



**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**

# **SOUČASNÉ MOŽNOSTI A TRENDY PRO** **PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ**

**CURRENT POSSIBILITIES AND TRENDS FOR PROGRAMMING OF INDUSTRIAL ROBOTS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MICHAL HLAVATÝ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. ALEŠ POCHYLÝ**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Michal Hlavatý

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

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

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

### **Současné možnosti a trendy pro programování průmyslových robotů**

v anglickém jazyce:

### **Current possibilities and trends for programming of industrial robots**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzujte aktuální trendy a možnosti v oblasti programování průmyslových robotů. Jde především o následující metody: online, off-line a specifických přístupů jako je spolupráce mezi robotem a obsluhou - human-robot interaction/cooperation či uplatnění tzv. silo-momentového řízení pro aplikace typu broušení, frézování, vrtání, automatické montáže apod.

Cíle bakalářské práce:

1. Analyzujte a vlastními slovy popište aktuální metody či trendy pro programování průmyslových robotů (metody online, off-line, human robot interaction/cooperation, force torque control apod.).
2. Analyzujte výhody a nevýhody jednotlivých metod a specifikujte pro jaký typ aplikací jsou jednotlivé metody vhodné.
3. Analyzujte vybrané softwarové systémy pro simulaci a off-line programování robotických buněk.

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

---

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

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřená na popis aktuálních programovacích metod průmyslových robotů. Porovnává hlavní typy metod a seznamuje s novými trendy v programování robotů jako jsou silomomentové řízení, či spolupráce mezi člověkem a robotem. Výsledkem práce je poukázat na výhody a nevýhody těchto typů a specifikovat jejich vhodné využití v průmyslové sféře.

## **Klíčová slova**

průmyslový robot, online, offline programování, silomomentové řízení, spolupráce člověk-robot

## **Abstract**

Bachelor thesis focuses on describing of actual methods of industrial robots' programming. It compares main types of methods and informs about new trends in robots' programming as are force/torque control and human-robot interaction. Product of this thesis is to point out pros and cons of this types and to specify their proper use in industrial sphere.

## **Keywords**

Industrial robot, online, offline programming, force/torque control, human-robot cooperation

## **Bibliografická citace:**

HLAVATÝ, M. *Současné možnosti a trendy pro programování průmyslových robotů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

## **Prohlášení**

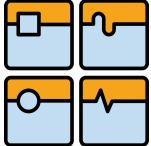
Prohlašuji, že jsem túto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Aleša Pochylého. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 24.05.2011

Podpis: .....

## **Pod'akovanie**

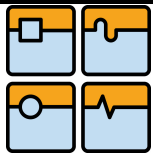
Chcel by som pod'akovať pánovi Ing. Alešovi Pochylému za vedenie pri tejto bakalárskej práci, usmernenie a množstvo cenných rád.

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 1
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>2. PRIEMYSELNÉ ROBOTY</b> .....	<b>5</b>
2.1 DEFINÍCIA PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV .....	5
2.2 ŠTATISTICKÝ VÝVOJ PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV .....	6
2.3 DRUHY PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV .....	9
2.3.1 Rozdelenie priemyselných robotov podľa kinematickej štruktúry .....	10
2.3.2 Rozdelenie priemyselných robotov podľa nosnosti.....	12
<b>3. PROGRAMOVANIE ROBOTOV</b> .....	<b>13</b>
3.1 ÚVOD DO PROGRAMOVANIA PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV .....	13
3.1.1 Súradnicové systémy.....	13
3.1.2 Hlavné pohyby robota.....	14
3.2 ON-LINE PROGRAMOVANIE .....	17
3.2.1 Metóda postupného učenia ( <i>Teach-in</i> ) .....	20
3.3 3D SIMULÁCIA A OFFLINE PROGRAMOVANIE .....	21
3.4 SOFTWARE PRE OFFLINE PROGRAMOVANIE .....	23
3.4.1 Rozdelenie systémov pre simuláciu a offline programovanie.....	23
3.4.2 Porovnanie vybraných systémov pre offline programovanie .....	25
3.5 SPOLUPRÁCA MEDZI ROBOTOM A ČLOVEKOM .....	28
3.6. SILOMOMENTOVÉ RIADENIE PRIEMYSELNÝCH ROBOTOV .....	29
<b>4. ZÁVER</b> .....	<b>33</b>
<b>5. POUŽITÁ LITERATÚRA</b> .....	<b>35</b>
<b>6. ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>38</b>
<b>7. ZOZNAM GRAFOV</b> .....	<b>39</b>
<b>8. ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>39</b>





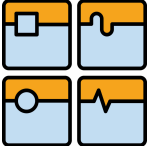
## 1. ÚVOD

Priemyselné roboty majú za sebou dlhý vývoj od 80-tych rokov dvadsiateho storočia, kedy sa postupne začali presadzovať od základných po dnes už komplikovaných technologických procesov. Dnes sú roboty už neodmysliteľnou súčasťou priemyselnej výroby a to vďaka rýchlej a spoľahlivej činnosti, ktorou prispievajú k rastu úrovne priemyselnej výroby. Postupný nárast dodávok robotov do celého sveta je dôkazom toho, že robotizácia je perspektívnym oborom v mnohých priemyselných odvetviach. Graf 1.1 ukazuje ročný nárast dodávok priemyselných robotov do celého sveta.



**Graf 1 Odhadované ročné dodávky priemyselných robotov**  
Zdroj: <http://www.worldrobotics.org> (upravené)

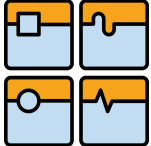
Zavádzanie robotov do technologického procesu je významný krok vpred pre zvýšenie a skvalitnenie pracovného procesu. Prináša mnoho pozitív po technickej aj ekonomickej stránke. Roboty nahrádzajú ľudskú pracovnú silu a to v prácach, kde sa vyskytuje či už monotónnosť, škodlivé prostredie alebo fyzická náročnosť a iné ľuďom neprospievajúce činitele a tým vytvárajú viditeľne lepšie podmienky pre skvalitnenie spôsobu života.

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

Robotizácia má uplatnenie hlavne v hromadných, no v dnešnej dobe si nachádza uplatnenie už aj v malosériových výrobách.

V bakalárskej práci sa budem venovať priemyselným robotom a ich programovaniu. V prvej časti bakalárskej práce uvediem krátky prehľad priemyselných robotov a stručne popíšem históriu. Ďalej sa budem venovať mechatronickému prístupu ku konštrukcii robotov s ohľadom na riadenie. Cieľom tejto úvodnej kapitoly je spoznanie a zoznámenie sa s priemyselnými robotmi.

Od začiatku tretej kapitoly sa už budem venovať zadanej téme a to programovaniu priemyselných robotov. Zameriam sa na konkrétne druhy programovacích metód. Postupne ich rozdelím a popíšem od najpoužívanejších po metódy dnes sa rozvíjajúce. Zameriam sa na charakteristické znaky a tiež popíšem ich priebeh programovania a postupne porovnáam jednotlivé typy programovaní.

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

## 2. Priemyselné roboty

### 2.1 Definícia priemyselných robotov

Pojem robot je v súčasnosti neodmysliteľnou súčasťou slovnéj zásoby. Od roku 1920, kedy tento pojem použil Karel Čapek vo svojej divadelnej hre R.U.R (Rosums Universal robots), sa slovo robot usadilo v mnohých svetových jazykoch a oblastiach. Tento pojem je však len všeobecným vyjadrením strojov, ktoré pracujú na základe určitej svojej inteligencie. Roboty sú v každej sfére odlišné, a preto sa pojem robot ďalej špecifikuje.

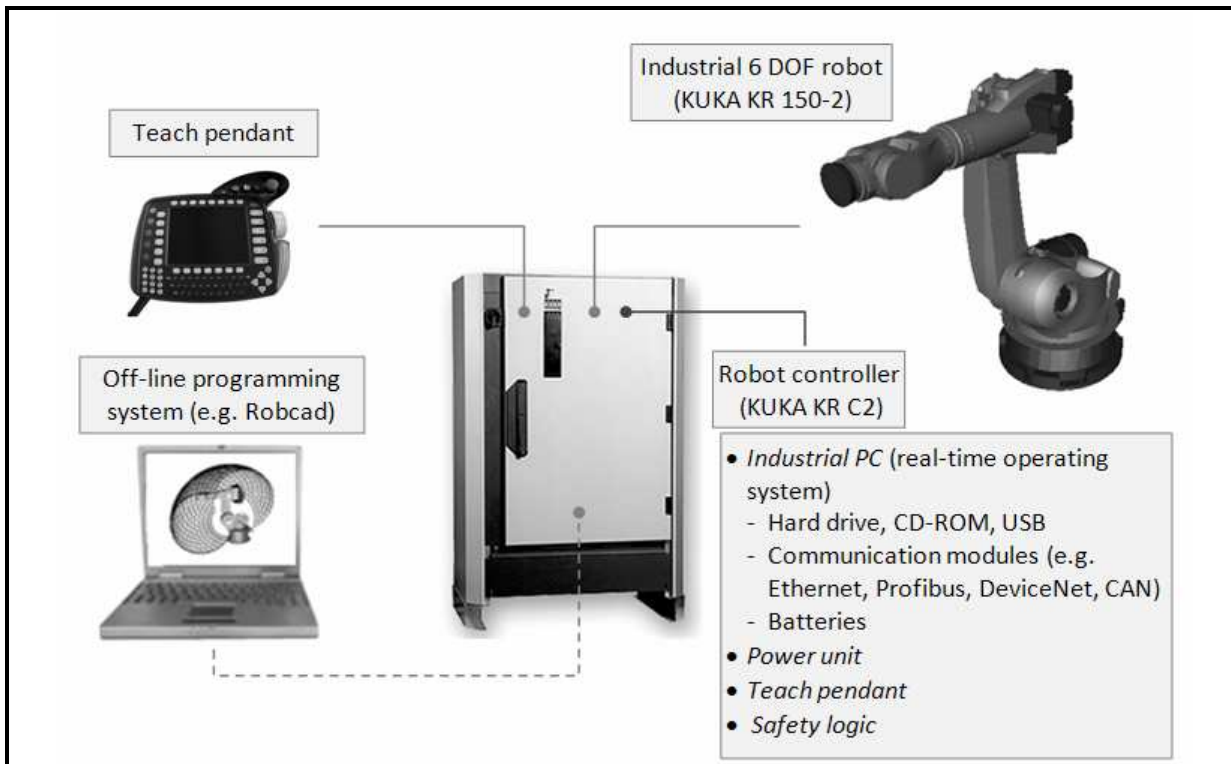
V oblasti priemyslu sa stretávame s priemyselnými robotmi, ktoré sa ďalej pomenúvajú v závislosti na druhu práce, na ktorú sú určené. O pojmu priemyselné roboty sa viac dozvieme z definície od prof. P.N. Beljanina [1; 12] :

„Priemyselný robot je autonómne fungujúci stroj-automat, ktorý je určený k reprodukcii niektorých pohybových a duševných funkcií človeka pri vykonávaní pomocných a základných výrobných operácií bez bezprostrednej účasti človeka a ktorý je k tomuto účelu vybavený niektorými jeho schopnosťami (sluchom, zrakom, hmatom, pamäťou a podobne), schopnosťou samovýuky, samoorganizácie a adaptácie, t.j. prispôsobeniu k danému prostrediu.“

Z tejto definície teda vyplýva, že priemyselný robot je zariadenie, ktoré má viacero veľmi podstatných vlastností:

- Manipulačná schopnosť.
- Univerzálnosť.
- Schopnosť návaznosti s prostredím.
- Autonómnosť chovania.

