižší pracovní frekvence.

Lineární motory jsou výhodné především pro mechanický přenos. Díky tomu nejsou potřeba převody, což zlepšuje dynamické vlastnosti.

Hlavním problémům těchto motorů patří velikost a chlazení. [7] [8]

### **- Piezoelektrické motory**

Tyto motory patří mezi nejnovější elektromotory, a proto jsou také málo používané. Kvůli malému generovanému výkonu se využívají k rychlé mikromanipulaci. Nefungují na principu elektromagnetické indukce jako předešlé typy elektromotorů, ale na základě piezoelektrického. K vyvolání pohybu je využito deformace piezoelektrické vrstvy povrchu statoru vůči natáčení nebo posunu rotoru.

Největší výhodou těchto motorů je poměrně velký jmenovitý moment na hřídeli.

Zásadní nevýhodou těchto motorů je relativně malý výkon. [1] [12]



*Obr. 15.: Piezoelektrický efektor SCHUNK [2]*

### **Výhody elektrického pohonu**

Největší výhodou je přesné polohování, ovládání pohybu, regulace úchopné síly a také vcelku nízké provozní náklady. Dalším kladem je možnost napájení přímo z robota. Tím odpadá nutnost dalšího pohonného zařízení. Díky napájení elektrickou energií se tyto pohony hodí i do podmínek s vysokými nároky na hygienu a čistotu.

### **Nevýhody elektrického pohonu**

Základní nevýhodou elektrického pohonu je možnost úrazu elektrickým proudem. Také potřebuje samostatnou řídicí jednotku a případné použití senzorů, což zvyšuje pořizovací cenu. Samotný efektor má v sobě elektronické součástky, které vyžadují chlazení, a to přináší omezení práce při vysokých teplotách. Také práce ve vysoce elektromagnetickém prostředí může negativně ovlivnit, nebo dokonce poškodit elektronické součásti.



### 3.1.3 Pneumatické efektory

Pneumatické efektory jsou nejvyužívanějším typem efektorů a používají se pro konstrukci jednodušších typů efektorů s nižší nosností. Díky své jednoduchosti dosahují dlouhé životnosti a spolehlivosti a jsou také levnější a jejich provoz je ekonomičtější než u ostatních typů efektorů. Používají se především v dílenském prostředí. Ochrana pohonu proti přetížení je zajištěna samotnou stlačitelností vzduchu. Pneumatické efektory se mohou využívat i v extrémních podmínkách (např. v prašném nebo magnetickém prostředí). Pneumatický pohon zajišťuje rychlé sevření a otevření čelistí.

V porovnání s jinými druhy efektorů, mají pneumatické efektory menší možnosti nastavení. Použitý vzduch může být vypuštěn přímo z efektoru, nebo ve speciálních případech odveden zvlášť. To se využívá ve velmi čistých prostorách, ve kterých je zapotřebí udržet např. hygienické podmínky. Pneumatický pohon je hlučnější než ostatní typy. [1] [12] [8] [7]



*Obr. 16.: Pneumatický efektor SCHUNK MPG [12]*

#### Výhody pneumatického pohonu

Největší výhodou je jejich bezproblémová práce v prostředí s velkou změnou teplot a v prostředí nebezpečném na vznícení. Jsou konstrukčně jednodušší než elektrické pohony, což se projeví zejména v nižší pořizovací ceně. Další výhodou jsou vysoké rychlosti přímočarých pohybů zajišťujících rychlé uchopení a upuštění objektu. Výhodou je i možnost připojení na centrální rozvod vzduchu pohonu robota.

#### Nevýhody pneumatického pohonu

Hlavní nevýhodou těchto pohonů je nízká přesnost polohování a také nutnost mazání, které se provádí vstřikováním oleje do vzduchu uvnitř efektoru, čímž ale dochází znečištění tohoto vzduchu. Ten pak vypouštíme do okolní atmosféry, nebo ho odvádíme k čištění. Nevýhodou je i drahý provoz kvůli energetické náročnosti výroby stlačeného vzduchu.

### 3.1.4 Hydraulické efekty

Hydraulické pohony fungují na stejném principu jako pneumatické, avšak místo vzduchu je zde kapalina, většinou hydraulický olej. Tento pohon může přenášet velké síly kvůli velkému vnitřnímu tlaku, který je mnohonásobně větší než tlak v pneumatických efektech. Díky nestlačitelnosti kapalin umožňuje plynulou regulaci a konstantní rychlost pohybu i sílu úchopu po dobu manipulace. [1] [12] [8] [7] [16]



*Obr. 17.: Hydraulický efektor SCHUNK HGN[12]*

#### **Výhody hydraulického pohonu**

Hlavní výhodou jsou obrovské úchopné síly a lepší přesnost polohování oproti pneumatickým efektorům. K výhodám také patří nižší cena ve srovnání s elektrickými efekty.

