

# 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

# SIMULAČNÍ NÁSTROJE PRO CAD/CAM PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

SIMULATION TOOLS FOR CAD/CAM ROBOT PROGRAMMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE AUTHOR MAREK NAGY

VEDOUCÍ PRÁCE SUPERVISOR Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky Akademický rok: 2011/2012

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Nagy

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojní inženýrství (2301R016)

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

#### Simulační nástroje pro CAD/CAM programování průmyslových robotů

v anglickém jazyce:

#### Simulation tools for CAD/CAM robot programming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je analyzovat a porovnat dostupné softwarové nástroje pro simulaci a off-line programování průmyslových robotů pro aplikace typu CAD/CAM.

V rámci praktické části práce je cílem seznámení se s dostupným systémem Mastercam a Robotmaster a vytvoření funkční demonstrační aplikace s robotem KUKA.

Cíle bakalářské práce:

1. Analýza dostupných softwarových nástrojů pro simulaci a offline programování robotů se zaměřením na CAD/CAM aplikace.

2. Seznámení se s dostupným systémem Mastercam a Robotmaster.

3. Vytvoření demonstrační funkční aplikace v daném systému s robotem KUKA.

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4

2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

3. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

4. MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 8.11.2011

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. Ředitel ústavu prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc. Děkan fakulty

#### Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřená na simulaci, off-line programování a seznámení se s robotem KUKA. Obeznamuje o složení, souřadnicových systémech a možnostech pohybu průmyslového robota. Představuje metody on-line a off-line programováni, jako i rozbor off-line softvérových nástrojů zaměřených na CAD/CAM obráběni. Popisuje tvorbu konkrétních pohybů robota a vysvětluje vygenerovaný kód pro realizaci vytvořených pohybů. Cílem práce je vytvořeni funkční demonstrační aplikace s robotem KUKA.

#### Klíčová slova

průmyslový robot, off-line programováni, Mastercam, CAD/CAM

#### Abstract

Bachelor's thesis is focused on simulation, off-line programming and familiarization with KUKA robot. It informs about the composition, coordinate systems and the possibilities of movement of the industrial robot. It introduces methods of on-line and off-line programming and analysis of software for off-line programming aimed on CAD / CAM machining. It describes the creation of specific robot movements and explains the generated code for the implementation of created movements. The result is the creation of a functional illustrative application with KUKA robot.

#### Keywords

industrial robot, off-line programming, Mastercam, CAD/CAM

NAGY, M. *Simulační nástroje pro CAD/CAM programování průmyslových robotů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

#### Prehlásenie

Prehlasujem, že túto bakalársku prácu som vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Aleša Pochylého. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

Podpis:....

#### **Pod'akovanie**

Chcel by som poďakovať pánovi Ing. Alešovi Pochylému za aktívny prístup pri vedení bakalárskej práce a poskytnutí cenných rád.



# OBSAH

1.	<b>Úvod</b> 1	10
	1.1.Robot a robotika	11
	<b>1.2.Priemyselné roboty a manipulátory</b>	11
	<b>1.3.PR s angulárnym pracovným priestorom</b>	12
	1.4.Výrobcovia PRaM	13
	1.5.Robot KUKA	13
	<b>1.6.Súradnicové systémy</b>	14
	1.7.Riadenie pohybu priemyselného robota	15
	<b>1.8.Programovanie priemyselných robotov</b>	16
	1.8.1. On-line programovanie1	16
	1.8.2. Off-line programovanie1	16
	<b>1.9.Delenie softvéru pre simuláciu a offline programovanie</b>	17
	1.10. Analýza dostupných softwarových nástrojov	18
	1.10.1. ABB – RobotStudio	19
	1.10.2. KUKA - KUKA.Sim	19
	1.10.3. Fanuc – Roboguide2	20
	1.10.4. W.A.T. Solutions Workspace 5	20
	1.10.5. CNC Software Ltd. – Mastercam	21
	1.10.6. Robotmaster2	21
	1.11. Vyhodnotenie CAD/CAM aplikácií	22

<b>2.</b> I	Metodika tvorby programu metódou offline	. 23
2	2.1.Programovanie v systéme MasterCAM	. 23
	2.1.1. Vytvorenie 3D modelu	. 23
	2.1.2. Import 3D modelu	. 24
	2.1.3. Tvorba 2D kontúry pre pohyb nástroja	. 25
	2.1.4. Výber nástroja	. 26
	2.1.5. Animácia pohybu nástroja	. 27
	2.1.6. Tvorba dráhy v 5D obrábaní	. 28
4	2.2.Konfigurácia robota v systéme Robotmaster	. 30
	2.2.1. Výber robota a koncového efektora	. 30
	2.2.2. Nastavenie báze a nástroja	. 31
	2.2.3. Nastavenie Home pozície	. 32
	2.2.4. Vygenerovanie kódu	. 33
3. ]	Funkčná aplikácia s robotom KUKA	34
	3.1.Popis vygenerovaného kódu	. 34
4. 2	Záver	.40
5. 1	Použitá literatúra	.41
6. ]	Použité obrázky a grafy	.42
7. 2	Zoznam príloh	.45



### 1. Úvod

V súčasnosti sa na pracoviskách čoraz viac stretávame s aplikáciou automatizácie a robotizácie v procese výroby. Stále viac sa kladie vyšší dôraz na kvantitu a kvalitu výrobkov ako aj na nové technologické postupy pri výrobe. Aby sme splnili požiadavky zákazníkov, ako sú rýchlosť dodania, kvalita a cena produktu, je potrebný vývoj a modernizácia nových automatizovaných a robotických zariadení. Priemyselné roboty sú postupne dôležitejšie nástroje, ktoré výrobcom prinášajú výhodu voči konkurencii na stále náročnejšom globálnom trhu [3].

Graf 1. poukazuje na ročnú dodávku priemyselných robotov v rôznych častiach sveta, ako aj odhadovaný vývoj zavádzania priemyselných robotov do výroby. Ako vidíme, majitelia firiem budú čím ďalej tým viac obstarávať roboty za účelom zvýšenia produktivity a zníženia výrobných nákladov.



Graf 1. Ročná dodávka priemyselných robotov

Táto bakalárska práca sa zaoberá analýzou dostupných softvérových nástrojov pre simuláciu a offline programovanie priemyselných robotov a vytvorením konkrétnej aplikácii s využitím softvérov typu CAD/CAM.

V prvej kapitole sa zoznámime s priemyselným robotom, jeho súradnicovými systémami a 3 typmi pohybov koncového efektora. V ďalšej časti je vysvetlený rozdiel medzi online a offline programovaním aj s uvedenými výhodami a nevýhodami. Ukončenie kapitoly predstavuje porovnanie offline programovacích softvérov od výrobcov KUKA, ABB a FANUC, a univerzálne programy ako Workspace a Mastercam s Robotmasterom.