Priemyselné roboty sú funkčne podobné robotom, ale hlavným rozdielom je pružnosť v programovateľnosti robota. Priemyselný robot je prevažne konštruovaný ako kĺbový robot s ramenným, lakt'ovým a zápästným kĺbom. Stredne veľké roboty majú únosnosť okolo 300N, ale niektoré až cez 3000N. Ich pracovný dosah je približne taký ako pri dosahu ruky človeka. Roboty ale uchopujú predmety rýchlejšie ako človek a to rýchlosťou až 1 m/s [1; 12].



**Obr. 1** Základné prvky robotického systému  
 Zdroj: POCHYLÝ, A. Prezentácia: Programování průmyslových robotů

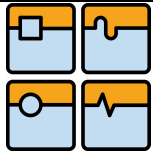
Roboty sú zložité zariadenia, a preto je aj ich riadenie podstatne zložité. Podstatnú úlohu pri vykonávaní činnosti robota zohráva súhra pohybov a to najmä súhra pohybov v kĺboch. Aby roboty spoľahlivo a správne fungovali, je potrebný riadiaci systém s výkonným procesorom [1; 2].

## 2.2 Štatistický vývoj priemyselných robotov

V súčasnosti používa priemyselné roboty mnoho podnikov. Priemyselné roboty nahrádzajú v mnohých fyzicky náročných činnostiach ľudskú silu. Ale tak ako všetky zariadenia stroje či prístroje aj roboty majú za sebou dlhý vývoj.

Už v roku 1954 vynálezca George Devol (nazývaný aj otec robotiky) nechal patentovať prvé robotické zariadenie. Od tohto okamžiku sa vývoj niesol najmä v znamení významných pokrokov a dátumov:

- 1956 – Založená prvá robotická spoločnosť Unimation.
- 1961 – Nainštalovaný prvý priemyselný robot v továrni General Motor's.
- 1967 – Nainštalovaný prvý priemyselný robot v Európe.



**Obr. 2 Prvý prototyp priemyselného robota**

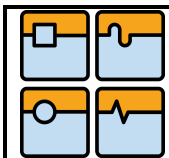
Zdroj: <http://www.madehow.com/Volume-2/Industrial-Robot.html>

Prvý robot bol používaný na tlakové liatie a slúžil len na jednu operáciu narozdiel od dnešných robotov.

Prelom vo vývoji robotov bol ovplyvnený najmä rozvojom počítačov a mikroelektronických súčiastok ale najmä mikroprocesorov. Prvé robotické zariadenie ovládané elektronicky bolo však vytvorené už v roku 1967.

- 1971 – Prvý prototyp riadiaceho programu IRB6.
- 1973 – KUKA Robotics uviedla na trh svojho prvého robota s názvom Famulus.

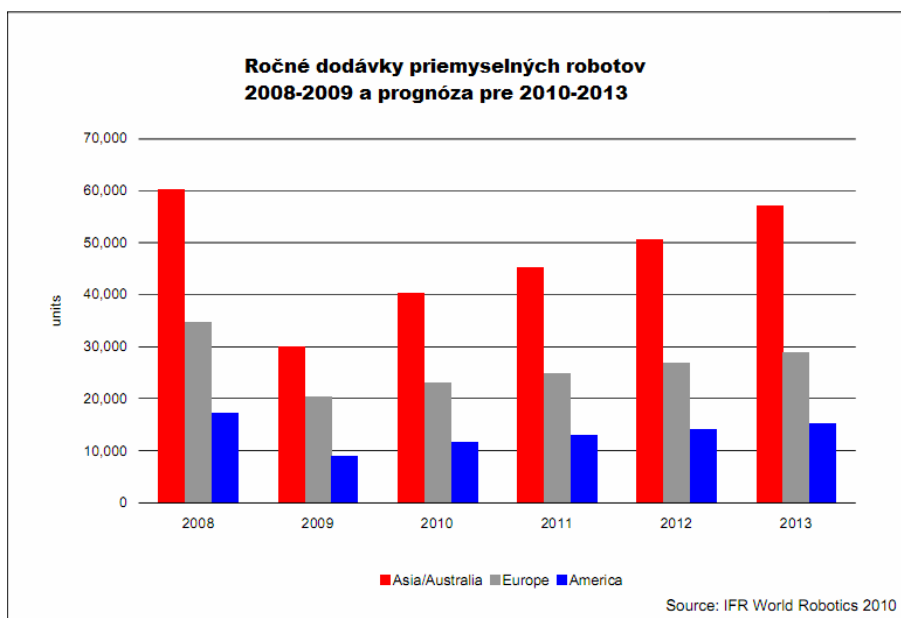
V prvej polovici 80-tych rokov bol veľký záujem zameraný na priemyselné roboty. Robotika bola označovaná ako kľúčová oblasť v rozvoji priemyslu a k dosiahnutiu väčšej konkurencieschopnosti. Od druhej časti 80-tych rokov je robotika zameraná na vývoj a zavádzanie nových technológií a materiálov. Postupným zdokonaľovaním rástol aj počet využívaných robotov až dodnes [9; 10]. Databáza Worldrobotics ([www.worldrobotics.org](http://www.worldrobotics.org)), zaoberajúca sa štatistikami, uverejnila na stránkach graf (Graf 2.), ktorý ukazuje postupné odhadované využívanie priemyselných robotov až dodnes.



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Graf 2 Odhadované celosvetové zásoby priemyselných robotov**Zdroj: <http://www.worldrobotics.org> (upravené)

Z grafu 2. je viditeľný postupný nárast počtu prevádzkyschopných robotov, a preto sa predpokladá ďalší nárast aj do budúcnosti.

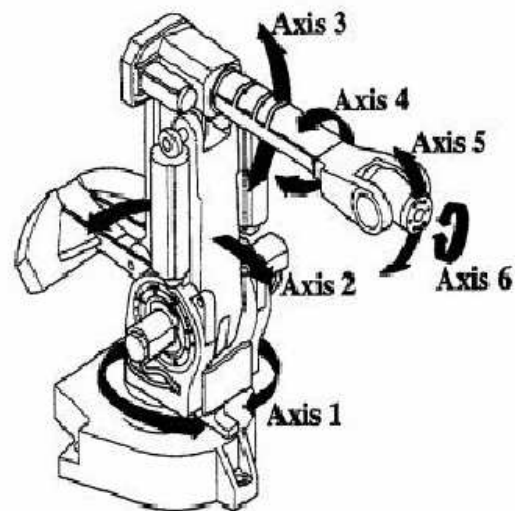
**Graf 3 Ročné dodávky priemyselných robotov**Zdroj: <http://www.worldrobotics.org> (upravené)

Z výsledkov môžeme vyvodit', že robotika je perspektívny obor a čaká ju ešte dlhý vývoj. Ak by sme chceli porovnať vývoj robotizácie v jednotlivých častiach sveta, tak jednoznačne je na tom najlepšie Ázia. Toto tvrdenie je znázornené na grafe 3.



### 2.3 Druhy priemyselných robotov

Pohyby robotov ako sled pohybov a tvarov dráhy pohybov môžeme voľne programovať. Robot sa pri pohybe medzi prekážkami riadi a orientuje pomocou vlastných snímačov. Priemyselné roboty sú použiteľné pre univerzálne potreby. Sú to autonómne systémy s ramenami pohyblivými vo viacerých osách.



Obr. 3 Priemyselrobot od firmy KUKA, Osy pohybu robotov  
Zdroj: <http://stroje.bost.sk/katalog/roboty-kuka> (upravené)

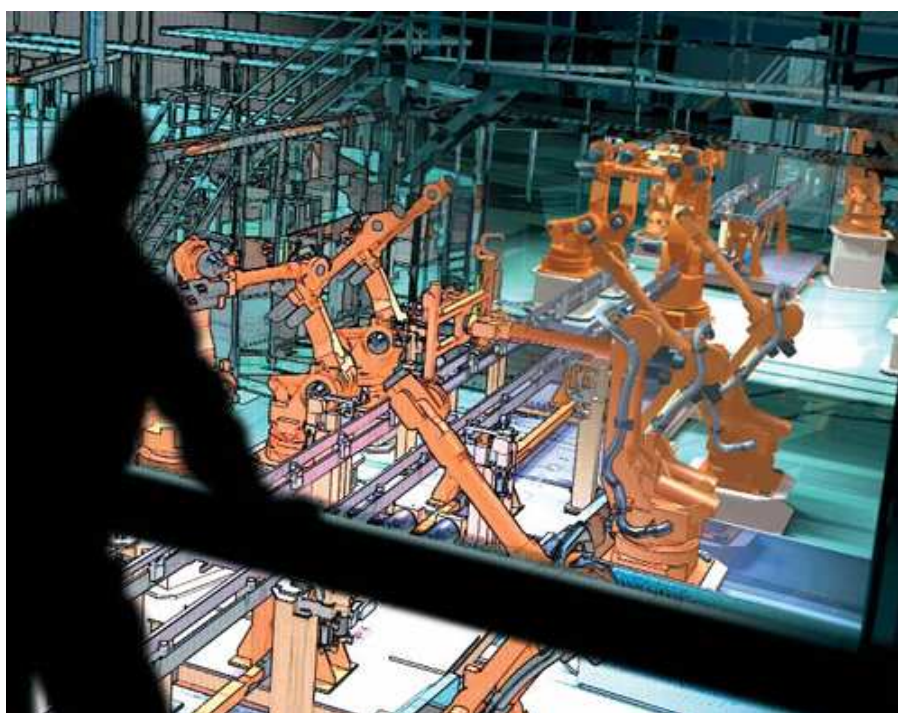
Priemyselné roboty zaraďujeme medzi manipulačné zariadenia ako univerzálne manipulátory. Rozdeľujú sa z hľadiska vývoja a úrovne inteligencie. Môžeme ich zatriediť do 3 vývojových generácií [2; 11]. V súčasnosti sa priemyselne roboty zatrieďujú podľa hlavných parametrov. A to z hľadiska:

- Kinematiky.
- Stupňov voľnosti.
- Nosnosti.
- Pracovného priestoru.
- Rýchlosti a zrýchlenia.

### 2.3.1 Rozdelenie priemyselných robotov podľa kinematickej štruktúry

#### Sériová kinematická štruktúra

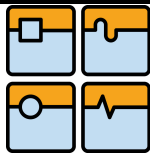
Pri sériových robotoch je výsledný pohyb zložený z na seba nadväzujúcich pohybov. Tieto pohyby z jednotlivých častí na sebe nezávisia a každá časť sa môže pohybovať samostatne. Pri tejto štruktúre je hlavnou nevýhodou nízka tuhosť a nepresnosti v polohovaní v dôsledku akumulácie chýb od jednotlivých pohonov [11; 20].