#### **Nevýhody hydraulického pohonu**

K hlavním nevýhodám patří potřeba hydraulického systému, pomalé pohyby čelistí, kratší životnost zapříčiněna vysokými tlaky uvnitř efektoru a s tím spojené vyšší servisní náklady. Navíc také potřeba zachování čistoty hydraulické kapaliny, např. filtrováním při opakovaném použití.

[7] [8]



Tab. 3.: Výkonové vlastnosti jednotlivých pohonů (zdroj: Fraunhofer IPA [2])

	hydraulické	pneumatické	elektrické	piezoelektrické
užitečné zatížení	High	Medium	Low	Very Low
energetická náročnost	High	Medium	Low	Very Low
hmotnost	High	Medium	Low	Very Low
zakrytování	High	Medium	Low	Very Low
složitost systému	High	Medium	Low	Very Low
rychlost	Low	Medium	High	Very High
seřiditelnost	Low	Medium	High	Very High

### 3.2 Vakuové úchopné hlavice

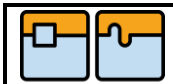

Podtlakové efekторы se využívají pro svou jednoduchou konstrukci a bezúdržbovost. Jsou používány pro manipulaci s lehčími objekty, především pak pro manipulaci s tvarově náročnějšími objekty.

Aktivní zařízení nevytváří podtlak samo o sobě. Podtlak je zajištěn externím zařízením (vakuovou pumpou, ejektorem, sacím ventilátorem nebo pneumatickým válcem). Úchopná síla je dána výkonností externího zdroje podtlaku. K uvolňování přísavky dochází buď odpojením efektoru od zdroje podtlaku, čímž dojde k vyrovnání atmosférického tlaku vně i uvnitř přísavky, nebo zavedením přetlaku do efektoru, čímž dojde k odfouknutí přísavky.

Pasivní zařízení vytváří podtlak bez pomoci vnějšího zařízení. Podtlak se vytváří samotnou deformací přísavky. Úchopná síla je zde závislá především na změně vnitřního objemu přísavky na změně vnitřního objemu. Oddělení přísavky od objektu probíhá stržením přísavky silou. [1] [3] [15]

Síla úchopu je omezena výkonem samotného externího zařízení v rozsahu 30 až 80 kPa. Podtlak vzniká, když je tlak uvnitř přísavky menší než tlak okolní. Za normálních podmínek tedy musí být hodnota podtlaku nižší, než je atmosférický tlak, který je asi 101 325Pa.

[5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

### Výhody vakuového efektoru

Tento efektor je velmi univerzální, dokáže uchopit celou řadu objektů. Další výhodou může být nízká pořizovací cena.

### Nevýhody vakuového efektoru

Hlavní nevýhodou je nízká nosnost. Případně špatné uchopení na členitém povrchu, který neposkytuje dostatečnou kontaktní plochu. Také zanechávání stop na určitých typech povrchů. U pasivních zařízení pak samotné oddělení přísavky od objektu.



*Obr. 18.: Vakuový efektor SCHUNK GSW-V 20-32 [12]*



*Obr. 19.: Druhy přísavek firmy FESTO[13]*

## 4. Manipulační úloha

Praktickou částí této práce je vytvořit manipulační úlohu v jazyce KRL ve třech různých provedeních: statickém, dynamickém a dynamickém s použitím senzorů. S využitím průmyslového robotu KUKA a vakuového efektoru. Výstupem jsou 3 zdrojové kódy programu.

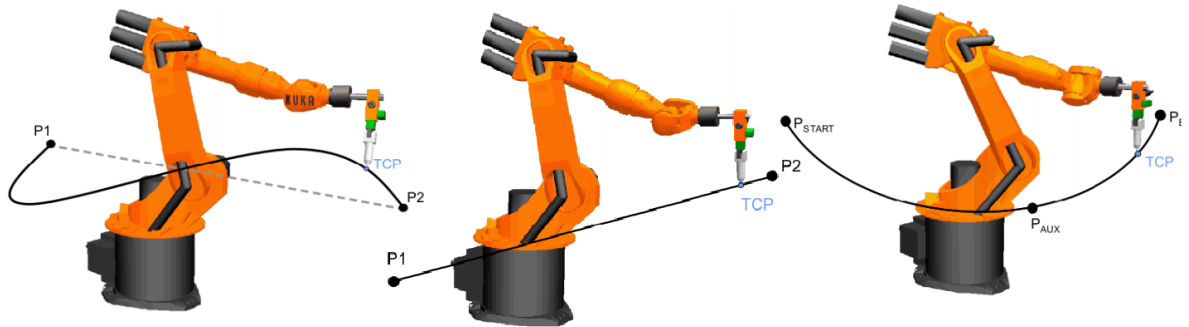
### 4.1 Postup programování robotu KUKA

#### -Základní příkazy pro pohyb průmyslového robota:

PTP – (Point to Point) Robot se pohybuje po nejrychlejší trajektorii, která není nijak definovaná, ke koncovému bodu. Pro zvýšení rychlosti je tato trajektorie zakřivená vzhledem k rotačním vazbám robota.