V druhej kapitole je krok za krokom popísaný postup pri vytváraní obrábacieho cyklu v programe Mastercam a Robotmaster. Tvorba cyklu pozostáva z vytvorenia diela a nástroja, nastavení nástroja; vytvorení 2D, 3D alebo 5D kontúry; výber robota a efektora, nastavenie polohy obrobku voči robotovi a nakoniec vygenerovanie kódu pre robota. Následne sa celý pracovný cyklus odsimuluje na robotovi, kde sa odstránia prípadné nedostatky.

V poslednej kapitole je popísaný vygenerovaný kód pre robot KUKA, ktorého reálna simulácia je zachytená kamerou.

#### 1.1.Robot a robotika

Robotika je veda, ktorá sa zaoberá dizajnom a výrobou robotov, ale aj vývojom aplikácií, ktoré robota ovládajú. Robot je mechanické zariadenie, ktoré môže vykonávať predprogramované úlohy. Môže konať pod priamou kontrolou človeka alebo samostatne pod kontrolou naprogramovaného počítača. Roboty môžu byť použité na plnenie úloh, ktoré sú príliš nebezpečné a náročné pre ľudí, alebo sa využijú na opakujúce sa úlohy, ktoré možno vykonávať lacnejšie než vykonávané človekom [4].

#### 1.2. Priemyselné roboty a manipulátory

Priemyselné roboty a manipulátory (PRaM) sú preprogramovateľné multifunkčné zariadenia navrhnuté tak, aby mohli pohybovať materiálom (Obr.1-1), súčiastkami (Obr.1-2), nástrojmi (Obr.1-3) alebo špecializovanými zariadeniami prostredníctvom variabilných naprogramovaných pohybov pre vykonávanie rôznych úloh. Skladajú sa z rotačných a posuvných segmentov s niekoľkými stupňami voľnosti.

Prečo priemyslová robotika ? PRaM vedú ku kvalitnejšej, rýchlejšej, presnejšej a lacnejšej výrobe, ak by sme porovnali produkt vyrobený robotom a človekom. Ďalej zníženie zmätkovitosti, zvýšenie výrobnej kapacity, úspora pracovného miesta atď.



Obr.1-1 Manipulácia s materiálom



Obr.1-2 Manipulácia so súčiastkou



Obr.1-3 Manipulácia s nástrojom - frézovanie



#### 1.3.PR s angulárnym (multiuhlovým) pracovným priestorom(RRR)

Do tejto skupiny sa zaraďujú roboty, ktorých kinematický reťazec je tvorený pomocou troch rotačných väzieb RRR. Základný rotačný pohyb je okolo osi "Z" a ďalšie dva sú potom okolo horizontálnych, vzájomne rovnobežných osí. Pracovný priestor je angulárny [1].

Kinematické väzby medzi jednotlivými ramenami angulárneho robota sú rotačné. Osi dvoch týchto väzieb sú navzájom kolmé a pretínajú sa. Os tretej väzby je rovnobežná s niektorou z predchádzajúcich osí [1].





Obr.1-4 Model angulárneho PR

Obr.1-5 Kinematická schéma a tvar pracovného priestoru angulárneho PR

Výhodou tohto usporiadania kinematických dvojíc v tvare RRR je ich anatomickosť a vďaka dvojitému zalomeniu ramena môžu pracovať aj v blízkosti osi "Z", takže nevznikajú takmer žiadne nevyužité priestory. Ľahko sa vyhýbajú prekážkam a majú dobrú dostupnosť k skrytým miestam [1].

Nevýhodou je pomerne zložité riadenie a matematické modelovanie [1].

Tento typ robotov je veľmi rozšírený pre jeho pružnosť a schopnosť dosiahnuť každý bod pracovného priestoru. Medzi aplikácie patrí nanášanie materiálov, zváranie, brúsenie, montáž a pod. [1].



#### 1.4. Výrobcovia PRaM

Medzi najvýznamnejších výrobcov PRaM patria spoločnosti KUKA, ABB, MOTOMAN a FANUC. Ich logá su vyobrazené na Obr.1-6.



#### Obr.1-6 Výrobcovia PRaM

#### 1.5.Robot KUKA

Cieľom bakalárskej práce je offline programovanie priemyselného robota s angulárnym pracovným priestorom, preto sa v ďalšej časti zameriame iba na tento typ robotov. Informácie sa budú spájať s robotom KUKA, ktorý má 6 stupňov voľnosti (Obr.1-7). To znamená, že má 3 hlavné osi (A1-A3) a 3 vedľajšie osi (A4-A6).



Obr.1-7 KUKA - 6 stupňov volnosti



#### 1.6. Súradnicové systémy

Robot Kuka pracuje v nasledujúcich Karteziánskych súradnicových systémov:

- WORLD
- ROBROOT
- BASE
- TOOL



Obr.1-8 Súradnicové systémy robota KUKA

#### WORLD

Karteziánsky súradnicový systém WORLD je pevne definovaný, slúži ako základ pre súradnicové systémy ROBROOT a BASE. V predvolenom nastavení sa systém WORLD nachádza na základni robota [2].

#### ROBROOT

Karteziánsky súradnicový systém ROBROOT sa vždy nachádza na základni robota. Definuje pozíciu robota vzhľadom k systému WORLD. V predvolenom nastavení je systém totožný so systémom WORLD [2].

#### BASE

Karteziánsky súradnicový systém BASE definuje polohu obrobku vzhľadom k systému WORLD. V predvolenom nastavení je systém totožný so systémom WORLD. Systém BASE nastaví užívateľ na obrobku[2].

#### TOOL

Karteziánsky súradnicový systém TOOL je umiestnený v centrálnom bode nástroja. Definuje polohu nástroja vzhľadom k obrobku, resp. k systému BASE. V predvolenom nastavení sa systém nachádza na prírube, v tomto prípade sa systém označuje ako súradnicový systém FLANGE. Systém TOOL nastaví užívateľ do centrálneho bodu nástroja [2].





Riadenie PR môžeme rozdeliť do dvoch skupín, a to :

- **Bodové riadenie** (PTP – point to point) – toto riadenie použijeme vtedy, ak sa potrebujeme v pracovnom priestore robota dostať z jedného bodu na druhý bez ohľadu na tvar dráhy pohybu. Robot si dráhu sám vygeneruje. Tento pohyb je najrýchlejší [2].

Využíva sa na manipuláciu s materiálom a bodové zváranie.



Obr.1-9 Bodové riadenie robota PTP

- **Dráhové riadenie** (CP – continuous path) – toto riadenie použijeme vtedy, ak je potreba riadiť robota v celej jeho dráhe. Dráha je matematicky daná a to buď pohyb po priamke (A-B) – LIN (tento typ je pomalší ako PTP), alebo pohyb po kružnici – CIRC, kde je potrebné zadať okrem počiatočného (B) a koncového bodu(C) aj pomocný bod (P), cez ktorý sa preloží kružnica [2].