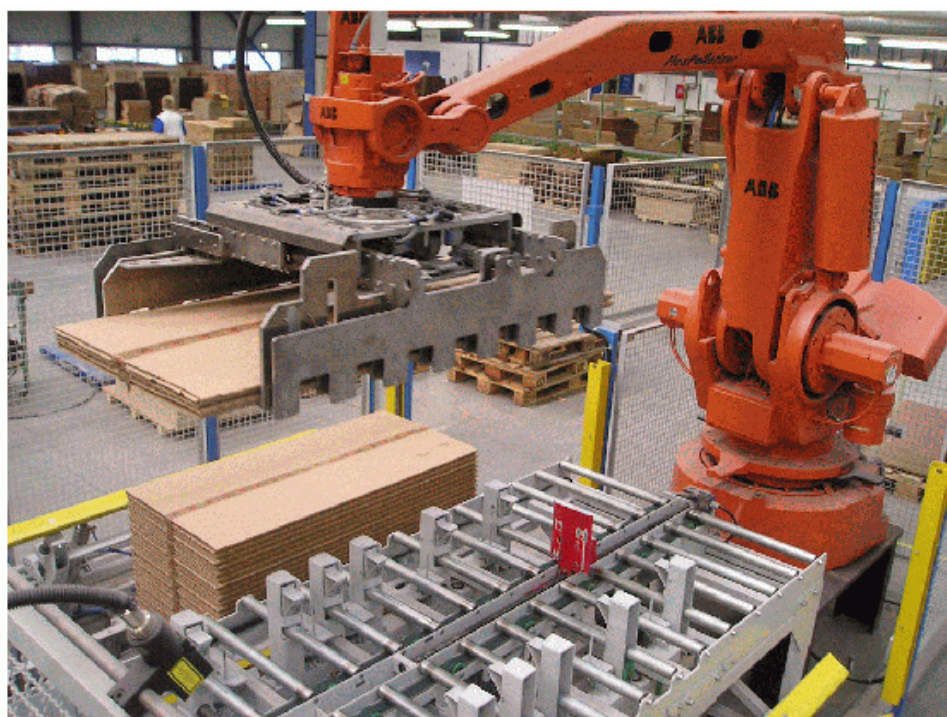
Obr. 4 3D model výrobnéj linky s využitím sériových robotov  
Zdroj: <http://www.designtech.cz/c/plm/navrh-robotizovanych-2-dil.htm>

Z radov sériových robotov sa v priemyselnej výrobe využívajú najčastejšie roboty, ktoré majú 6 stupňov voľnosti (obr. 3). V dnešnej dobe najvyužívanejšie typy robotov. K pohybu využívajú rotačný pohyb všetkých ôs. Majú široké využitie (bodové zvaranie, zlievanie ...), veľký dosah a vysokú flexibilitu.

Ďalším využívaným typom je priemyselný robot SCARA so 4 stupňami voľnosti. Využíva rotačné a jeden translačný pohyb. Využívajú sa na manipuláciu s materiálom v rovine. Sú presne a rýchle, a preto sa používajú na prácu hlavne s malými dielcami.

**Obr. 5 Priemyselný robot SCARA RH-12SH**Zdroj: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=33853](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33853)

Priemyselné roboty sa v súčasnosti čoraz častejšie vyskytujú aj v nábytkárskom priemysle, kde vykonávajú činnosť paletizácie, balenia či prekladania. Takýmto druhom priemyselných robotov sa hovorí aj paletizačné. Paletizačné roboty majú 4 stupne voľnosti, kde hlavnú úlohu zohráva rotačný pohyb. Sú konštruované z ľahkých materiálov, pričom majú vysokú tuhosť. Najmodernejšie paletizačné roboty dosiahnu do výšky až 3 metrov [19].

**Obr. 6 Paletizačný robot firmy ABB**Zdroj: <http://www.atpjournals.sk/>

**Paralelné kinematická štruktúra**

Robot má uzavretý kinematický reťazec, čiže pohyb jednej časti ovplyvňuje pohyb inej časti. Systémy s paralelnou kinematickou štruktúrou sa vyznačujú rýchlosťou a presnejším polohovaním než roboty so sériovou štruktúrou. Hlavnou výhodou je ich vysoká tuhosť, vyššia nosnosť a malé zotrvačné momenty. Nevýhodou oproti sériovým robotom sú hlavne vyššie nároky na riadiaci systém a tiež menší pracovný priestor. Paralelné roboty sú určené pre vysokorýchlostné aplikácie, balenie, manipuláciu s materiálom, a montáž. V priemyselnej sfére sa najčastejšie stretávame s Delta robotom (obr. 7) [1; 11; 20].



**Obr. 7 Delta robot**

Zdroj: [http://www.iccrobotics.com/robot\\_parallel.html](http://www.iccrobotics.com/robot_parallel.html)

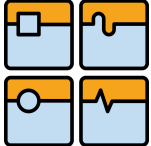
**2.3.2 Rozdelenie priemyselných robotov podľa nosnosti**

Každé robotické zariadenie je konštruované tak, aby vydržalo určité váhové zaťaženie. Triedenie podľa nosností závisí na mnohých faktoroch (materiál, veľkosť, použiteľnosť...), a preto sa rozdelenia u mnohých typov robotov líšia

Zaťaženie	KUKA	ABB
	Nosnosť [Kg]	Nosnosť [Kg]
Lahké	6 - 16	7 - 16
Stredné	30 - 60	16 - 60
Vysoké	100 - 240	60 - 225
Ťažko prevádzkovateľné	360 - 1000	nad 225

**Tab. 1 Rozdelenie nosnosti robotou KUKA a ABB**

Zdroj: KUKA [www.kuka-robotics.com](http://www.kuka-robotics.com), ABB <http://www.abb.sk/> (upravené)

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

V tab.1 je uvedené porovnanie a ukázaná odlišnosť váhového rozpätia na robotoch firmy KUKA a ABB. Nosnosť robota je jedným z hlavných činiteľov pri výbere.

### **3. Programovanie robotov**

#### **3.1 Úvod do programovania priemyselných robotov**

Programovanie robotov je zložitý proces, pri ktorom je potrebné programovať okrem pozície robota tiež orientáciu nástroja alebo úchopu. Na rozpoznanie pozícií slúžia súradnicové systémy, pomocou ktorých zisťujeme vzájomné polohy robotov, predmetov pracoviska a predmetov, ktoré sú premiestňované alebo obrábané robotom. Používa sa spravidla spoločný súradnicový systém. Najčastejšie sa stretávame s kartézskym systémom. Na programovanie sa u väčšiny priemyselných robotov využívajú 4 základné súradnicové systémy [2].

##### **3.1.1 Súradnicové systémy**

Základné súradnicové systémy môžeme rozdeliť na:

###### **Svetový súradnicový systém**

Kartezsky súradnicový systém, ktorý sa vzťahuje do podstavy robota. Je presne definovaný a pomocou neho je možné určiť posunutie robota.

###### **Súradnicový systém báze**

Súradnice sú orientované k obrobku alebo k základni obrobku (napr. otočný stôl). Základom je potom paralelne ladený pohyb robota s opracovávaným obrobkom. Tento súradnicový systém má dobré využitie hlavne pri offline programovaní robota a pri programovaní dráhy pohybov robota.

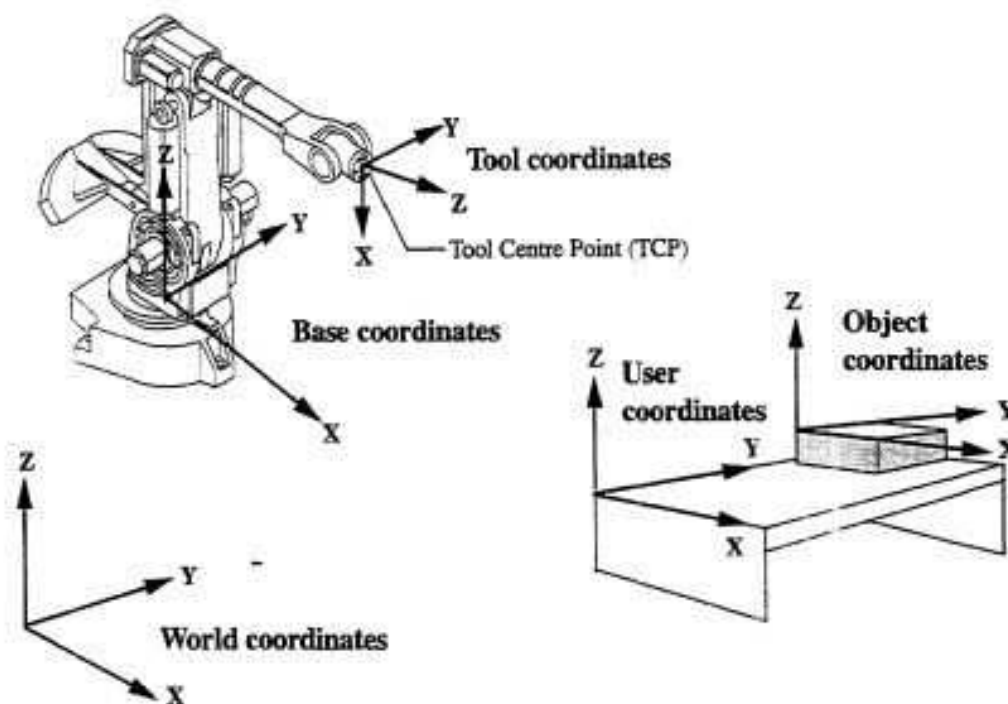
###### **Súradnicový systém päty robota**

Systém vzťahujúci sa k podstavcu priemyselného robota.

### Súradnicový systém nástroja a TCP

Počiatok súradníc je v referenčnom bode TCP (stredný bod nástroja). V tomto systéme je os x orientovaná rovnobežne s pracovným smerom nástroja. Pri pohybe nástroja sa tiež mení poloha súradnicového systému.

Coordinate systems



Obr. 8 Súradnicový systém priemyselných robotov,

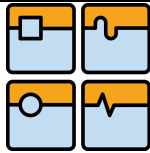
Zdroj: <http://www.robotsltd.co.uk/images/ABBpics/IRB6400/coordinatesystemsofthe6400.jpg>

V dnešnej dobe sa k hlavným metódam programovania priemyselných robotov priradujú dva druhy programovania a to on-line a offline programovanie [2; 11; 20].