LIN – (Linear) Robot se pohybuje po přímce definovanou rychlostí, což je vždy nejkratší trajektorie

CIRC – (Circular) Robot se pohybuje po kruhové trajektorii definovanou rychlostí, která je dána počátečním, koncovým a pomocným bodem. [19]

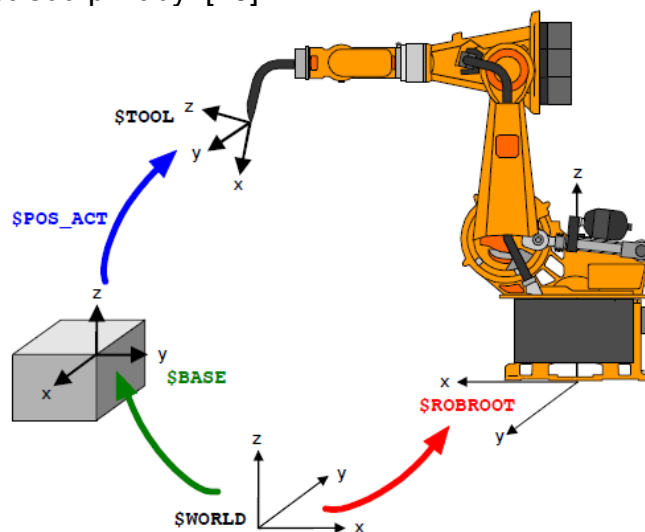


Obr. 20.: Zobrazení základních pohybových příkazu robota PTP, LIN, CIRC [19]

### -Souřadné systémy

Průmyslový robot má definované čtyři souřadné systémy (WORLD, ROBROOT, BASE, TOOL):

- WORLD (světový souřadný systém) je trvale definovaný souřadnicový systém. Ve výchozím nastavení je WORLD totožný s ROBROOT a to na základně robota.
- ROBROOT kartézský souřadnicový systém. Je definován k základně robota, ale může být předefinován. Definuje polohu robota vzhledem k souřadnému systému WORLD.
- BASE kartézský souřadnicový systém. Definuje polohu obrobku vzhledem k souřadnému systému WORLD.
- TOOL kartézský souřadnicový systém, který je umístěn na středu nástroje. Je definován vůči souřadnému systému BASE. Ve výchozím nastavení se nachází na středu příruby. [20]



Obr. 21.: Zobrazení souřadných systému a jejich vzájemného propojení[20]

### -způsob vytváření programu

Programování robota členíme na dvě základní metody on-line a off-line. On-line dělíme na teach-in a playback programování.

### Teach-in

Robot je ručně naveden na námi zvolené body, mezi kterými se bude robot pohybovat po vlastní trajektorii.

### Playback

Robot je ručně naváděn po určité trajektorii. Tuto trajektorii si robot uloží a následně je schopen samostatně ji vykonávat.

### Off-line

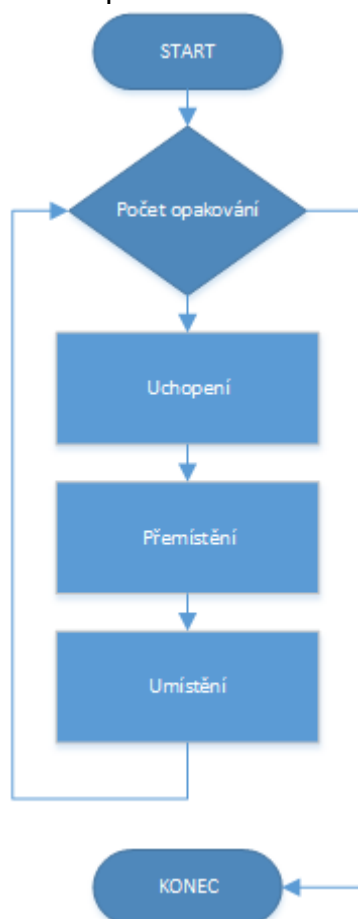
Pomocí CAD programu je vytvořena 3D simulace k dané aplikaci. Z této simulace se následovně vygeneruje CAM program. Se znalostí programovacího jazyka robota je možné napsat CAM program ručně.

[5]

## 4.2 Popis manipulační úlohy

Úloha je zadána následovně:

Je dán stoh osmi plastových kostek. Tyto kostky robot KUKA postupně odebírá pomocí vakuového efektoru a skládá je na určené místo do tvaru matice 2x4. V praxi si tuto úlohu můžeme představit například jako manipulaci se stohem plechů odebraných a umístěných pro další zpracování.