#### 1.8. Programovanie priemyselných robotov

Robot vykonáva úlohy vďaka vopred pripraveného programu, v ktorom sú postupne nadefinované príkazy k vykonaniu určitej činnosti. Pri programovaní robota zostavujeme program na základe vytvoreného algoritmu. Podľa toho, ako k tvorbe programu pristupujeme, delíme programovanie na :

- on-line programovanie (programovanie pri robote cez teach pendant)
- off-line programovanie (programovanie na počítači mimo robota)

#### 1.8.1. On-line programovanie

Pri on-line programovaní operátor priamo naviguje robota cez požadované manipulačné body. Robot je navádzaný ručne, priamo z programovacieho panelu do jednotlivých bodov, ktoré sa zapíšu do pamäte riadiaceho systému. Programovanie logickej časti riadenia chápadla a periférnych zariadení sa vykonáva ako krok druhý.

Výhodou je, že pracujeme v reálnom prostredí a súčasne môžeme testovať funkčnosť programu [6].



Obr.1-11 Postup pri on-line programovaní robota

Nevýhodou on-line programovania je pomerne dlhá doba, fyzická náročnosť pri zložitých manipulačných pohyboch a dlhých cyklov. Hlavná nevýhoda je zastavenie výroby na robote, príp. pracovisku [6].

#### 1.8.2. Off-line programovanie

V dnešnej dobe príprava programov pre NC stroje v prostredí CAD/CAM predstavuje už približne 70 %, čo sa čoskoro stane trendom aj u robotoch. Jedna z výhod off-line programovania je , že sa programuje v predstihu, tzn. vytvorenie optimálneho programu mimo reálne pracovisko robota bez časového stresu. Tým, že sa programuje mimo pracoviska, sa značne znižujú prestoje pri zmene výrobného programu [2].

Programovanie je realizované v počítačovom modely reálnej robotizovanej bunky, ktorá sa načíta z knižnice vrátanie jej okolia v 3D. Obecne je možné vytvoriť 3D model priamo v programe, alebo sa do systému môžu importovať objekty priamo z rôznych CAD systémov (IGES, SAT, STEP, STL, Pro/E, CATIA a ďalšie) [2].

Off-line programovanie umožňuje využívanie interpolácie PTP, LIN alebo CIRC. Pracovný cyklus je možné priamo v prostredí off-line odsimulovať. To nám umožní cyklus skontrolovať, odstrániť kolízne situácie medzi robotom a objektmi a testovať dosiahnuteľnosť manipulačných bodov. Je možné sledovať celkový čas robota, vďaka ktorému možno dopredu spočítať pracovné časy, vedľajšie časy atď. Niektoré systémy umožňujú automatické generovanie dráhy tvarovo zložitých dielov [2].



# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

V poslednom kroku sa vygeneruje program pre riadiacu jednotku robota. Tento program sa prenesie do robota a overí sa správnosť postupným krokovaním. V prípade potreby je možné upraviť a optimalizovať chod robotickej bunky do konečnej podoby tak, aby sa program dal aplikovať v prevádzke [2].

Off-line programovanie prináša ďalšie výhody:

- maximalizácia výrobnosti
- zjednodušenie a zefektívnenie programovania
- automatické vyhľadávanie trajektórie s vyhýbaním sa prekážkam
- eliminácia tvorby chýb v programe
- priame prepojenie off-line programov na CAD systémy
- možnosť naprogramovať aj dráhu po rôznych krivkách (iba pre CAM)



Obr.1-12 Obecná metodika off-line programovania

Nevýhodou je, že off-line programovanie si vyžaduje ďalšie investície mimo robot.

1.9. Delenie softvéru pre simuláciu a offline programovanie robotov

#### SW od výrobcu

#### SW univerzálny

- ABB RobotStudio
- FANUC Roboguide
- KUKA Kuka Sim
- ...

- Mastercam
- WorkSpace 5
- Fastems
- ...



# 1.10. Analýza dostupných softwarových nástrojov pre simuláciu a offline programovanie robotov so zameraním na CAD/CAM aplikácie

V dnešnej dobe sa na trhu objavuje nespočetné množstvo softvérov, ktoré sú vybavené nástrojmi pre simuláciu a offline programovanie robotov. V analýze sa zameriam jednak na softvéry vytvorené a doporučené výrobcom pre ovládanie svojich produktov, ako aj na univerzálne softvéry, ktoré nie sú určené pre robota konkrétnej značky. Pri porovnaní využijem najpoužívanejšie softvéry od 3 najvýznamnejších výrobcov priemyselných robotov, a to spoločnosti ABB, KUKA a FANUC. Z univerzálnych softvérov volím Workspace 5 a Mastercam.

V analýze volím nasledovné kritériá:

- Import dát z CAD systémov
- Kontrola dosažiteľ nosti jednotlivých bodov
- Zistenie doby cyklu a detekcia kolízií
- Dokáže aj CAM obrábanie ?





Spoločnosť ABB je jednou z najväčších výrobcov priemyselných robotov. Okrem výroby robotov vyvinula softvér RobotStudio, ktorý je určený pre simuláciu a off-line programovanie produktov nesúcich označenie ABB. RobotStudio je postavené na virtuálnom riadiacom systéme ABB VirtualController, ktorý je presná kópia skutočného programu riadiaceho robota vo výrobe. Softvér umožňuje veľmi realistické simulácie s využitím reálnych robotických programov [7].

RobotStudio dokáže importovať dáta v hlavných formátoch CAD, vďaka čomu môžeme generovať presnejšie programy a zvýšiť kvalitu produktu. S funkciou Optimalizácia dráhy nám program ponúkne úpravu pohybu robota navrhnutím najefektívnejšej dráhy, a tak skráti dobu cyklu. Funkcia Autoreach analyzuje dosiahnuteľnosť jednotlivých bodov, čo umožní preveriť rozvrhnutie pracovnej bunky a optimalizovať ju behom niekoľkých minút.

Virtuálny Teach Pendant nahrádza reálny ovládací panel so všetkými funkciami a tak sa môžeme naučiť zaobchádzať s týmto zariadením aj bez jeho vlastnenia. Samozrejme nechýba ani zistenie doby cyklu alebo detekcia kolízie, ktorá predchádza možnému poškodeniu zariadenia [7].

Cena ročnej licencie je približne 2000€ bez DPH. Cena sa odvíja od výbavy programu, ktorú si je možno voliť ako napríklad : CAD converter IGES, STEP, CATIA, Inventor alebo ProEngineer každý za 495€ bez DPH ročne. Ďalej napríklad programové balíky ako zváranie, ohýbanie, obrábanie a maľba za 995€ ročne bez DPH.

#### 1.10.2. KUKA - KUKA.Sim



Obr.1-14 Logo KUKA.Sim

Ďalšou významnou spoločnosťou je spoločnosť KUKA. Taktiež ovládanie priemyselných robotov od firmy KUKA môžeme nasimulovať v prostredí programu KUKA.Sim. KUKA.Sim Layout slúži na vytvorenie 3D layoutov zariadení s robotmi KUKA [8].