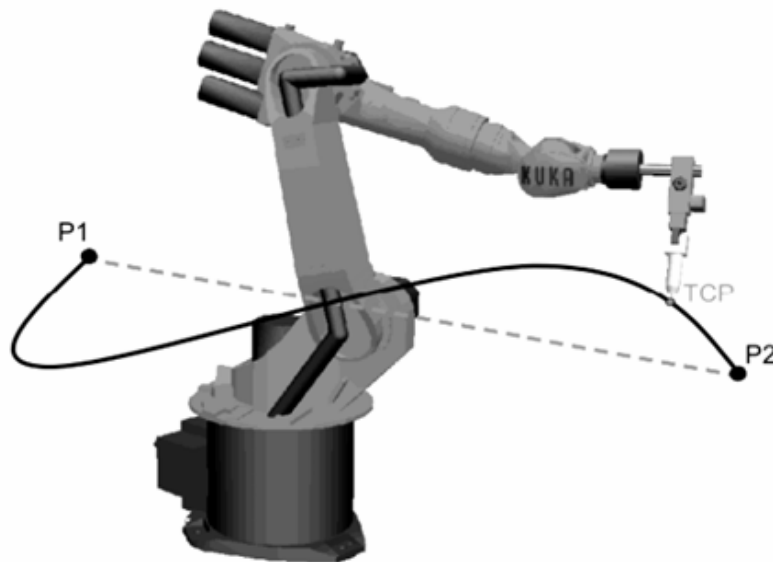
### 3.1.2 Hlavné pohyby robota

Pri programovaní je ďalšou podstatnou vecou ovládať základné pohyby robotov. Program, pomocou ktorého ovládame robota, totiž využíva tzv. pohybové príkazy. V inštrukciách, ktoré zadávame do programu sú už zahrnuté aj informácie o type a rýchlosti pohybu, či ich prípadné aproximácie. Medzi hlavné pohybové príkazy patria:

- Obecný pohyb ( PTP )
- Lineárny pohyb
- Kruhový pohyb

**Obecný pohyb (Pohyb PTP)**

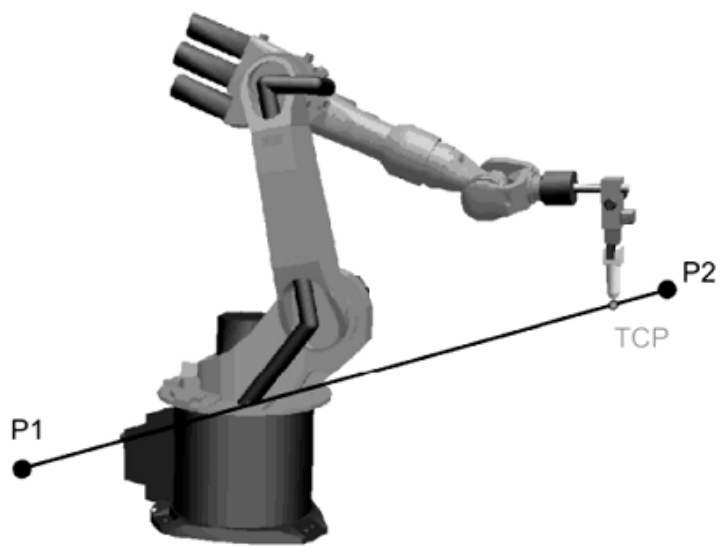
Pri tomto pohybe sa nástroj pohybuje tak, aby danú dráhu prekonal v čo najkratšom čase. Je to pohyb obecný, a preto nejde o priamku. Užívateľ po zadaní všetkých súradníc a parametrov nevie dopredu, ako táto dráha bude vyzerat', pretože osi robota majú rôzne pohyby motora. Pri zvyšovaní tejto rýchlosti sa mení tiež trajektória pohybu. Tento pohyb má využitie pri dosahovaní určitých nesúvisiacich bodov v pracovnom priestore, medzi ktorými sa tiež nevyskytuje žiadna prekážka. Ako príklad môže byť bodové zváranie [2; 11; 20].

**Obr. 9 Obecný pohyb**

Zdroj: POCHYLÝ, A. Prezentácia: Programování průmyslových robotů

**Lineárny pohyb**

Tento typ pohybu sa vyznačuje priamou dráhou po priamke až do zadaného koncového bodu. Využitie má hlavne pri konštantných rýchlostiach a v prípade, kedy v blízkosti jeho dráhy sa nachádzajú prekážky. Príkladom využitia môže byť zvarací proces [2; 20].

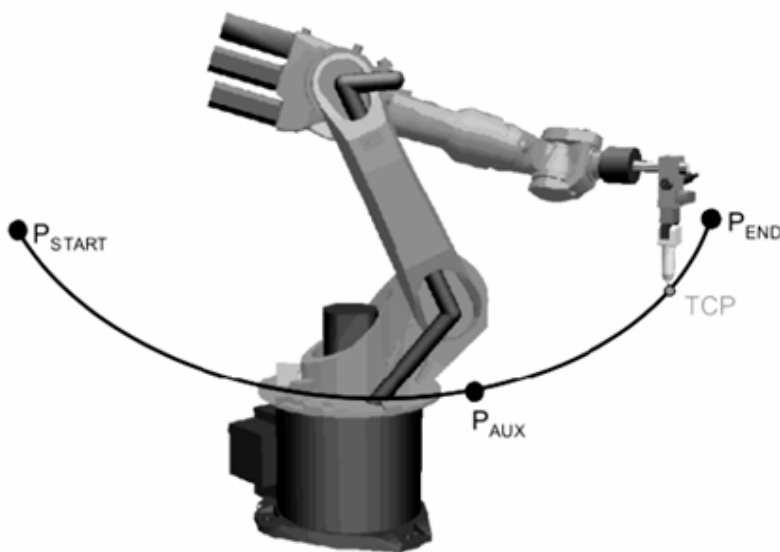


**Obr. 10** Lineárny pohyb

Zdroj: POCHYLÝ, A. Prezentácia: Programování průmyslových robotů

**Kruhový pohyb**

Pri kruhovom pohybe sa nástroj pohybuje po kruhovej dráhe z počiatočnej polohy k polohe koncovej, pričom v danej dráhe musí byť zadaný aj pomocný bod. Koncový bod je spravidla aj počiatočným bodom, keďže po jeho dosiahnutí môže nástroj meniť smer dráhy. Pri tomto type pohybu sa programuje dráha len referenčného bodu nástroja, a preto sa nástroj pri pohybe môže rôzne natáčať [2; 20].



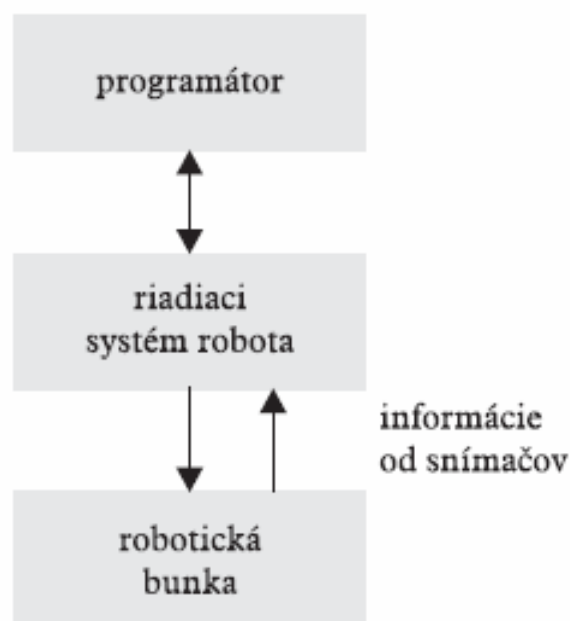
**Obr. 11** Kruhový pohyb

Zdroj: POCHYLÝ, A. Prezentácia: Programování průmyslových robotů



### 3.2 On-line programovanie

Pri on-line programovaní človek priamo navádza robota cez body jeho požadovaného pohybu. Robot je do jednotlivých bodov navádzaný pomocou programovacieho panela a jeho pohyby sa zapisujú do pamäte riadiaceho systému. Následne sa prevádza programovanie logickej časti riadenia ramena a periférnych zariadení. Pri tomto kroku sa k zadanej dráhe pohybu robota zadávajú tiež rýchlosti jednotlivých pohybov [2; 3].



Obr. 12 Schéma on.line programovania

Zdroj: [http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp\\_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf](http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf)

V dnešnej dobe sú programovacie jednotky závislé na PC. Sú ovládané pomocou funkčných kláves alebo joysticku. Zariadenie, pomocou ktorého programátor naviguje robota a zadáva príkazy do PC sa nazýva Teach pendant. V dnešnej dobe sú teach pendanty pre priemyselne roboty spojené na pevno káblom s ovládacím panelom robota a obyčajne môže byť ovládaný nimi len jeden samotný robot. Teach pendanty môžeme rozdeliť do dvoch hlavných kategórií v závislosti na ich základnom výzore. Prvý typ sú ovládače s väčšou výškou ako šírkou, malým displejom, ktorý sa nachádza v hornej polovici zariadenia a tlačidlami, ktoré sú v dolnej časti [2; 8].



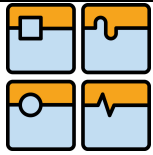
**Obr. 13** Příklady prvního typu teach pendantov. Z ľava do prava: Motoman, Reis, Kawasaki, Fanuc.  
 Zdroj: <http://www.springerlink.com/content/ac15e5b777e373d5/?p=f36658a6809041c2a4164e096f1ab63a&pi=5>

Druhou kategóriou sú teach pendanty s väčšou šírkou ako výškou a vyznačujú sa veľkými displejmi. Môžu byť držané oboma rukami alebo jednou, pričom tá druhá je voľná a ňou sa môžu uskutočňovať ďalšie operácie.



**Obr. 14** Příklady druhého typu teach pendantov. Z ľava do prava: ABB, IGM, KUKA,  
 Zdroj: <http://www.springerlink.com/content/ac15e5b777e373d5/?p=f36658a6809041c2a4164e096f1ab63a&pi=5>

V blízkej budúcnosti by mal vývoj teach pendantov vzrásť. Na svete sú už prvé prototypy. Teach pendanty novej generácií sa až tak nebudú líšiť tvarom ani veľkosťou ale najmä svojím dizajnom. Prototypy obsahujú veľké a široké dotykové displeje. Sú navrhnuté tak, aby sa mohli prevádzať dané operácie prstami alebo dotykovými perami. Nie sú až tak veľké ako predchádzajúce typy. Spojenie z riadiacim PC je bezdrôtové pomocou bluetooth zariadenia.

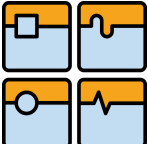
**Obr. 15 Prototyp teach pendantu,**

Zdroj:<http://www.springerlink.com/content/ac15e5b777e373d5/?p=f36658a6809041c2a4164e096f1ab63a&pi=5>

Niektoré komponenty však ostali nepozmenené ako napríklad integrovaná priestorová myš alebo tiež tlačidlá na zapnutie a vypnutie prístroja, na rýchle zastavenie operácie a tiež tlačidlá na základne operácie. Pomocou dotykového displeja, ktorý má funkciu full screen módu, kde sú zobrazené funkcie robota alebo technologický program môžeme programovať činnosť jednotiek [8]. Medzi priame resp. online programovanie môžeme v dnešnej dobe uviesť 2 základné typy programovania. A to programovanie metódou postupného učenia (Tech-in metóda) a taktiež rýchlo sa rozvíjajúcu metódu human-robot cooperation, ktorá je kombináciou online a offline programovania. Tejto metóde sa budem venovať v závere svojej práce [2; 20].

**Obr. 16 Ukážka dotykového displeja**

Zdroj:<http://www.springerlink.com/content/ac15e5b777e373d5/?p=f36658a6809041c2a4164e096f1ab63a&pi=5>

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 3.2.1 Metóda postupného učenia (Teach-in)

Prvá časť je založená na učení robota a to na základe zadania a určenia jeho pohybov. Učenie sa prevádza pomocou teach pendantu, ktorým ovládame jeho činnosť. Druhá časť pozostáva z prehrávania resp. opätovného spustenia robota.. Teach-in metóda funguje na základe používania už spomínaného teach pendantu, ktorým je obsluhou postupne navádzané rameno robota do bodov, v ktorých sa prevádza určená akcia. Pri navádzaní sú súradnice bodov tak ako aj orientácie úchopov zaznamenávané a zapisované do pamäte robota. Pri opätovnom spustení činnosti tak robot pomocou zapísaných údajov ručného nastavenia môže pracovať samostatne [2].