*Obr. 22.: Vývojový diagram manipulační úlohy*



## 4.3 Popis řešení jednotlivých úloh

### 4.3.1 Statické

#### Příkazy:

\$OV\_PRO = -rychlost pohybu robota v %

WAIT FOR - čekání dokud není podmínka splněna

#### Popis:

#### Hlavní program:

Program začíná deklarací spouštěcího tlačítka na vstupu 19 a deklarací bodů P1,P2 (pozičně) a home\_position (osově) s jednotlivými parametry. Následně deklaruje jednotlivé báze.

Samotný program je vykonán pomocí příkazů PTP a LIN\_REL, které zajišťují pohyb na předem dané pozice.

#### Podprogramy:

**Von()** a **Voff()** - Programy které zajišťují zapnutí a vypnutí podtlaku v přísavce pomocí dvou hodnot výstupů.

#### 4 3.1.1 Program\_01.src

```
DEF program_01()
```

```
SIGNAL start1 $IN[19]
```

```
DECL POS P1,P2
```

```
DECL AXIS home_position
```

```
;--- Declaration section ---
```

```
home_position = {A1 0, A2 -90, A3 90, A4 0, A5 90, A6 0}
```

```
P1 = {X 28,Y -250,Z 362}
```

```
P2 = {X 0,Y 0,Z 90}
```

```
BAS(#INITMOV, 0)
```

```
BAS(#BASE, 12)
```

```
BAS(#TOOL, 1)
```

```
;--- Instruction section ---
```

```
$OV_PRO = 30
```

```
PTP home_position
```

```
WAIT FOR (start1==TRUE)
```

```
;--- 1 ---
```

```
$OV_PRO = 100
```

```
PTP P1
```

```
$OV_PRO = 30
```

```
LIN_REL {Z -51}
```

```
Von ()
```

```
LIN_REL {Z +10}
```

```

LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X 0 , Y 0}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 2 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -93}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X 0 , Y +50}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 3 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -135}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X 0 , Y +100}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 4 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -177}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X 0 , Y +150}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 5 ---
$OV_PRO = 100

```



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

```
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -219}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X +50 , Y 0}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 6 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -260}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X +50 , Y +50}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 7 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -302}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X +50 , Y +100}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}

;--- 8 ---
$OV_PRO = 100
PTP P1
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -343}
Von ()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO = 100
PTP P2
PTP_REL {X +50 , Y +150}
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
```

```
Voff()
LIN_REL {Z +10}

$OV_PRO = 100
PTP home_position

END
```

```
;---- vacuum on ----
DEF Von()
$OUT[1] = FALSE
$OUT[2] = TRUE
WAIT SEC 1
END
```

```
;---- vacuum off ----
DEF Voff()
$OUT[1]=TRUE
$OUT[2]=FALSE
WAIT SEC 1
END
```

### 4.3.2 Dynamické

#### Příkazy:

INT – celočíselný datový typ  
 FOR – cyklus s předem daným počtem opakování  
 SWITCH – rozřazuje příkaz do jednotlivých polí  
 CASE – rozvětvení programu

#### Popis:

#### Hlavní program:

Stejně jako v předchozím programu i zde začínáme deklarací vstupního signálu a jednotlivých bodů P1 a home\_position. Následně deklarujeme jednotlivé báze. Přesun na jednotlivé polohy opět zajišťují příkazy PTP a LIN. Příkaz FOR I=1 TO 8 zajišťuje osm opakování cyklu, tedy uchopení, přemístění a umístění osmi kostek.

NOVY[I] je pozice středu horní plochy každé kostky. Příkaz NOVY[I].Z=P2.Z-((I-1)\*41) slouží k výpočtu jednotlivých bodů v závislosti na bodu P2 a hodnotě I, kde I je počet cyklů. Pokud je I=1 tak NOVY[1].Z=P2.Z-((1-1)\*41). To znamená, že když NOVY[1] = P2, tak k žádné změně v ose Z nedošlo. Ke změně dojde teprve, když (I=2,3,4,...).

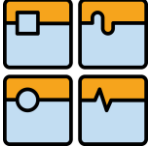
Příkazy NOVY[I].X=P2.X a NOVY[I].Y=P2.Y zde zajišťují, že v osách X a Y ke změně nedojde.

NOVY\_P1[I] má stejný výpočet jako NOVY[I], tento bod je zde z důvodu postupného snižování výšky nájezdového bodu.

#### Podprogramy:

**Von()** a **Voff()** - Programy zajišťující zapnutí a vypnutí podtlaku v přísavce pomocí dvou hodnot výstupů.



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		

**ODSAVANI()** - Program zajišťuje lineární přemístění na bod NOVY[I], zapnutí vakua, nadzvednutí a posunutí.

**placing()** – Program začíná dvěma cykly FOR vloženými do sebe, ve kterých probíhá vypočet jednotlivých pozic BODů v závislosti na proměnných radek a sloupec. BOD je deklarován jako pole 2x4 a vypočet tedy probíhá ve dvou osách (X,Y). Dále program pokračuje příkazem SWITCH, který program odkáže v závislosti na proměnné POZICE na jednotlivé oddíly CASE, ve kterých je umístěn pohybový příkaz PTP na předvypočítané souřadnice jednotlivého BODu. Dále probíhá lineární pohyb k umístění a následovné odpojení vakua podprogramem Voff().