Pre offline programovanie a simuláciu robotov KUKA je koncipovaný nástroj KUKA.Sim Pro. Je to vylepšený nástupca programu KRSim a je spojený s virtuálnym riadiacim systémom KUKA.OfficeLite [8].

Posledný softvérový balíček je KUKA.Sim Viewer, vďaka ktorému môžeme prehliadať simulácie vytvorené v spomínaných programoch. Taktiež môžeme využiť integrovaný filter pre nahranie CAD dát z iných systémov, alebo sa pokúsime vytvoriť komponenty pomocou CAD nástrojov programu KUKA.Sim Pro [8].

Tiež si môžeme otestovať dosiahnuteľnosť všetkých bodov pre náš robot, nebezpečie alebo výskyt kolízií. Nechýba ani funkcia na zistenie a optimalizovanie doby cyklu s vyššou presnosťou [8].



#### 1.10.3. Fanuc – Roboguide



Obr.1-15 Logo Roboguide

Ako posledná spoločnosť z 3 najvýznamnejších je spoločnosť FANUC. Pre simuláciu a offline programovanie svojich robotov vyvinula softvér s názvom ROBOGUIDE. Môžeme si zvoliť a nakonfigurovať 3 aplikačné nástroje : ArcTool (oblúkové zváranie), SpotTool (bodové zváranie) a HandlingTool (manipulácia) [9].

Projektovanie systému nám uľahčí Import CAD dát vo formáte IGES. Funkcia detekcia kolízie nás v prípade kolízie robota behom simulácie upozorní vizuálnym varovaním. Funkcia "teach pendant program profiler" analyzuje časy jednotlivých programových krokov, aby bolo možné dosiahnuť čo najlepších dôb cyklu [9].

Aj tento program dokáže preskúmať dosah na vybrané body, aby sme zabezpečili správnu polohu výrobku. Nenáročná obsluha pomocou virtuálneho teach pendantu, ktorý má rovnaké menu a displej ako pri skutočnom robote [9].

Cenu softvéru sa mi nepodarilo zistiť.



Spoločnosť W.A.T. Solutions priniesla univerzálny softvérový nastroj pre simuláciu a off-line programovanie robotov. Workspace 5 ponúka prispôsobenie užívateľského prostredia bez ohľadu na to, ktorá firma vyrobila robota, ktorého používate.

3D CAD model si môžete vytvoriť priamo v programe, alebo využitím funkcie ACIS CAD importujete či exportujete dáta vo formáte IGES a SAT. S vysokou presnosťou vykonáva štúdie o dosahu jednotlivých bodov, zaznamenáva doby cyklov a optimalizuje dráhy robota [10].

K zabráneniu poškodenia nákladných zariadení poslúži nástroj na analýzu a detekciu kolízií [10].

Cena ročnej licencie je \$6500.00 USD (približne 5000€ ročne).



#### 1.10.5. CNC Software Ltd. - Mastercam



Obr.1-17 Logo Mastercam

Spoločnosť CNC Software Ltd. vyvinula svetovú jednotku v CAD/CAM systémoch nazvanú Mastercam. Základom Mastercamu je výkonný modelár, vďaka ktorému môžeme vytvárať ľubovoľnú geometriu podľa konkrétnych požiadaviek [11].

Najviac používaný a najrozšírenejší je modul obsahujúci nástroje pre frézovanie. Tento modul dokáže nielen frézovanie rovinných tvarov, ale aj obrábanie zložitých tvarov v 6-tich osiach [11].

V programe Mastercam je možnosť vlastnej tvorby podkladov pre tvorbu dráh, alebo možno využiť rôznych formátov CAD systémov, napr. IGES, Parasolid, SAT, AutoCAD, Inventor, SolidWorks a ďalšie [12].

Súčasťou je tiež kontrola kolízie nástroja a držiaku a možnosť nastavenia pohybu nástroja, aby sa kolízii zabránilo. Zistenie doby cyklov je samozrejmosť [12].

1.10.6. Robotmaster



Obr.1-18 Logo Robotmaster

Robotmaster je software pre off-line programovanie šesťosých robotov na báze CAD/CAM. Jedná sa o unikátnu nadstavbu CAD/CAM systému Mastercam. Pomocou Robotmasteru je možné programovať zložité trajektórie robotov tak jednoducho, ako sa programujú CNC stroje [13].

Robotmaster si dokáže ľahko poradiť so zložitým programovaním robotov ako pre zváranie, lakovanie, brúsenie, leštenie, rezanie laserom, vodným paprskom, tak v neposlednej rade aj s programovaním obrábacích robotov. Stačí len naimportovať model a upraviť ho podľa vlastných potrieb [13].

Dráhy nástroja pre obrábanie sa programujú ľahko a rýchlo v CAD/CAM systéme Mastercam. Potom už postačuje iba odsimulovanie obrábania, čím sa zistia všetky nedostatky akými sú kolízie, dosiahnuteľnosť bodov a pod [13].



#### 1.11. Vyhodnotenie CAD/CAM aplikácií

Všetky programy (okrem programu Mastercam + Robotmaster) vypísané vyššie spĺňajú všetky kritériá okrem jedného a tým je CAM obrábanie. V týchto programoch môžeme naprogramovať robota, ale iba jeho posun z jedného bodu do druhého. Naprogramovať jeho chápadlo, kedy a ako sa má zavrieť prípadne otvoriť.

Po simulácii sa vygenerovaný kód nahrá do riadiacej jednotky robota. Po spustení sa môže upraviť iba pár príkazov bez toho, aby sa kód znovu generoval. Prebehne nová simulácia a postup sa opakuje až do vytvorenia bezchybného programu.



Obr.1-19 Cyklus generovania kódu v programoch neobsahujúcich CAM obrábanie

Mastercam a iné programy pre off-line programovanie podporujúce CAM obrábanie dokážu vytvoriť program pre obrobenie objektu (súčiastky) rôznej geometrii. Program pre robota vytvorí nadstavba Robotmaster.

Program sa vytvára na základe 3D modelu objektu, ktorý je vymodelovaný buď v Mastercam-e alebo inom CAD systéme. Vygenerovaný kód sa nahrá do riadiacej jednotky robota. Ak sa vyskytne kolízia pri odsimulovaní programu, musí sa program náležite upraviť a vygenerovať nový kód.

Súčiastka Kód Robot

Úpravy Nový kód Robot

Obr.1-20 Cyklus generovania kódu v programoch obsahujúcich CAM obrábanie



#### 2. Metodika tvorby programu metódou offline

2.1. Programovanie v systéme MasterCAM

#### 2.1.1. Vytvorenie 3D modelu

Na úvod potrebujeme vytvoriť 3D teleso, vďaka ktorému budeme schopný definovať budúcu dráhu nástroja. Ikony, ktorými je možné nakresliť základnú geometriu telesa sú napríklad vytvoriť rovnú čiaru, krivku, kružnicu, mnohouholník. Na druhej strane možno ihneď vytvoriť telesá ako valec, guľa a kváder a pod. Spomínané ikony sú vyznačené červeným rámikom na Obr.2-1.