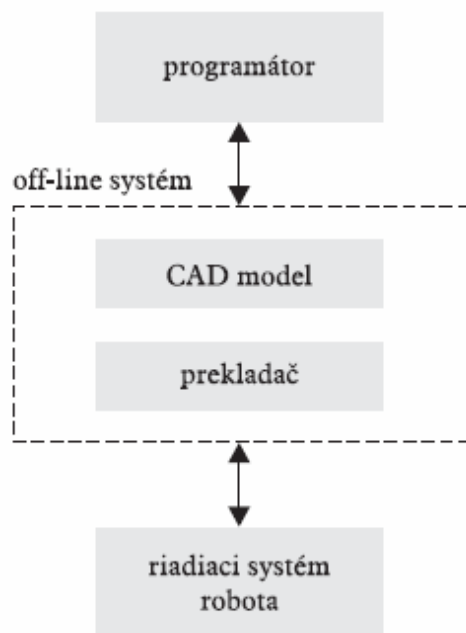
**Obr. 17 Metóda Postupného učenia**

Zdroj: <http://www.prlog.org/10975425-abb-robotics-training-lab-to-open-at-the-indiana-center-for-applied-technologyvincennes-university.html>

Výhodou online programovania je najmä to, že sa pracuje v reálnom prostredí a tak tam nie sú žiadne veľké nepresnosti. Popri manuálnom programovaní môžeme tiež vykonávať test funkčnosti robota. Nevýhodou tejto metódy je najmä dĺžka doby programovania. Ďalšou nevýhodou je, že programátor je pri zložitejších manipulačných pohyboch vystavený fyzickej náročnosti. Pri tomto type programovania vznikajú vo výrobe prestoje a tak sa stráca na výrobe, pretože počas programovania zariadenia nepracujú resp. pracujú obmedzene [2; 3].

### 3.3 3D simulácia a offline programovanie

Pod pojmom offline rozumieme programovanie v počítačovom modeli ozajstnej robotickej bunky a jej okolia v 3D. Program je vytvorený mimo robotizovaného pracoviska. Na toto programovanie sa väčšinou využívajú neštandardné jazyky, ktoré potrebujú k správne použitiu prekladač. Pomocou prekladača sa tak vytvára program pre konkrétneho robota.



**Obr. 18** Priebeh offline metódy

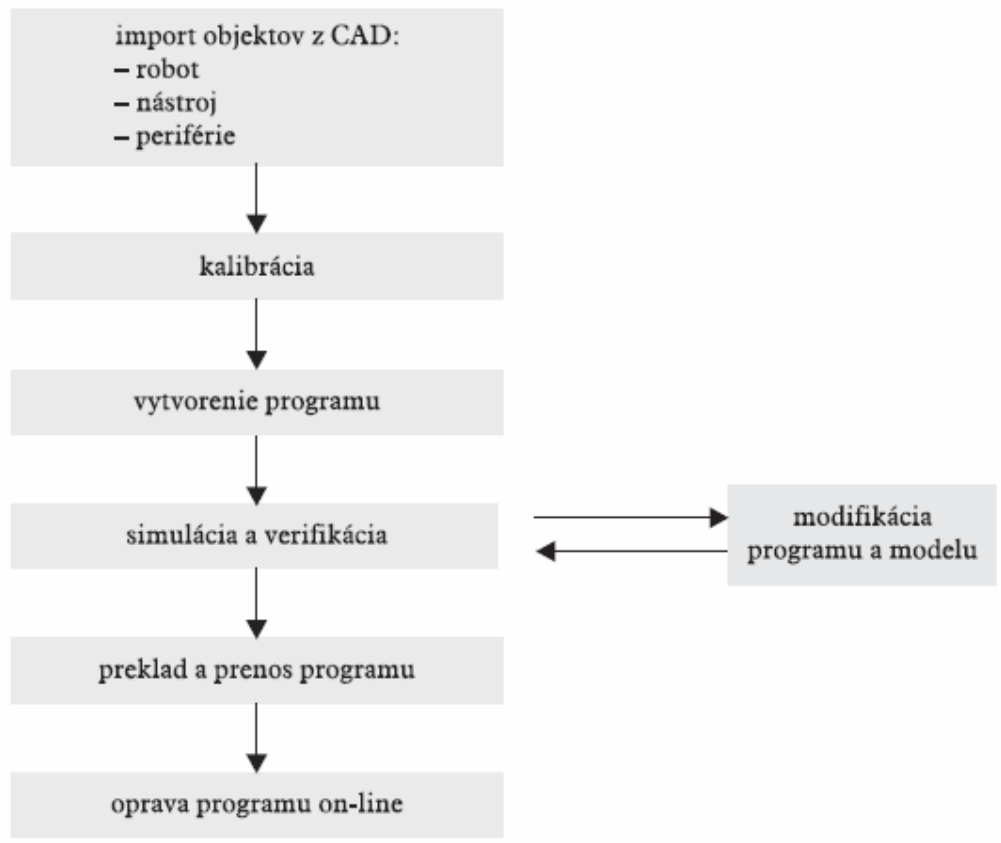
Zdroj: [http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp\\_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf](http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf)

Pre offline programovanie sa teda preferuje používanie počítačom vytvorených 3D modelov, ktoré pozostávajú z 3 častí:

- 1.) Model manipulátora – predstavuje 3D solid model
- 2.) Model riadiacej jednotky – jeho súčasťou je skutočná riadiaca jednotka robota
- 3.) Program – udáva úlohu robota

Prepojenie medzi týmito prvkami je modelované na základe zodpovedajúceho spojenia medzi modelmi. Model výrobného systému a CAD/CAM systém si potom vymieňajú údaje a to za podpory knižníc. V tejto knižnici sú obsiahnuté modely robotov, NC strojov a periférnych zariadení. Tie sa potom importujú do simulačného modelu. Následne môže prebehnúť simulácia a to v rôznych časových intervaloch napríklad v reálnom čase v 3D. Získané

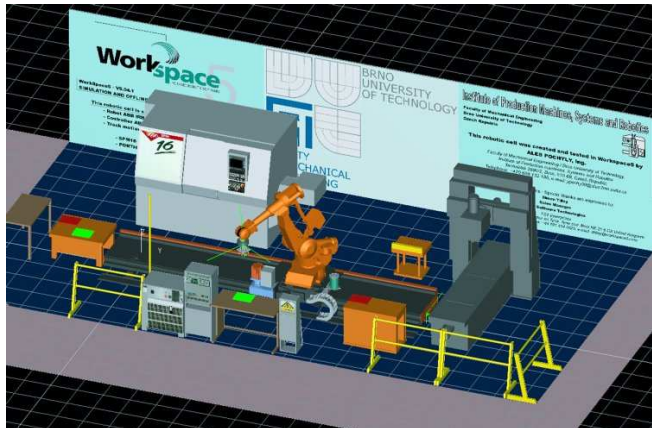
výsledky sa potom používajú na vyhodnocovanie modelu a určenie optimálnosti variantu [3, 5].



**Obr. 19 Pracovné procedúry v offline programovaní**

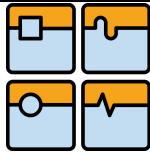
Zdroj: [http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp\\_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf](http://www.atpjournals.sk/casopisy/atp_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf)

Potom čo je model schválený, sa program prekladá do potrebného jazyka robota. Pomocou prekladaču je vložený do reálneho systému.

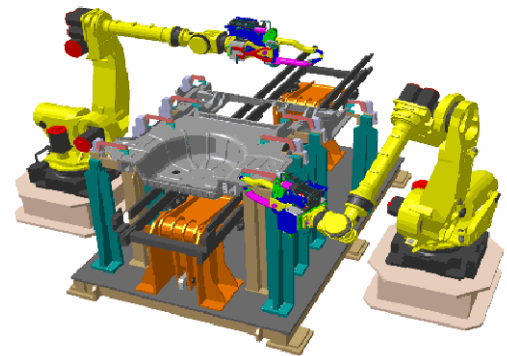
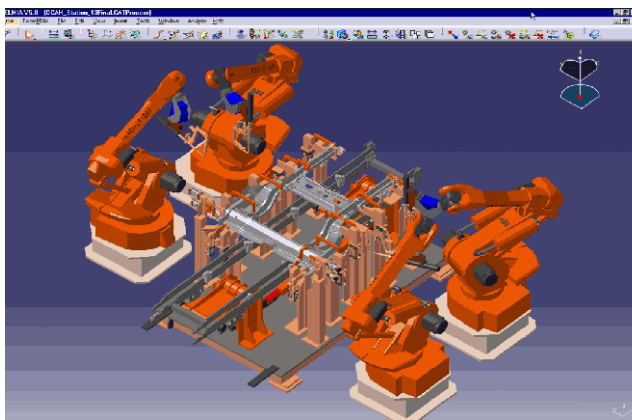


**Obr. 20 Virtuálny model**

Zdroj: <http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-a-off-line-programovani-roboticky-ch-bunek>



Pri offline programovaní môžeme vytvoriť 3D detailnú simuláciu, ktorá nám umožní rozpoznávať a určovať budúce možné kolízne situácie a tiež pomocou nej môžeme skúšať, či je robot schopný dosiahnuť daných manipulačných bodov. Týmto spôsobom je možné zisťovanie optimálnych rozmiestnení zariadení vo výrobnjej bunke. Mnoho offline systémov sa zaoberá sledovaním činností robota a to v reálnom čase a taktiež výberom vhodných nástrojov. Pre vytvorenie takéhoto reálneho programu je za potreby najmä vyhotovenie dôveryhodného modelu, ktorý musí mať vlastnosti a správanie ozajstného systému [2; 3; 5].



Obr. 21 Ukážka virtuálneho modelu

Zdroj: <http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/virtualni-simulace-vyroby-aneb-digitalni-tovarna.htm> (upravené)

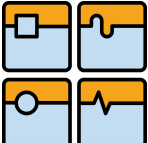
### 3.4 Software pre offline programovanie

#### 3.4.1 Rozdelenie systémov pre simuláciu a offline programovanie

Systémy pre simuláciu a offline programovanie môžeme rozdeliť do dvoch kategórií.

1. Systémy, ktoré vyvíja výrobca priemyselných robotov.
2. Systémy, ktoré sú vyvíjane výrobcami softwaru.

Obe kategórie výrobcov zohrávajú veľkú úlohu na trhu. Sú neodmysliteľnou súčasťou moderného vývoja robotiky. Cieľom výrobcov je dosiahnuť čo najjednoduchšie ovládateľný systém bez výrazných nedostatkov. Oba typy systémov majú určité výhody a nevýhody. Je na každom potenciálnom používateľovi, ktorý software bude používať. Software vyvíjaný výrobcami priemyselných robotov môže byť použitý len na daný typ priemyselného robota. Každá spoločnosť si pripravuje vlastné prostredie programu a tiež samostatne vyvíjané druhy

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

algoritmů s příkazy, což je považované za největší výhodou systému, protože řídicí systémy až samotný robot využívají rovnaký typ algoritmů. Tento súlad algoritmů spôsobuje bezchybnější chod robota, presnejšie polohovanie. Pri systémoch vyvíjajúcich výrobcami softwaru je problém opačný. Systém sa dokáže prispôbiť rôznym druhom robotov od rôznych výrobcov a to za pomoci knižníc, ktoré obsahujú jednotlivé typy priemyselných robotov. Pomocou knižníc sa prevedie daný algoritmus vytvorený v prostredí softwaru a prispôsobí sa algoritmu robota. Neidentický algoritmus spôsobuje, že pri offline simuláciách nastávajú menšie odchýlky pri výpočte času na vykonanie určitej operácie v porovnaní s reálnou situáciou. Porovnaním týchto systémov môžeme povedať, že systémy vyvíjané výrobcami softwaru sú univerzálnym riešením, ale výsledný správny pracovný efekt dosiahneme zložitejšou cestou. Zatiaľ čo pri 1. type systému od výrobcov robotov je programovanie rýchlejšie a o niečo jednoduchšie [4].