### Datový soubor

V datovém souboru jsou deklarovány všechny globální proměnné jako I, POZICE, radek, sloupec, nebo pole NOVY[8], BOD[2,4], NOVY\_P1[8], kde v hranatých závorkách určujeme maximální nabývaný rozměr pole, a také body P2 a P3, které využíváme i v jednotlivých podprogramech.

#### 4 3.2.1 Program\_02.src

```
DEF program_02()
```

```
SIGNAL start_01 $IN[19]
```

```
DECL POS P1
```

```
DECL AXIS home_position
```

```
;--- Declaration section ---
```

```
home_position = {A1 0, A2 -90, A3 90, A4 0, A5 90, A6 0}
```

```
P1 = {X 28, Y -250, Z 362}
```

```
P2 = {X 28, Y -250, Z 311}
```

```
P3 = {X 0, Y 0, Z 90}
```

```
BAS(#INITMOV, 0)
```

```
BAS(#BASE, 12)
```

```
BAS(#TOOL, 1)
```

```
POZICE=1
```

```
$OV_PRO = 30
```

```
PTP home_position
```

```
WAIT FOR start_01==TRUE
```

```
$OV_PRO = 100
```

```
PTP P1
```

```
LIN_REL {Z-51}
```

```
FOR I=1 TO 8
```

```
NOVY[I].Z=P2.Z-((I-1)*41)
```

```
NOVY[I].X=P2.X
```

```
NOVY[I].Y=P2.Y
```

```
NOVY_P1[I].Z=P1.Z-((I-1)*41)
```

```
NOVY_P1[I].X=P1.X
NOVY_p1[I].Y=P1.Y
```

```
ODSAVANI()
```

```
$OV_PRO = 100
PTP P3
```

```
placing()
```

```
$OV_PRO = 100
PTP NOVY_p1[I]
```

```
ENDFOR
```

```
$OV_PRO = 100
PTP home_position
```

```
END
```

```
;---- ODSAVANI ----
```

```
DEF ODSAVANI()
```

```
LIN NOVY[I]
```

```
Von()
```

```
LIN_REL {Z +10}
```

```
LIN_REL {Y +50}
```

```
END
```

```
;---- plancig ----
```

```
DEF placing()
```

```
FOR radek = 1 to 2
```

```
FOR sloupec = 1 to 4
```

```
BOD[radek,sloupec].X=P3.Z + ((radek-1)*50)
```

```
BOD[radek,sloupec].Y=P3.Y + ((sloupec-1)*50)
```

```
BOD[radek,sloupec].Z=P3.Z
```

```
ENDFOR
```

```
ENDFOR
```

```
SWITCH POZICE
```

```
CASE 1
```

```
PTP BOD[1,1]
```

```
CASE 2
```

```
PTP BOD[1,2]
```

```
CASE 3
```

```
PTP BOD[1,3]
```

```
CASE 4
```

```
PTP BOD[1,4]
```

```
CASE 5
```

```
PTP BOD[2,1]
```

```
CASE 6
```

```
PTP BOD[2,2]
```

```
CASE 7
```

```
PTP BOD[2,3]
```

```
CASE 8
```

```
PTP BOD[2,4]
```

```
ENDSWITCH
```



```
POZICE=POZICE+1
```

```
$OV_PRO = 30  
LIN_REL {Z -65}  
Voff()  
LIN_REL {Z +10}
```

```
END
```

```
;---- vacuum on ----
```

```
DEF Von()  
$OUT[1] = FALSE  
$OUT[2] = TRUE  
WAIT SEC 1  
END
```

```
;---- vacuum off ----
```

```
DEF Voff()  
$OUT[1]=TRUE  
$OUT[2]=FALSE  
WAIT SEC 1  
END
```

#### 4 3.2.2 Program\_02.dat

```
DEFDAT program_02  
INT I,POZICE,sloupec,radek
```

```
DECL POS P2  
DECL POS P3
```

```
DECL POS NOVY[8],BOD[2,4],NOVY_P1[8]
```

```
EXTERNAL DECLARATIONS  
ENDDAT
```

### 4.3.3 Dynamické s použitím senzorů

#### Příkazy:

INT – celočíselný datový typ

INTERRUPT - přerušení programu při splnění podmínky a přechod k podprogramu

LOOP – nekonečný cyklus

FOR - cyklus s předem daným počtem opakování

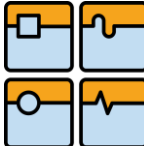
SWITCH – rozřazuje příkaz do jednotlivých polí