Následne môžeme vytvorenú geometriu extrúdovať, orotovať okolo zvolenej osi alebo ťahať po nakreslenej dráhe. Všetkými týmito spôsobmi zmeníme 2D geometriu v 3D model. Na Obr.2-2 je zobrazený 3D model vzniknutý extrúdovaním, ďalej v rámiku sú vyznačené ikony, vďaka ktorým môžeme následne zaobliť alebo skosiť hrany atď.





### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Str. 24

#### 2.1.2. Import 3D modelu

MasterCAM umožňuje vložiť model vytvorený v iných dostupných CAD aplikáciách, ako sú napríklad AutoCAD, Pro/Engineer, SolidWorks, Autodesk Inventor, Catia a pod. Ja sa lepšie orientujem v programe Autodesk Inventor, preto som si teleso vymodeloval v tomto prostredí. Na Obr.2-3 vidíme podporu dostupných formátov pre vloženie objektu.



Obr.2-3 Podpora dostupných formátov pre import objektu

Str. 25

#### 2.1.3. Tvorba 2D kontúry pre pohyb nástroja

Po vymodelovaní alebo vložení 3D objektu môžeme vytvoriť kontúru, po ktorej sa bude nástroj pohybovať. Pred tvorením dráhy nástroja si musíme najprv zvoliť obrábací stroj, v našom prípade to je Robot KUKA. Na výber máme 2D, 3D alebo 5D obrábanie. 2D kontúra sa využíva pre obrábanie v jednej rovine, kde nástroj má voči obrobku rovnakú polohu počas celého cyklu. 3D kontúra je pre priestorové obrábanie, kde sa poloha nástroja taktiež nemení. 5D kontúru volíme pri priestorovom obrábaní, kde naviac meníme vzájomnú polohu nástroja voči obrobku v ktoromkoľvek bode. Poloha nástroja sa ovláda tak, že vytvoríme úsečku v ľubovoľnom bode kontúry. Osa Z nástroja bude pri prechode takýmto bodom totožná s nakreslenou úsečkou, tzn. že nástroj plynule zmení orientáciu voči telesu.

Dráhu môžeme tvoriť vybraním jednotlivých bodov, hrán alebo plôch telesa kliknutím, alebo pohybom myši vytvoríme okno, kde sa vyberú všetky body a hrany nachádzajúce sa v ňom.

Na Obr.2-4 je vytvorená 2D kontúra, vďaka ktorej nástroj vykoná pohyb okolo príruby.





### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

#### 2.1.4. Výber nástroja

Po vybratí kontúry sa na obrazovke zobrazí dialógové okno ako na Obr.2-5. V tomto okne si môžeme zvoliť všetky parametre ohľadom obrábania v systéme MasterCAM. V záložke Tool si vyberieme z knižnice nástrojov nami požadovaný nástroj. Informácie o ňom, ako napríklad číslo, názov, priemer a dĺžka nástroja, vidíme v červenom rámiku.

Toolpath Type						
Holder	#	Tool Name	Dia.	Cor. rad.	Length	#1
	🛃 119	4. BUL	4.0	1.0	50.0	4
Cead mir out     Break Through     Multi Passes     Linking Parameters     Linking Parameters     Coolant     Coolant	•					4

Obr.2-5 Výber nástroja

Nástroj môžeme modifikovať (Obr.2-6) a uložiť ako nový nástroj. Zmeniť môžeme tvar a rozmery nástroja. Zeleným rámikom na Obr.2-7 je označené vyvolanie tejto modifikácie.





### 2.1.5. Animácia pohybu nástroja

Nakoniec si spustíme aplikáciu po kliknutí na Toolpath v červenom rámiku na Obr.2-7.



Obr. 2-7 Animácia pohybu nástroja

Ak sme spokojný s animáciou, môžeme pridať ďalšie dráhy nástroja, napríklad v 5-osom obrábaní.



### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Str. 28

#### 2.1.6. Tvorba dráhy v 5D obrábaní

Dráha v 5-osom obrábaní sa tvorí takmer rovnako ako pri 2D, rozdiel je už v spomínanej orientácii nástroja. Pre vyvolanie okna je potreba zvoliť dráhu Multiaxis (alebo tiež 5-osá) a následne vybrať typ Curve (krivka). Na obr.2-8 v červenom rámiku je označený výber krivky, tzn. dráhy ako tomu bolo aj pri 2D obrábaní. Spomínanú orientáciu osy Z nástroja si volíme po kliknutí na šípku označenú zeleným rámikom.

Y   🖶 🖬		
Geometry Tool Holder Cut Parameters Cut Parameters O Depth Cuts O Multi Passes O Multi Passes Entry/Exit Entry/Exit Home / Ref. Points Avis Limits	Output format     5 axis       Backplot rotary axis     X Axis       Curve type     3D Curves       Tool axis control     Lines	• 🔀
Point/Filter/Tolerance Planes (WCS) Coolant Canned Text		

Obr.2-8 Tvorba dráhy v 5D

Pre zmenu orientácie osy Z nástroja kliknutím alebo označením vyberieme nakreslenú čiaru ako na Obr. 2-9.

Lines Tool Axis Control	
Obr.2-9	Voľba sklonu osy Z nástroja







Obr.2-10 Sklon osi Z nástroja

Po navrhnutí každej dráhy môžeme spustiť doplnok programu MasterCAM a to program Robotmaster. Spustíme ho v okne, v ktorom sme nastavovali nástroj, po kliknutí na ikonku v záložke Robot Config (Obr.2-11).





#### 2.2.Konfigurácia robota v systéme Robotmaster

#### 2.2.1. Výber robota a koncového efektora

Po kliknutí na ikonu Robot Config sa zobrazí okno ako na Obr.2-12. V červenom rámiku si zvolíme požadovaného robota. Pri kliknutí do zeleného rámiku máme na výber z knižnice koncových efektorov. V tomto prípade si volím efektor, ktorý som sám vytvoril a vložil do knižnice vďaka programu End Effector Setup Utility.