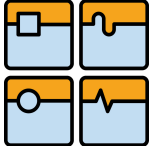
Medzi systémy ktoré vyvíja výrobca patria:

1. ABB – Robotstudio  
– IrbCAM
2. Fanuc – Roboguide
3. KUKA – KUKAsim a KUKA CAMrob
4. Motoman – Motosim
5. Denso – Wincaps III
6. Reis – Prosim
7. Panasonic – DeskTop Programming & Simulation System
8. Igm – Programming Studio
9. Stäubli – 3D STUDIO
10. Comau – WinC4G
11. Mitsubishi – MELFA WORKS
12. Nachi – AX on Desk
13. Kawasaki – Pc-ROSET

A ďalšie OTC, Hyundai, Epson a Adept.

Medzi systémy vyvíjane výrobcami softwaru patria:

1. Robcad – Technomatix
2. Delmia – D5 IGRIP/ V5 ROBOICS

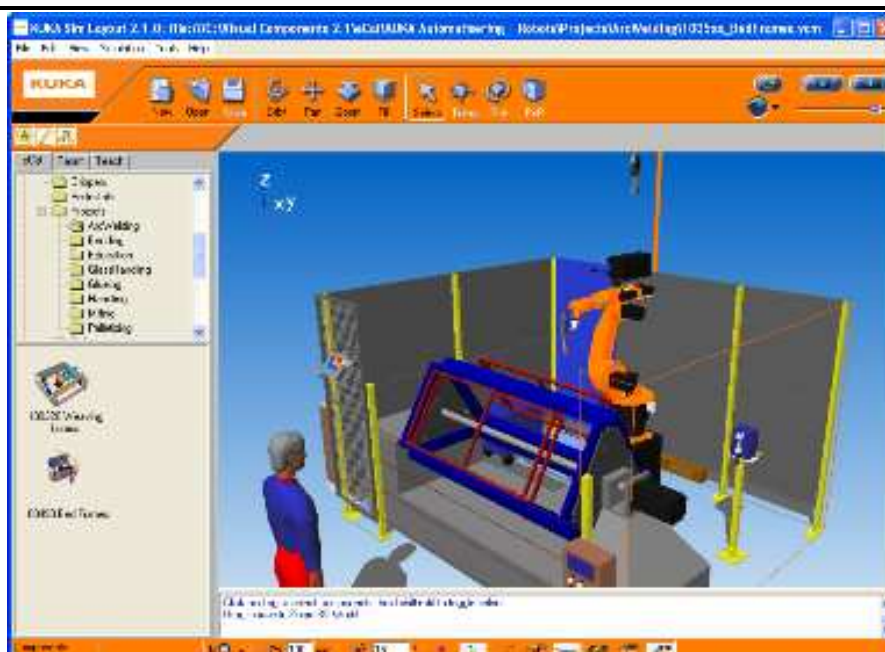
	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3. Robotmaster
4. Cimstation – AC&E
5. Cosimir – Festo
6. Robot Works
7. Workspace 5
8. Easy-ROB
9. Sim X
10. FAMOS robotic
11. Camelot – Ropsim
12. Eureka robot milling – Roboris

### **3.4.2 Porovnanie vybraných systémov pre offline programovanie.**

Pre porovnanie som si vybral pár najznámejších a najviac využívaných systémov pre offline programovanie robotických buniek. Z radu výrobcov priemyselných robotov to bude software od spoločnosti KUKA. A od výrobcov softwarov to bude systém Robotmaster.

Spoločnosť KUKA patrí medzi popredných výrobcov priemyselných robotov. Okrem výroby robotov tiež ponúka ich softwarovú podporu a možnosť simulácie. Pre 3D simuláciu ponúka spoločnosť KUKA software KUKAsim, ktorý je navrhnutý priamo na priemyselné roboty KUKA. KUKAsim umožňuje tvorbu simulácie nami požadovanej aplikácie. Pomocou tohto softwaru je možné odsimulovať danú aplikáciu ešte pred uvedením do pracovného procesu, optimalizovať a vytvárať simulácie pohybov a úkonov robotov. Je zložený zo štyroch podprogramov: KUKA.sim Pro, KUKA.sim Layout, KUKA.sim Viewer, KUKA.officeLite. KUKA.sim Pro spojením s KUKA.OfficeLite umožňuje v reálnom čase virtuálne riadenie KUKA. Je to software pre rýchle a spoľahlivé realizovanie projektov. Umožňuje vytvárať presvedčivé prezentácie. Pri programovaní pomáha s vyberaním najlepších variantov, taktiež s optimálnym rozložením buniek pri návrhu. Jednou z najväčších výhod sú krátke programovacie časy a vytváranie vysokokvalitných programov, ktoré je možné optimalizovať bez prerušenia výroby. Používanie je jednoduché vďaka čomu je KUKA.sim ideálny ako tréningový nástroj [18].

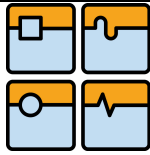


**Obr. 22 Rozhranie KUKA.sim**

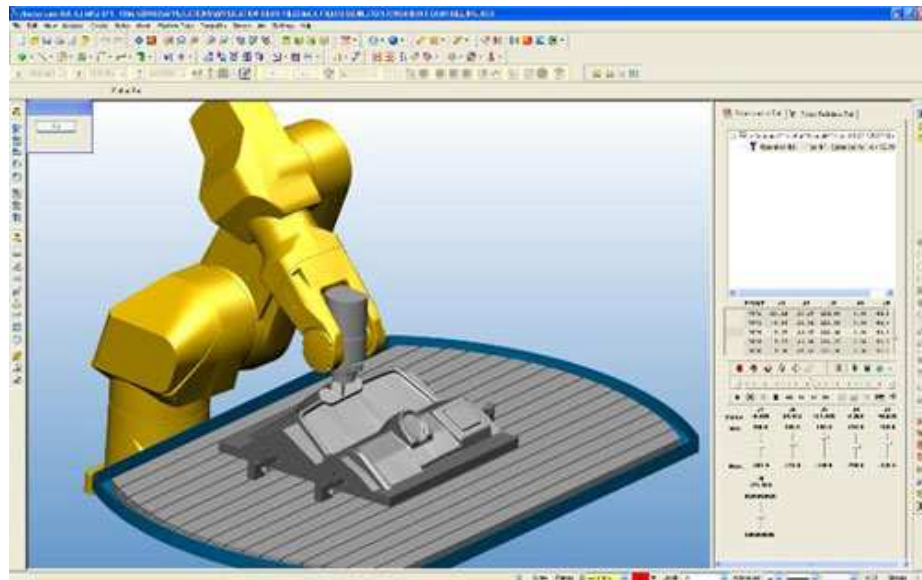
Zdroj: [http://www.kuka.be/main/products/kukasim/layout/e\\_layout.htm](http://www.kuka.be/main/products/kukasim/layout/e_layout.htm)

Z predstaviteľov výrobcov softwarov pre priemyselné roboty je jeden z najlepších systémov Robotmaster, ktorý sa používa pre offline programovanie šesť-osých a viac osých robotov. Robotmaster je založený na CAD/CAM offline programovania. Za pomoci systému Mastercam, pomocou ktorého generuje riadiaci kód, čo výrazne skracuje programovací čas. Robotmaster umožňuje programovať zložité trajektórie bez použitia metódy „teaching points“. Veľkou výhodou je kompatibilita s mnohými robotmi. Je všestranný a má využitie pri programovaní mnohých robotov zavádzaných do rozličných technologických procesov ako sú: vŕtanie, brúsenie, 3D obrábanie, leštenie orezávanie, trieskanie či zváranie, lakovanie a mnoho ďalších. Ďalšou z výhod je zvládnutie programovania pri nastavení tak ako aj s rotačným stolom tak tiež s pojazdom po koľajniciach pri obrábaní dlhých dielcov. Obsahuje nástroje pre detekciu kolízií nástroja a tiež aj robota s dielcom a pomocou týchto detekcií môžeme nastaviť rôzne obmedzenia.

Pri programovaní robota stačí vložiť model a podľa potrieb ho upraviť do požadovaného tvaru. Ďalej je potrebné vybrať nástroj podľa obrábacej metódy a to za pomoci Mastercamu, kde je už vopred preddefinovaný. Pri programovaní sa využívajú rovnaké nástroje ako pri CNC programovaní, a preto aj dráha pohybu, geometria nástroja je rýchlo prispôbena robotovi a to za použitia datatranslatorov. Tak ako väčšina offline systémov, tak aj v robotmasteri je možnosť simulácie a to či už možnosť spustenia krok po kroku alebo




nepretržite. Výhodou tohto softwaru je najmä to, že je to nadstavba systému CAD/CAM Mastercam, a preto nepotrebuje na realizáciu žiaden iný software alebo konvertor ako napríklad u ostatných softwarov na programovanie priemyselných robotov. Robotmaster prináša zrýchlenie programovania a tým aj nové možnosti využitia robotov napríklad pre krátkodobé zákazky alebo kusovú výrobu [13; 14].



**Obr. 23 Rozhranie Robotmaster**

Zdroj: <http://www.sonetech.cz/.2pedant/rm-robotmaster.html>

Pri offline programovaní dosiahneme maximálnu výrobnosť a potrebujeme minimálny čas na zoradenie prvkov. Ďalšou výhodou je redukcia chýb v programe a odhaľovanie nerealizovateľných a nebezpečných situácií. Offline metódou naprogramujeme robota mnohokrát rýchlejšie než metódou on-line. Za nevýhodu môžeme považovať menšiu presnosť polohy koncových efektorov robota a to napr. v porovnaní s teach-in metódou. Keďže pri tomto spôsobe programujeme mimo pracovnú bunku a polohu nastavuje zadávaním súradníc pričom pomocou podprogramov zohľadňujú vonkajšie priestorové vplyvy, ale nikdy to nieje úplne presne. Snahou výrobcov softwarov pre offline programovanie je najmä korekcia tejto nevýhody, na čo sa predovšetkým používajú kalibračné nástroje. Ďalšou možnosťou pre úpravu konečnej polohy sa môže použiť on-line metóda, kde pomocou teach pendantu skorigujeme polohy efektorov [4; 3].

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

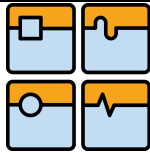
### **3.5 Spolupráca medzi robotom a človekom**

Spolupráca medzi robotom a človekom patrí medzi najnovšie trendy v priemyselnom odvetví. Táto spolupráca vznikla hlavne kvôli urýchleniu a zefektívneniu technologického procesu pri namáhavých operáciách, kedy človek ako rýchlo sa prispôsobujúci, kreatívny a rýchlo adaptívny priamo navedie robota do polohy, akú potrebuje pri výkone práce. To sú dôvody, prečo ľudia prednostne pracujú hlavne pri kusovej výrobe alebo pri výrobe, kde sa procesy menia častejšie a kde sa procesy zakaždým o niečo líšia. Robot ako neúnavný a rýchlo prispôsobivý dokáže aj pri maximálnom zaťažení pracovať opakovane a presne aj 24 hodín a 7 dní v týždni. Preto je využívaný hlavne pre stredne veľké a veľké sériové výroby [16; 20].