CASE – rozvětvení programu

#### Popis:

#### Hlavní program:

Zde začínáme deklarací bodu home\_position. Následuje deklarace příkazu INTERRUPT, který je podmíněn vstupním signálem \$IN[18] (snímač vakua, který ověří a potvrdí uchopení). Když je uchopení potvrzeno, je spuštěn podprogram

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

prisal()). Následně deklarujeme jednotlivé báze. Přesuny na jednotlivé polohy jsou i zde vykonány příkazy PTP a LIN. Následuje cyklus look, ve kterém je zahrnut podprogram pohyb\_dolu(), následuje výpočet bodu NOVY\_P1[I] (popis výpočtu viz. předchozí program), který opět snižuje výšku nájezdového bodu. Příkaz INTERRUPT OFF 1 vypíná funkci INTERRUPT. Následně je spuštěn podprogram placing() a dále je ukončen cyklus ENDLOOP.

### Podprogramy:

**Von()** a **Voff()** - Programy které zajišťují zapnutí a vypnutí podtlaku v přísavce pomocí dvou hodnot výstupů.

**pohyb\_dolu()** - Program zajišťuje zapnutí funkce INTERRUPT, následuje příkaz \$ADVANCE=0, který zajišťuje, že robot vidí pouze následující příkaz oproti třem příkazům následujícím za normálních okolností. Je to důležité z toho důvodu, aby byl program pozastaven dříve, než dojde na poslední řádek programu, který by celý program ukončil. Následuje zapnutí vakua pomocí podprogramu Von() a následovný LIN pohyb na bod P2. V tomto pohybu dochází k uchopení kostek a tedy potvrzení snímače vakua. Tím dojde k přerušení programu příkazem INTERRUPT a vykonání podprogramu prisal()).

**prisal()** – Program začíná vypnutím funkce INTERRUPT. Následující příkaz BRAKE okamžitě zastaví pohyb. Následuje příkaz RESUME, který zruší všechny podprogramy a vrátí se do hlavního programu na následující příkaz za podprogramem pohyb\_dolu()).

**placing()** – Program začíná LIN pohyby k nadzvednutí a posunutí kostky, poté následuje přesun na bod P3. Následně program začíná počítání jednotlivých pozic stejně jako v předchozím případě. To začíná dvěma cykly FOR vloženými do sebe, ve kterých probíhá výpočet jednotlivých pozic BODů v závislosti na proměnných radek a sloupec. BOD je deklarován jako pole 2x4 a výpočet tedy probíhá ve dvou osách (X,Y). Dále program pokračuje příkazem SWITCH, který nás v závislosti na proměnné POZICE odkáže na jednotlivé oddíly CASE, ve kterých je umístěn pohybový příkaz PTP na předvypočítané souřadnice jednotlivého BODu. Dále probíhá lineární pohyb k umístění a následovné odpojení vakua podprogramem Voff(). A dále přejezd na snižující se bod NOVY\_P1[I].

### Datový soubor

V datovém souboru jsou deklarovány všechny globální proměnné jako I, POZICE, radek, sloupec, nebo pole BOD[2,4], NOVY\_P1[8], kde v hranatých závorkách určujeme maximální nabývaný rozměr pole, a také body P1, P2 a P3, které využíváme i v jednotlivých pod programech.

#### 4 3.3.1 Program\_03.src

```
DEF program_03( )
```

```
DECL AXIS home_position
```

```
INTERRUPT DECL 1 WHEN $IN[18]==TRUE DO prisal()
```



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

```
BAS(#INITMOV, 0) ;Initialization of velocities,
BAS(#BASE, 12)
BAS(#TOOL, 1)

home_position = {A1 0, A2 -90, A3 90, A4 0, A5 90, A6 0}
P1 = {X 28, Y -250, Z 362}
P2 = {X 28, Y -250, Z -15}
P3 = {X 0, Y 0, Z 90}
I=0
POZICE=1

$OV_PRO=30
PTP home_position
$OV_PRO=100
PTP P1 ;NAJEZD NAHORE
loop
pohyb_dolu()

I=I+1
NOVY_P1[I].Z=P1.Z-((I-1)*41)
NOVY_P1[I].X=P1.X
NOVY_P1[I].Y=P1.Y

INTERRUPT OFF 1

placing()
endloop
END

DEF Von()
$OUT[1]=FALSE
$OUT[2]=TRUE
WAIT SEC 0.1
END

DEF Voff()
$OUT[1]=TRUE
$OUT[2]=FALSE
END

DEF pohyb_dolu()
INTERRUPT ON 1
$ADVANCE=0
$OV_PRO=30
Von()
LIN P2
END

DEF prisa()
INTERRUPT OFF 1
BRAKE
RESUME
END

DEF placing()
LIN_REL {Z +10}
LIN_REL {Y +50}
$OV_PRO=100
```