Global Settings	Robot
Frame Data Approach/Retract Tool and Configurati Motion	Robot: Kr60-3 Tooling: EFEKTOR1
Local Settings Axis Configuration Optimization Repose External Axis Rail Rotary	End Effector Tooling Selector
	EFEKTOR1Choose Spindle Definition File DEFAULT_KNIFE EFEKTOR1 GS_SPINDLE60

Obr.2-12 Výber robota a koncového efektora



#### 2.2.2. Nastavenie báze a nástroja

Na Obr.2-13 je v červenom rámiku zvýraznené nastavenie polohy súradnicového systému Base voči súradnicovému systému World. Pomocou týchto súradníc možno posúvať polohu 3D modelu v priestore. V zelenom rámiku sa nachádzajú súradnice posunu TCP vzhľadom k počiatočnému súradnicovému systému Tool. V mojom prípade je nástroj súčasťou vymodelovaného efektoru, takže súradnice sa prepočítajú automaticky po kliknutí do oblasti vyznačenej čiernym rámikom.

le <u>D</u> efaults <u>T</u> ools <u>H</u> elp		
Global Settings	Base Data	Tool Data
Robot	Base Number	Tool Number
Approach/Retract		
Tool and Configuration	Base: User defined 👻 🖣 🔽	User looi: Specify
Local Settings		Method: Use tool definition -
Axis Configuration		
Repose		
External Axis	1000.000	Tool list
Rotary		X 43.000 💌
P.Constant	Y 0.000 🖨	Y 0.000
	Z 20.000 🖨	z 221.000 🖨
		0.00
	B 0.00 🚔	в 0.00 荣
	C 0.00 🚔	C 0.00 🚔
		T
		× × ×
BOT: Kr60-3	TOOLING: EFEKTOR1	
		ТСР
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	
	Obr.2-13 Určenie polohy báze a	

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str 22
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	30. 32

### 2.2.3. Nastavenie Home pozície

Pozície A1-A6 na Obr.2-14 sú natočenie jednotlivých kĺbov priemyselného robota. Pomocou nich si môžeme nastaviť začiatočnú a koncovú polohu robota. Na Obr.2-15 vľavo je vidieť pozíciu, keď som do polohy kĺbu A3 zadali hodnotu 90, vpravo je hodnota A3 rovná 0.

Robotmaster Kuka robot co	onfigurator	<b>X</b>
<u>D</u> efaults <u>T</u> ools <u>H</u> elp		
Global Settings Robot Frame Data Approach/Retract Tool and Configurati	Approach Point <ul> <li>Do not use approach point</li> <li>Use approach point with joint values</li> </ul>	Retract Point <ul> <li>Do not use retract point</li> <li>Use retract point with joint values</li> </ul>
Motion Local Settings Axis Configuration Optimization Repose External Axis Rail Rotary	Approach Position         A1       -45.000 -         A2       0.000 -         A3       90.000 -	Retract Position           A1         -45.000 -         A4         0.000 -           A2         0.000 -         A5         0.000 -           A3         90.000 -         A6         0.000 -
	Obr.2-14 Natočenie kĺbov	robota

Obr.2-15 Home pozície robota



### 2.2.4. Vygenerovanie kódu

Po dokončení offline programovania musíme vygenerovať kód, ktorý obsahuje všetky potrebné informácie slúžiace k pohybu priemyselného robota. Kód sa automaticky vygeneruje po kliknutí na ikonu v zelenom rámiku a potom na ikonu v červenom rámiku na Obr.2-16.

Operations Manager	Post processing
Toolpaths Solids Art	
🐝 🐝 🏷 🏷 🗟 🔗 🖬 🌮	Active post: Select Post
n ≈ n   ▼ ▲ ⊑ ♦   ≈ 0	ROBOTMASTER_KUKA.PST
	Output MCX file descriptor     Properties
□	NC file
	📄 🔘 Overwrite 📝 Edit
🖃 🌃 1 - Contour (2D) - [WCS: TOP]	Ask NC extension:
Parameters	.src
Geometry - (1) chain(s)	Send to machine Communications
	NCI file
Parameters	🔘 Overwrite
Geometry - (2) chain(s)	
- 7 3 - Curve 5 Axis - [WCS: TOP]	
Parameters	
#1 - M2.00 ENDMILL3 BULL	
Geometry -	

Obr.2-16 Generovanie kódu

Následne si zvolíme miesto uloženia v počítači. Takto uložený súbor vo formáte .src priamo prevedieme do riadiacej jednotky počítača a následne si celý program môžeme odsimulovať na reálnom robotovi.

Ē	
<b>-</b>	

### 3. Funkčná aplikácia s robotom KUKA

#### 3.1.Popis vygenerovaného kódu

V tejto časti vidíme časť vygenerovaného kódu zo zadania mojej úlohy. Úplný kód je priložený v prílohe bakalárskej práce.

-názov programu KONTURA DEF KONTURA()

-deklarácia premenných EXT BAS (BAS\_COMMAND :IN,REAL :IN )

INT I

BAS (#INITMOV,0)

-nastavenie rýchlosti a zrýchlenia pohybu nástroja v móde PTP v % \$VEL\_AXIS[I]=30 \$ACC\_AXIS[I]=100 ENDFOR ;ENDFOLD (SET PTP \$VEL\_AXIS AND \$ACC\_AXIS)

;\*\*\*\*\*SETTINGS FOR POSITIONING CRITERIA\*\*\*\*\*\*\*\*\* ;FOLD ;SET POSITIONING CRITERIA \$APO.CDIS = 1.0000 – popisuje vzdialenosť, ktorá musí byť prekročená k začatiu nového cyklu v mm ;ENDFOLD (SET POSITIONING CRITERIA)



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



LIN {X 66.4905,Y -100.2477,Z 12.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000} C\_DIS



### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



- robot dorazil na kontúru č.2 a opisuje druhú kružnicu
LIN {X 292.8162,Y -99.0005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000} C\_DIS
CIRC {X 302.3162,Y -108.5005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000},{X 311.8162,Y -99.0005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000} C\_DIS
CIRC {X 302.3162,Y -89.5005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000},{X 292.8162,Y -99.0005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000},{X 292.8162,Y -99.0005,Z 2.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000}

-nástroj odchádza po nakreslení druhej kružnice LIN {X 292.8162,Y -99.0005,Z 7.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000} C\_DIS



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

- nástroj sa presunie nad začiatok kontúry č.3 PTP {X 302.2105,Y -96.7649,Z 6.4711,**A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000,S** 2,T 34}

- nástroj začína kresliť kontúru č.3 v 5-osom móde. Môžeme porovnať hodnoty sklonu nástroja A,B,C od predošlého procesu k nasledujúcemu. Hodnoty A,B,C sa priebežne menia, čo má za následok plynulú zmenu sklonu osi nástroja voči pracovnej ploche. Kombináciou lineárnych pohybov sa nakreslí kontúra č.3.