Spolupráca človek-robot má využitie najmä pri manipulácii s ťažkými dielcami alebo pri namáhavých operáciách pre človeka. Často aj pri rizikových situáciách, kde človek vynakladá vysokú záťaž. Pri tejto spolupráci človeka ako prevádzkovateľa a robotického systému majú spoločné pracovné prostredie, a preto je hlavnou úlohou najmä zabezpečiť bezpečnosť prevádzkovateľa. Bezpečnosť v robotizovanej montážnej bunke zaručuje priamo riadiaci systém robota, čo umožňuje pripojenie svetelnej bezpečnostnej mriežky či laserových skenerov. Bezpečnosť ďalej zaručuje bezpečnostný radič [16].

S využitím algoritmov sa v reálnom čase detekujú možné kolízie a tiež cyklicky prevádzajú testy bŕzd a kalibrácia pohybov, čo umožňuje v každom okamžiku možné núdzové zastavenie robota. Pomocou senzorov na meranie silových signálov, ktoré pôsobia v šiestich osách robota, môže človek bez obáv navádzať robota do požadovanej polohy. Systém generuje a kontroluje dráhy robota a tým zabezpečí človeku premiestnenie bez väčšej námahy [17]. Bezpečnostný radič ako jeden z hlavných bezpečnostných prvkov monitoruje najmä rýchlosť a jej bezpečné dodržiavanie, ale tiež trajektórie nebezpečných výčnelkov robota. Pomocou riadiaceho priemyslového počítača je naprogramovaný robot tak, aby dodržiaval všetky bezpečnostné zásady [16]. Na bezpečnosť vo veľkej miere vplýva tiež oblá konštrukcia bez hrán obalená mäkkými alebo pogumovanými plastami, ktoré pohlcujú nárazy [19].

Ďalšou možnosťou zabezpečenia pracoviska je tiež využitie takzvaného "robotic skin". To znamená, že na povrchu robotického ramena sú malé senzory tlaku, ktoré sú schopné vnímať i nepatrne zmeny tlaku a prevádzať ich na elektrické signály. Robot tak dokáže rýchlo



zareagovať na zmeny tlaku v prostredí a to umožňuje reguláciu rýchlosti či núdzové zastavenie v prípade potreby [19; 21].



**Obr. 24 Pomocná tretia ruka na montážnom pracovisku**

Zdroj: [http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/33921/1/AlbrechtI\\_Robotika\\_2009.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/33921/1/AlbrechtI_Robotika_2009.pdf)

Ako už bolo povedané robot zaisťuje manipuláciu s ťažkými dielcami alebo rôznu namáhavú činnosť pre človeka. Pri procese, kedy robot splní svoju úlohu nastupuje človek, ktorý uchopí robota za jeho riadiacu časť a manuálne ho navedie do požadovanej polohy tak, aby mal čo najlepší prístup k dokončovacím prácam [17]. Pri kooperácii hrá podstatnú úlohu silové zosilnenie, kde operátor pôsobí určitou silou na robota, pričom robot túto silu 10 krát znásobí vzhľadom na prostredie. Tým operátor môže plniť úlohy z oveľa menším úsilím. Potom čo robot vykoná svoju úlohu, vracia sa do úvodnej pozície a znovu opakuje proces. Zatiaľ čo robot spraví úvodný krok, človek môže vykonávať dokončovacie operácie. Touto spolupracou sa docieli skrátenie času montáže a tiež sa odstránia všetky namáhavé pohyby pri montážnych operáciách. Priama spolupráca človeka s robotom znižuje výrobné náklady uplatnením vyššieho stupňa automatizácie a práve preto je využívaná v mnohých priemyselných podnikoch [15;16; 20; 21].

### **3.6. Silomomentové riadenie priemyselných robotov**

Silomomentové riadenie je jednou z najnovších a najrozvíjajúcejších sa metód v súčasnej dobe. V dnešnej dobe sú kladené veľké požiadavky hlavne na presnosť a kvalitu výrobkov v technologickom procese, a preto sa čoraz častejšie do výroby nasadzujú priemyselné roboty. Pri procesoch typu montáže sú podstatou robota senzory, ktoré ho informujú o pracovnom okolí a tiež o priebehu procesu.

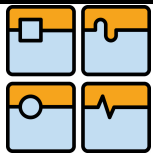
Základným prvkom v metóde silomomentového riadenia je silomomentový senzor (Force/Torque senzor). Pomocou senzoru, ktorý je nainštalovaný čo najbližšie k nástroji sa merajú pôsobiace sily a tiež ich odvodené veličiny ako moment a tlak, ktoré závisia hlavne od tuhosti celej koncovej sústavy a tiež od výrobku s ktorým robot pracuje. Úlohou silomomentového senzora je vzniknuté kontaktné sily sledovať, kontrolovať a udržiavať ich v predpísaných hodnotách. Spôsob kontroly hodnôt je závislý od určovania kontaktných síl. Tieto spôsoby môžeme rozdeliť podľa 2 kategórií určovania síl a to podľa aktívnych a pasívnych síl riadenia [22; 24].

1. Aktívne sily riadenia – kontaktné sily priamo prispievajú k zvládnutiu danej úlohy. Tento typ riadenia je využívaný pri dokončovacích prácach, kontaktné sily musia sú kontrolované a udržiavane na určených hodnotách.
2. Pasívne sily riadenia – pri tomto spôsobe kontaktné sily nie sú až tak podstatne pre úspešné dokončenie úlohy. Cieľom je udržanie síl v predpísaných hodnotách. Tento spôsob riadenie pridáva na flexibilitu endefektora.

Pri silomomentovom riadení zohráva ďalšiu úlohu tiež typ zvoleného senzoru. Typovo môžeme snímače rozdeliť do dvoch kategórií na tenzometrické a optoelektronické. Do radu tenzometrických sa zaraďujú hlavne snímače od spoločnosti ATI či JR3. Základom týchto senzorov sú kremíkové tenzometre, ktoré sú zapojené do Wheatstoneovho mostíka. K predstaviteľom výrobcov optoelektronických snímačov sa zaraďuje firma SCHUNK.



**Obr. 25 Tenzometrický silomomentový snímač Gamma**  
Zdroj: <http://www.ati-ia.com>



Každá firma má vlastné druhy silomomentových senzorov. Každá rada senzorov sa ďalej člení v závislosti na druhu použitia. Ako príklad uvádzam silomomentový senzor GAMMA od firmy ATI (obr. 22).

Snímač GAMMA je ľahko programovateľný prevodník vyrobený z vysoko pevného leteckého hliníka. Používaním kremíkových tenzometrov poskytuje až 75-krát silnejší signál než obyčajné fóliové tenzometre. Využíva krytie IP60, ktoré ho chráni pred prašným prostredím a krytie IP65 pred striekajúcou vodou. Využitie má pri riadení síl v reálnom čase, pri montáži alebo testovaní v automobilovej výrobe [23].

Základné parametre:

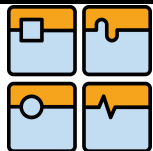
Hmotnosť	Výška	Priemer
254g	33,3mm	75,4mm

Tab. 2 Základné parametre senzoru GAMMA

Síly v osách	Preťaženie
F <sub>x</sub>	± 1200N
F <sub>y</sub>	± 1200N
F <sub>z</sub>	± 4100N
M <sub>x</sub>	± 79Nm
M <sub>y</sub>	± 79Nm
M <sub>z</sub>	± 82Nm

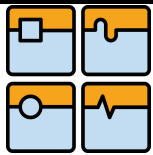
Tab. 3 Maximálne povolené preťaženie síl v osách

Silomomentové riadenie ako jeden z najviac sa rozvíjajúcich typov programovania má využitie v rôznych oblastiach. Hlavné využitie je v priemyselných oblastiach ako pri brúsení, kontrole prílačnej sily, sledovaní rezných síl pri sústružení alebo pri montáži a ďalších technologických procesoch. V dnešnej dobe sa táto forma riadenia uchycuje tiež v iných oblastiach než v priemysle. Silomomentové senzory sa zavádzajú do medicíny. Značné úspechy má toto riadenie pri chirurgických zákrokoch, ale tiež pri rehabilitáciách [24].



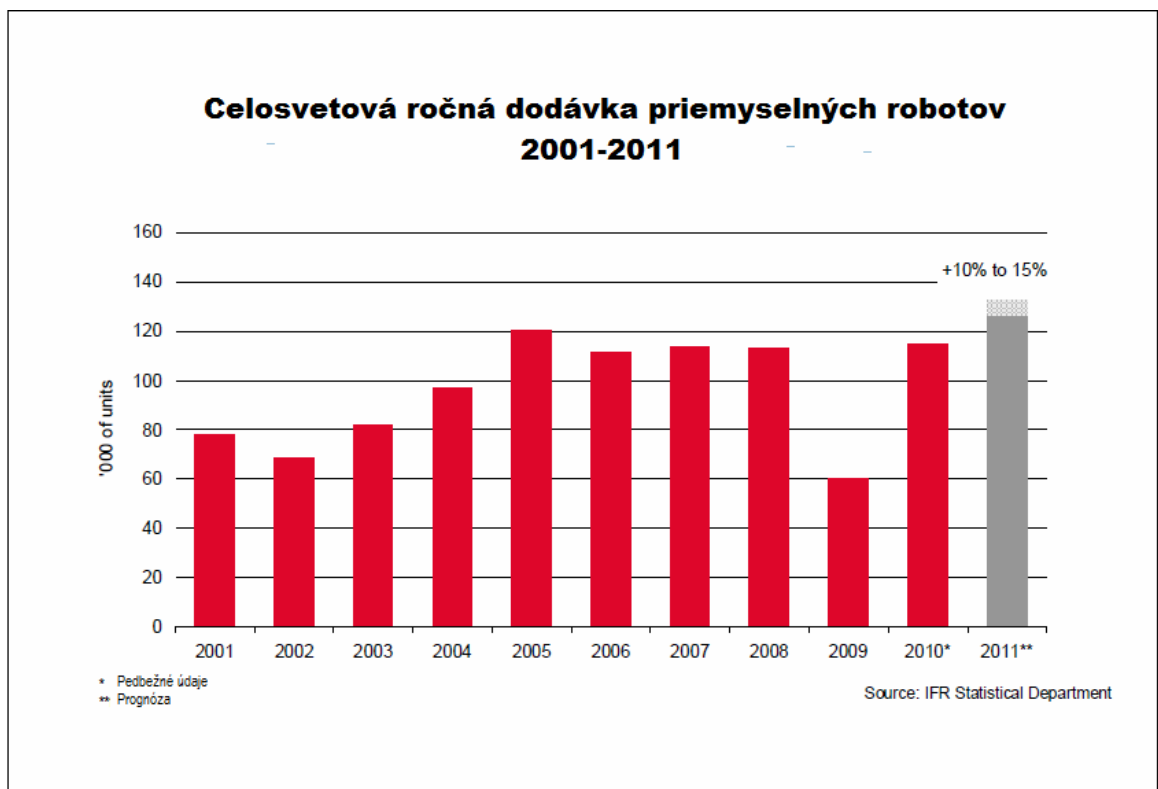
**Obr. 26 Brúsenie pomocou silomomentového senzoru.**

Zdroj: <http://www.uakron.edu/provost/choose-ohio-first/tiered-mentoring.dot>



## 4. Závěr

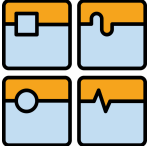
Na základe mojej bakalárskej práce a zistených poznatkov môžem povedať, že automatizácia priemyselnej výroby je v dnešnej dobe neodmysliteľný krok. Pri takomto množstve požiadaviek a nárokov na výrobky od odberateľov budú postupne všetky väčšie priemyselné inštitúcie a fabriky nútené ku kroku automatizácie. Je na každom vedení firmy, ako sa vysporiada s týmto vývojom, či investuje do automatizácie hneď alebo postupne bude zavádzať robotizované systémy do výroby. Predpokladaný ďalší vývoj automatizácie a zavádzanie nových technológií a materiálov do priemyselnej výroby spôsobí postupné zavádzanie robotov i do malosériových výroby, aby boli konkurencieschopné.