PTP P3

```
FOR radek = 1 to 2
FOR sloupec = 1 to 4
BOD[radek,sloupec].X=P3.Z + ((radek-1)*50)
BOD[radek,sloupec].Y=P3.Y + ((sloupec-1)*50)
BOD[radek,sloupec].Z=P3.Z
ENDFOR
ENDFOR
```

SWITCH POZICE

```
CASE 1
PTP BOD[1,1]
CASE 2
PTP BOD[1,2]
CASE 3
PTP BOD[1,3]
CASE 4
PTP BOD[1,4]
CASE 5
PTP BOD[2,1]
CASE 6
PTP BOD[2,2]
CASE 7
PTP BOD[2,3]
CASE 8
PTP BOD[2,4]
ENDSWITCH
```

POZICE=POZICE+1

```
$OV_PRO = 30
LIN_REL {Z -65}
Voff()
LIN_REL {Z +10}
PTP NOVY_p1[I] ;NAJEZD NAHORE
```


END

#### 4 3.3.2 Program\_03.dat

DEFDAT program\_03

INT I,POZICE,sloupec,radek

```
DECL POS P1
DECL POS P2
DECL POS P3
DECL POS BOD[2,4],NOVY_p1[8]
EXTERNAL DECLARATIONS
ENDDAT
```

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 5. Závěr

V teoretické části práce je proveden základní rozbor procesu manipulace, který je jedním z nejběžnějších procesů v průmyslu. Dále se teoretická část věnuje popisu a rozboru samotného manipulovaného objektu vzhledem k jeho charakteristikám důležitým především pro manipulování za pomoci průmyslového robotu.

Průmyslové roboty rozdělujeme do mnoha kategorií v závislosti na zvoleném kritériu. V této práci jsou průmyslové roboty rozděleny podle kinematických struktur a stupňů volnosti. Jsou zde specifikovány dnes nejčastěji používané typy robotů s jejich charakteristickými vlastnostmi a popsány základní technické parametry průmyslových robotů.

Automatizace pracovišť je tématem dneška, což dokazuje i statistika stále rostoucích prodejů průmyslových robotů. Tento rostoucí trend prodeje zároveň zajišťuje další vývoj a prodej nových robotů i nových koncových efektorů s vyšší efektivitou. Především pak úchopné systémy robota prošly za poslední roky velkým vývojem. Zásahu na tom mají i nové druhy pohonů, jako například lineární či piezoelektrické motory.

Úchopné systémy lze rozdělit podle mnoha kritérií. Mezi základní rozdělovací kritéria patří např. potřeba motoru k fungování systému (aktivní, pasivní), princip fungování (mechanické, vakuové, magnetické...) nebo typ pohonu (elektrické, pneumatické, hydraulické). Tato práce se zaměřuje na popis aktivních mechanických a vakuových úchopných hlavic.

Praktická část práce se zabývá vytvořením manipulační úlohy ve třech provedeních v KRL kódu. Programování robotů se provádí dvěma základními metodami a to off-line a on-line. Jsou zde popsány základní pohybové příkazy robota a jeho souřadné systémy. K manipulační úloze je zde jeden jednoduchý vývojový diagram. Ke každému vypracovanému programu je zvlášť uveden stručný popis programu se základními použitými příkazy.

Výstupem jsou tři programy s různým provedením statické, dynamické a dynamické s využitím senzoru. Statické programování je používáno převážně pro jednodušší aplikace. Takto naprogramovaný program je jednoduchý, nejsou zde žádné proměnné, ale bývá velmi dlouhý, obzvlášť když se jedná o program, který svou činnost opakuje. Pro jeho úpravu je potřeba mnoha změn. Dynamické programování je o něco těžší, jsou zde používány proměnné, které se díky opakování cyklů mění. Takto naprogramovaný program bývá kratší u programů, které svou činnost opakují vzhledem k tomu, že každý cyklus vypíšeme jen jednou, a také úprava programu je mnohem jednodušší než u statického. Dynamické s využitím senzoru je velmi podobné dynamickému, funkce v cyklu jsou zde spouštěny splněním podmínky signálu ze senzoru. Problémem je zde možná porucha senzoru, která by mohla napáchat velké škody.

Proto je rozumnější v provozech využívat dynamické programování.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Seznam použitých zdrojů