Obr.3-3 Kontúra č.3 (sklon osi nástroja)

LIN {X 302.3162,Y -99.0005,Z 2.0000,**A 0.2859,B -1.2110,C 153.4347**} C\_DIS LIN {X 299.8093,Y -97.3527,Z 2.0000,A 0.2477,B -1.1053,C 154.7384} C\_DIS LIN {X 297.3024,Y -95.7048,Z 2.0000,A 0.2116,B -0.9980,C 156.0559} C\_DIS LIN {X 294.7955,Y -94.0570,Z 2.0000,A 0.1778,B -0.8891,C 157.3860} C\_DIS LIN {X 292.2886,Y -92.4091,Z 2.0000,A 0.1147,B -0.6573,C 160.1976} C\_DIS LIN {X 290.4017,Y -91.2077,Z 2.0000,A 0.0571,B -0.3911,C 163.4024} C\_DIS LIN {X 288.1783,Y -91.0856,Z 2.0000,A -0.0067,B 0.0692,C 168.9164} C\_DIS LIN {X 287.5110,Y -91.4063,Z 2.0000,A -0.0178,B 0.2190,C 170.7100} C\_DIS LIN {X 201.8559,Y -77.6142,Z 2.0000,A -0.0114,B 0.0874,C 165.1696} C\_DIS LIN {X 199.9115,Y -77.9891,Z 2.0000,A -0.0070,B 0.0498,C 164.0605} C\_DIS

- dokončenie 3. kontúry a odchod nástroja od plochy
 PTP {X 199.9158,Y -76.6160,Z 6.8078,A -0.0070,B 0.0498,C 164.0605,S 2,T 10}

- os nástroja je opäť kolmá k pracovnej ploche
PTP {X 50.0000,Y -60.0000,Z 5.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000,S 2,T 34}
PTP {X 49.5000,Y -60.0000,Z 7.0000,A 0.0000,B 0.0000,C 180.0000,S 2,T 34}







### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Str. 39





### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

#### 4. Záver

V bakalárskej práci som uskutočnil analýzu dostupných softvérových nástrojov pre simuláciu a offline programovanie robotov. Zistil som, že softvér na obsluhu robota dodávaný od výrobcu je pre mnoho užívateľov postačujúci čo sa týka najpoužívanejších úkonov. Medzi tieto úkony patrí presun objektov medzi začiatočnou a konečnou pozíciou, vkladanie alebo vyberanie objektov zo strojov alebo foriem, manipulácia s plechom pri ohýbaní alebo triedenie chybných výrobkov od vyhovujúcich.

Na druhú stranu sme obmedzení pri návrhu akejkoľvek presne zadefinovanie dráhy bez zdĺhavého vytvárania algoritmov. Pomocnú ruku nám v tomto prípade podávajú vývojári CAD/CAM softvérových nástrojov, vďaka ktorým sa programovanie robotov stáva jednoduchšie z pohľadu operátora. Ak by sme navrhovali dráhu robota ručne, tzn. zapisovať pozíciu každého bodu v priestore samostatne, zabralo by nám to omnoho viac času ako pri použití CAD/CAM nástrojov. Je jednoduchšie v počítači vybrať kontúru obrobku alebo inú krivku, ktorej tvar chceme nástrojom robota kopírovať, a algoritmus, teda súradnice všetkých potrebných bodov, sa automaticky vygenerujú vďaka softvéru.

Pre priblíženie programov Mastercam a Robotmaster môžem zhodnotiť, že práca v nich nie je zložitá. Programy majú svoj určitý postup pri vytváraní simulácií, ktorý keď dodržíme, tak naprogramujeme pohyby nástrojov relatívne rýchlo a jednoducho. Pracovné prostredie je veľmi prehľadné, zorientovať sa v ňom dokáže aj menej skúsený užívateľ.

Vybrať si môžeme z niekoľkých druhov obrábania, napríklad vŕtanie, vyvŕtavanie, frézovanie kontúr, frézovanie káps, gravírovanie, brúsenie atď. Aj preto majú softvéry Mastercam a Robotmaster širokú škálu použitia a v budúcnosti budú využívané čím ďalej tým viac.

Cieľom práce bolo vytvoriť funkčnú aplikáciu s robotom KUKA. Ja som si vytvoril 4 pracovné cykly. V prvom cykle sa popisovačom obkreslí na podložku obrys Československa. V druhom cykle sa nakreslí krúžok ako symbolika mesta Brna, kde študujem, a krúžok mesta Handlová, odkiaľ pochádzam. V treťom cykle sa spoja tieto dve mestá, čo predstavuje cestu z domova do školy. V poslednom štvrtom cykle som poukázal na to, že robot dokáže vytvoriť kontúru z textu, a preto napíše skratku fakulty FSI.

Pri overení kódu na reálnom robotovi KUKA sa objavila singularita v treťom cykle. Robot sa pri vykonávaní cyklu zasekol, pretože sa objavil veľký nárast rýchlosti štvrtej osi. Potom bolo nutné prispôsobiť natočenie jednotlivých os, aby sme sa singulárnym polohám vyhli.

### 5. Použitá literatúra

- [1] VELÍŠEK, Karol, KATALINIČ, Branko, JAVOROVÁ, Angela. *Priemyselné roboty a manipulátory*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2006, 183 s. ISBN 80-227-2492-0.
- [2] VITRALAB Automatizačná a robotická technika [online]. 2011, posledná úprava 2011 [cit.2012-03-10]. Dostupné z WWW: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka\_sk\_final.pdf
- [3] SCHMIDL, Michal. Priemyselné roboty plnia rozhodujúcu úlohu pri dosiahnutí ekonomických výhod na globálnom trhu. *Technika* [online]. 2009, október [cit.2012-03-10] Dostupné z WWW: http://www.techpark.sk/technika-102009/priemyselne-roboty.html
- [4] WIKIPÉDIA. *Robotika* [online].2004, posledná úprava 23.04.2012 [cit.2012-03-20] Dostupné z
   WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Robotika
- [5] KUKA Robot Group. Instrukcja obsługi i programowania [online]. 2006 [cit.2012-03-20]
   Dostupné z WWW: http://www.zpss.aei.polsl.pl/content/dydaktyka/NM/robot\_KUKA.pdf
- [6] HAJDUK, Mikuláš, BALÁŽ, Vladimír, DANESHJO, Naquibullah. Simulácia a off-line programovanie priemyselných robotických systémov. AT&P journal [online]. 2005, február [cit.2012-04-10] Dostupné z WWW: http://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp-2005-02-84.pdf
- [7] ABB. Software RobotStudio [online]. 2012 [cit.2012-04-02] Dostupné z WWW: http://www.abb.cz/product/seitp327/78fb236cae7e605dc1256f1e002a892c.aspx?productLangua ge=cz&country=CZ
- [8] KUKA. *Software KUKA.Sim* [online]. 2011 [cit.2012-04-02] Dostupné z WWW: http://www.kuka-robotics.com/czech\_republic/cs/products/software/simulation/
- [9] FANUC. *Software Roboguide* [online]. 2009 [cit.2012-04-10] Dostupné z WWW: http://www.fanucrobotics.cz/cs/products/software/simulation%20and%20development
- [10] WAT Solutions. Workspace 5 [online]. 2012 [cit.2012-04-10] Dostupné z WWW: http://www.workspacelt.com/Workspace5/WS5\_Index.htm
- [11] KITNAR, Zdeněk. Mistr mezi CAM systémy. C DESIGN [online]. 2007 [cit.2012-04-10]
   Dostupné z WWW: http://www.sonetech.cz/upload/Mastercam/clanky/cdesign1.pdf
- [12] NETOPIL, Jiří, CHLUMSKÝ, Jaroslav. Mastercam nově na českém trhu. MM Spektrum [online]. 2008 [cit.2012-04-15] Dostupné z WWW: http://www.sonetech.cz/upload/Mastercam/clanky/mastercam-nove-na-ceskem-trhu-mmspektrum.pdf
- [13] NETOPIL, Jiří, KREJČIŘÍKOVÁ, Lucie. Revoluce v programování robotu. MM Spektrum
   [online]. 2009 [cit.2012-04-15] Dostupné z WWW: http://www.sonetech.cz/upload/Mastercam/clanky/mm\_0607\_09\_sonetech.pdf