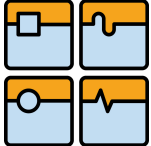
**Graf 4 Celosvetová ročná dodávka priemyselných robotov 2001-2011**

Zdroj: <http://www.worldrobotics.org> (upravené)

S pribúdajúcimi požiadavkami a nárokmi rastie tiež zdokonaľovanie a vývoj či už zaužívaných alebo nových metód v programovaní priemyselných robotov. Tak ako priemyselné firmy tak aj firmy zaoberajúce sa vývojom programovacích metód sú tlačene k zdokonaľovaniu a tak prispôbeniu sa k požiadavkám na trhu.

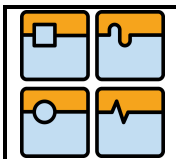
	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

Aj keď stále zdokonaľujúce metódy online programovania sa stávajú sofistikovanejšie a pre operátora jednoduchšie, predsa sa z typických strojárskych aplikácií robotov stále viac vytláčajú. Ich najčastejšie použitie je najmä v takých aplikáciách, ako je využitie robota pri chirurgických zákrokoch, manipulácii s nebezpečným materiálom a pod. Trend využívania offline programovania rastie, a to napriek tomu, že efekt ešte zďaleka nie je na takej úrovni ako pri online programovaní. Využitie offline programovania môžeme sledovať najmä u mnohých výrobcov robotov, ktorí si sami pripravujú toto prostredie. Najzaujímavejším a rýchlo rozvíjajúcim sa trendom je kombinácia metód online a offline s hlavným cieľom odstránenia chýb a nepresností vo výrobe. Táto kombinácia tiež prispieva k zefektívneniu výroby a je využiteľná v mnohých odvetviach priemyselnej výroby.

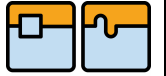

	Ústav výrobných strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 5. Použitá literatura

- [1] REPÁK, T. *Trojské manipulátory*. Praha, 2005. 3-4 s. Diplomová práce na Elektrotechnickej fakulte Českého vysokého učení na katedre řídicí techniky.
- [2] SCHMID, D. a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. 1. vyd. Praha, 1998. 420 s. ISBN 80-86706-10-9. Kapitola 6, Roboty, s. 280–292.
- [3] HAJDUK, M. a kol. 2/2005. Simulácia a offline programovanie priemyselných robotov. In *AT&P journal* [online]. 2/2005 [cit. 2010], s. 84-85. Dostupné z WWW: <[http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp\\_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf](http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_05/pdf/atp-2005-02-84.pdf)>
- [4] POCHYLÝ, A. a kol. 11/2006. *Simulace a offline programování robotických buněk*. In MM Průmyslové spektrum [online]. 11/2006 [cit. 2010], s. 72. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-a-offline-programovani-robotickych-bunek>>.
- [5] MAREČEK, P. 9/2006. Virtuální simulace výroby aneb Digitální továrna. In *IT SYSTEMS* [online]. 9/2006 [cit.2010], Dostupné z WWW: <<http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/virtualni-simulace-vyroby-aneb-digitalni-tovarna.htm>>.
- [6] ISHII, M., SAITA, H. 8/1997. A step toward a human - robot cooperative system. In *Artif Life Robotics* [online]. 9/1997 [cit. 2010], Dostupné z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/v035637175438352/?p=e1de7f1ff74a4760b439abfd5d68695d&pi=0>>. ISSN 1614-5218
- [7] KUSHIDA, D. a kol. 4/2001. Human direct teaching of industrial articulated robot arms based on force-free control. In *Artif Life Robotics* [online]. 5/2002 [cit. 2010], Dostupné z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/201525n39167x0u7/?p=7da1ed5bc3fd40d7ad9b9a7b9c94582b&pi=0>>. ISSN 1614-7456
- [8] KAZI, A. a kol. 2005. *Advances in Human-Robot Interaction*. [online]. BERLÍN : Springer Berlin, 2005. Dostupné z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/ac15e5b777e373d5/?p=f36658a6809041c2a4164e096f1ab63a&pi=5>> . ISBN 978-3-540-23211-7. Kapitola: *Next Generation Teach Pendants for Industrial Robots*, s. 176-177.
- [9] RobotWorx Used Robot Division [online]. Posledná aktualizácia: 2011 [cit. 2011-02-22]. *The History and Benefits of Industrial Robots*. Dostupné z WWW: <http://www.used-robots.com/robot-education.php?page=benefits+of+industrial+robots>

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

- [10] WALLÉN, J. *The history of the industrial robot* [online]. 2008 [cit. 2011-02-22]. Dostupné z WWW: <http://www.control.isy.liu.se/research/reports/2008/2853.pdf>
- [11] RÁHEL, D. *ŘÍZENÍ MANIPULÁTORU MINI-SWING* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2011-02-24] 64 s.. Kapitola 3. PRIEMYSELNÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY s. 14-20. Vedúci diplomovej práce Ing. Pavel Houška, Ph.D. Dostupné z WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28942](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28942)
- [12] STANĚK, M. *APLIKACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ V OBLASTI OBRÁBĚNÍ* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009 [cit. 2011-02-24] 28 s. Kapitola 3. Průmyslové roboty a manipulátory (PRaM), s. 7-8. Vedúci bakalárskej práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.. Dostupné z WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16454](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16454)
- [13] NETOPIIL, J. *Revoluce v programování robotů*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2009 [cit. 2011-03-12] Dostupné z WWW: : <http://www.mmspektrum.com/clanek/revoluce-v-programovani-robotu>
- [14] Sonetech, *RobotMaster* [online]. Posledná aktualizácia 12.3.2011 [cit. 2011-03-12]. Dostupné z WWW: <http://www.sonetech.cz/>
- [15] KOEPPE, R. s kol. *Robot-Robot and Human-Robot Cooperation in Commercial Robotics Applications*. [online]. Springer-Verlag Berlin, 2005 [cit. 2011-03-15] Dostupné z WWW: <http://www.springerlink.com/content/c3fy216653nuvlnj/fulltext.pdf>
- [16] Automatizace. *Přímá spolupráce člověka a robota* [online]. 2006 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1393>
- [17] KUKA Robotics. *SPOLUPRÁCE ČLOVEKA S ROBOTEM? ŽÁDNÝ PROBLÉM!* [online]. 2011 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: [http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/pressevents/news/NN\\_051017\\_01\\_Teamworking.htm](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/pressevents/news/NN_051017_01_Teamworking.htm)
- [18] KUKA Robotics [online].2011[cit. 2011-05-15]. Dostupné z WWW: [http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/)
- [19] LAMY, X. a kol. *Robotic skin structure and performances for industrial robot comanipulation* [online]. 2009 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=5229975&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5229975&tag=1)
- [20] ALBRECHT, I. *Robotika a robotizované pracoviště* [online]. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2009 [cit. 2011-03-20], 48 s. Vedúci bakalárskej práce

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Ing. Daniel Fuchs. Dostupné z WWW:

[http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/33921/1/AlbrechtI\\_Robotika\\_2009.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/33921/1/AlbrechtI_Robotika_2009.pdf)

- [21] LAMY, X a kol. *Overcoming human force amplification limitations in comanipulation tasks with industrial robot* [online]. 2010 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z WWW: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5553839>
- [22] PIRES, J. N. *Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future*. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3.
- [23] ATI INDUSTRIAL AUTOMATIZACION. *Multi-Axis Force/Torque Sensor* [online]. 2011 [cit 2011-05-13]. Dostupné z WWW: [http://www.atia.com/Library/documents/ati\\_cat\\_sensor%20rev.19.pdf](http://www.atia.com/Library/documents/ati_cat_sensor%20rev.19.pdf)
- [24] STANEK, V. *Silomomentové řízení průmyslových robotů Kuka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 44s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

## 6. Zoznam obrázkov

Obr. 1 Zakladné prvky robotického systému.....	6
Obr. 2 Prvý prototyp priemyselného robota .....	7
Obr. 3 Priemyselrobot od firmy KUKA, Osy pohybu robotov .....	9
Obr. 4 3D model výrobnej linky s využitím sériových robotov .....	10
Obr. 5 Priemyselný robot SCARA RH-12SH .....	11
Obr. 6 Paletizačný robot firmy ABB .....	11
Obr. 7 Delta robot .....	12
Obr. 8 Súradnicový systém priemyselných robotov,.....	14
Obr. 9 Obecný pohyb.....	15
Obr. 10 Lineárny pohyb.....	16
Obr. 11 Kruhový pohyb .....	16
Obr. 12 Schéma on.line programovania .....	17
Obr. 13 Príklady prvého typu teach pendantov. Z ľava do prava: Motoman, Reis, Kawasaki, Fanuc.....	18
Obr. 14 Príklady druhého typu teach pendantov. Z ľava do prava: ABB, IGM, KUKA, .....	18
Obr. 15 Prototyp teach pendantu, .....	19
Obr. 16 Ukážka dotykového displeja.....	19
Obr. 17 Metóda Postupného učenia .....	20
Obr. 18 Priebeh offline metódy .....	21
Obr. 19 Pracovné procedúry v offline programovaní .....	22
Obr. 20 Virtuálny model.....	22
Obr. 21 Ukážka virtuálneho modelu.....	23
Obr. 22 Rozhranie KUKA.sim .....	26
Obr. 23 Rozhranie Robotmaster .....	27
Obr. 24 Pomocná tretia ruka na montážnom pracovisku.....	29
Obr. 25 Tenzometrický silomomentový snímač Gamma .....	30
Obr. 26 Brúsenie pomocou silomomentového senzoru.....	32

## 7. Zoznam Grafov

Graf 1 Odhadované ročné dodávky priemyselných robotov .....	3
Graf 2 Odhadované celosvetové zásoby priemyselných robotov .....	8
Graf 3 Ročné dodávky priemyselných robotov .....	8
Graf 4 Celosvetová ročná dodávka priemyselných robotov 2001-2011.....	33

## 8. Zoznam tabuliek

Tab. 1 Rozdelenie nosnosti robotou KUKA a ABB .....	12
Tab. 2 Základné parametre senzoru GAMMA .....	31
Tab. 3 Maximálne povolené preťaženie síl v osách .....	31