- [1] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005, 248 p. ISBN 3540256571.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008], 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3] MATHIA, Karl. *Robotics for electronics manufacturing: principles and applications in cleanroom automation*. New York: Cambridge University Press, 2010, xii, 238 p. ISBN 9780521876520.
- [4] HEGDE, By Ganesh S. *A textbook on industrial robotics*. New Delhi: Laxmi Publications, 2006. ISBN 8170089247.
- [5] Blecha, P., Z. Kolíbal, R. Knoflíček, A. Pochylý, T. Kubela, R. Blecha, T. Březina. *Mechatronika, Modul 10: Robotika* [on-line]. 2008, [cit. 2015-05-02]. Dostupný z [www: <http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/7/Modul%2010%20Tschechisch%20komplett.pdf>](http://www.adam-europe.eu/prj/3810/prd/1/7/Modul%2010%20Tschechisch%20komplett.pdf).
- [6] PIRES, J. *Industrial robots programming: building applications for the factories of the future*. New York: Springer, c2007, xiv, 282 p. ISBN 0387233261-.
- [7] RUMÍŠEK, P. *Automatizace: roboty a manipulátory* [online]. Brno: 2003 [cit. 2015-05-02]. 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).
- [8] VROŽINA M., DAVID J., GARZINOVÁ R. *AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ* [online]. Ostrava: 2008 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/638-Vrozina-Prumyslove-roboty-a-manipulatory.pdf>](http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/638-Vrozina-Prumyslove-roboty-a-manipulatory.pdf).
- [9] *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ* [online]. ČVUT Praha [cit. 2015-05-02]. Dostupné z [www: <http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor\\_stud/VSZ\\_-\\_2351054/VSZ\\_-\\_Priprava.pdf>](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Priprava.pdf).
- [10] *Industrial Robot Statistics*. International federation of robotics [online]. 2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>](http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/).
- [11] KUKA: Robotics [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/>](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/).
- [12] SCHUNK: Superior Clamping and Gripping [on-line]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z [www: <http://www.cz.schunk.com/schunk/index.html?country=CZE&r=1>](http://www.cz.schunk.com/schunk/index.html?country=CZE&r=1) a [<http://mobile.schunk-microsite.com/>](http://mobile.schunk-microsite.com/).



[13] FESTO [on-line].2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z www: <[http://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](http://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)>.

[14] ROBOTI.CZ: Vše o průmyslových robotech [online]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.roboti.cz/>>.

[15] Vakuumtechnik. [online].2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z www: <http://www.vakuumtechnik.cz/>

[16] PONOMAREVA, Elena. Hydraulic and Pneumatic Actuators and their Application Areas. 2006, s. 24. Dostupné z www: <<http://www14.informatik.tu-muenchen.de/konferenzen/Jass06/courses/5/Papers/Ponomareva.pdf>>.

[17] FANUC America Corporation [on-line]. 2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.fanucamerica.com/>>.

[18] ABB: Česká republika [online]. 2015 [cit. 2015-05-02].. Dostupné z www: <<http://new.abb.com/cz>>.

[19] Operating and Programming Instructions For End Users For KUKA System Software V5.2, V5.3, V5.4. KUKA Roboter GmbH, 2006. [cit. 2015-05-02].

[20] Expert programming, KUKA System Software (KKS). KUKA Roboter GmbH, 2006, [cit. 2015-05-02].

## Seznam obrázků

Obr. 1.: Schéma manipulačního procesu [1].....	10
Obr. 2.: Zobrazuje jednotlivé typy kinematických struktur. [1] .....	13
Obr. 3.: Zobrazení os robota s 6DOF [11].....	14
Obr. 4.:Příklad 6DOF robota KUKA KR 1000 Titan [11].....	14
Obr. 5.: Zobrazení os robota se 7DOF [11].....	14
Obr. 6.: Příklad 7DOF robota KUKA LBR iiwa7 [11].....	14
Obr. 7.: Zobrazení os robota SCARA[11] .....	15
Obr. 8.:Příklad robota KUKA KR10 SCARA [11].....	15
Obr. 9.: Příklad delta robota ABB IRB 360 [18].....	16
Obr. 10,11.: Příklad pracovního prostoru robota KUKA KR 1000 Titan [11].....	17
Obr. 12.: Rozdělení úchopných hlavic [1] .....	19
Obr. 13.: Postupný vývoj úchopných hlavic firmy SCHUNK [12].....	20
Obr. 14.: Elektrický efektor SCHUNK [12].....	21
Obr. 15.: Piezoelektrický efektor SCHUNK [2].....	22
Obr. 16.:Pneumatický efektor SCHUNK MPG[12] .....	23
Obr. 17.: Hydraulický efektor SCHUNK HGN[12].....	24
Obr. 18.: Vakuový efektor SCHUNK GSW-V 20-32 [12] .....	26
Obr. 19.: Druhy přísavek firmy FESTO[13].....	26
Obr. 20.: Zobrazení základních pohybových příkazu robota PTP, LIN, CIRC [19] ....	27
Obr. 21.: Zobrazení souřadných systému a jejich vzájemného propojení[20] .....	27
Obr. 22.: Vývojový diagram manipulační úlohy .....	28

## Seznam tabulek a grafů

Tab. 1.: Parametry ovlivňující úchop [2].....	11
Tab. 2.:Celkové roční dodávky víceúčelových robotů ve vybraných zemí [1].....	19
Tab. 3.: Výkonové vlastnosti jednotlivých pohonů (zdroj: Fraunhofer IPA [2]) .....	25
Graf 1.: Celkový roční celosvětový počet dodaných průmyslových robotů.[1] .....	18