┍╴	
<b>-</b>	

5.	Použité obrázky a grafy	
	<b>Graf 1.</b> Ročná dodávka priemyselných robotov dostupný z: http://www.worldrobotics.org/uploads/media/2011_Executive_Summary.pdf	10
	<b>Obr.1-1</b> Manipulácia s materiálom dostupný z: http://iccrobotics.com/images/Palletizing-(55)a.jpg	11
	<b>Obr.1-2</b> Manipulácia so súčiastkou dostupný z:	11
	http://1.bp.blogspot.com/_BECk- Nw4tCs/Snrt23FxkYI/AAAAAAAAAD0/28vo3mAvvvQ/s400/lynx-5-robotic-arm.jpg	
	<b>Obr.1-3</b> Manipulácia s nástrojom – frézovanie dostupný z:	11
	http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/E90FF0EA-6588-4762-9B6D-7195C8C2347D/0/L_USA_Architectural_Milling_01.jpg	
	<b>Obr.1-4</b> Model angulárneho PR dostupný z: VELÍŠEK, Karol, KATALINIČ, Branko, JAVOROVÁ, Angela. <i>Priem</i> <i>roboty a manipulátory</i> . Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2006, 183 s., str.63 80-227-2492-0.	12 vselné ISBN
	<b>Obr.1-5</b> Kinematická schéma a tvar pracovného priestoru angulárneho PR dostupný z: VELÍŠEK, Karol, KATALINIČ, Branko, JAVOROVÁ, Angela. <i>Priem</i> <i>roboty a manipulátory</i> . Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2006, 183 s., str.63 80-227-2492-0.	12 vselné ISBN
	<b>Obr.1-6</b> Výrobcovia PRaM dostupný z: http://www.robotize.com.au/images/news/post_thumb_ca4095.jpg http://www.robotize.com.au/images/news/post_thumb_de3094.jpg http://www.3dconsulting.us/images/logos/Motoman_logo.jpg http://www.baron-groupe.fr/wp-content/uploads/2011/05/Fanuc.jpg	13
	<b>Obr.1-7</b> KUKA – 6 stupňov volnosti dostupný z: KUKA Robot Group. <i>Instrukcja obsługi i programowania</i> [online]. 2006 str. Dostupné z WWW: http://www.zpss.aei.polsl.pl/content/dydaktyka/NM/robot_KUKA.pd	13 42 If
	<b>Obr.1-8</b> Súradnicové systémy robota KUKA dostupný z: KUKA Robot Group. <i>Instrukcja obsługi i programowania</i> [online]. 2006 str. Dostupné z WWW: http://www.zpss.aei.polsl.pl/content/dydaktyka/NM/robot_KUKA.pd	14 41 If
	<b>Obr.1-9</b> Bodové riadenie robota PTP dostupný z: KUKA Robot Group. <i>Instrukcja obsługi i programowania</i> [online]. 2006 str. Dostupné z WWW: http://www.zpss.aei.polsl.pl/content/dydaktyka/NM/robot_KUKA.pd	15 97 If



# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

<b>Obr.1-10</b> Dráhové riadenie robota – LIN (P1-P2) a CIRC (P <sub>START</sub> -P <sub>END</sub> )	15
dostupný z: KUKA Robot Group. <i>Instrukcja obsługi i programowania</i> [online]. 2006 Dostupné z WWW: http://www.zpss.aei.polsl.pl/content/dydaktyka/NM/robot_KUKA	str.97,98 A.pdf
<b>Obr.1-11</b> Postup pri on-line programovaní robota dostupný z: vytvorený autorom	16
<b>Obr.1-12</b> Obecná metodika off-line programovania dostupný z: http://www.sst.cz/download/pdf/svet_stroj_tech201006_complete.pdf	17
<b>Obr.1-13</b> Logo RobotStudio dostupný z:	19
http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/481ca08cae4f9293c1257 72ad/\$file/robotstudio5_brochure.pdf	70cf0034
<b>Obr.1-14</b> Logo KUKA.Sim dostupný z:	19
http://www.scuoladirobotica.eu/en/Ajax/index.html?cmd2=showFile&file=Ly4uL2Zj 2l0ZW1zL2ltZy82NS5iLmpwZw==&mime=image/jpeg&crc=02eb6473d929498b66 02170ced71e1795	obGV6L 52383f7
<b>Obr.1-15</b> Logo Roboguide dostupný z: http://www.johnhartautomation.com.au/images/software/roboguide_fram	20 e.jpg
<b>Obr.1-16</b> Logo Workspace 5 dostupný z: http://www.workspacelt.com/Workspace5/Workspace5_hdr.png	20
<b>Obr.1-17</b> Logo Mastercam dostupný z: http://www.mastercam.com.au/images/Mastercam%20X6.jpg	21
<b>Obr.1-18</b> Logo Robotmaster dostupný z: http://www.pressebox.de/attachment/400359/Mastercam_PM_04-11_Bil	21 d_3.jpg
<b>Obr.1-19</b> Cyklus generovania kódu v programoch neobsahujúcich CAM obrábanie dostupný z: vytvorený autorom	22
<b>Obr.1-20</b> Cyklus generovania kódu v programoch obsahujúcich CAM obrábanie dostupný z: vytvorený autorom	22
<b>Obr.2-1</b> Vytvorenie základnej geometrie telesa dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	23
<b>Obr.2-2</b> Extrúdovanie geometrie dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	23
<b>Obr.2-3</b> Podpora dostupných formátov pre import objektu dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	24



<b>Obr.2-4</b> 2D kontúra pre odihlenie príruby. dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	25
<b>Obr.2-5</b> Výber nástroja dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	26
Obr.2-6 Modifikácia nástroja	26
dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	
<b>Obr. 2-7</b> Animácia pohybu nástroja dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	27
<b>Obr.2-8</b> Tvorba dráhy v 5D dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	28
<b>Obr.2-9</b> Voľba sklonu osy Z nástroja dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	28
<b>Obr.2-10</b> Sklon osi Z nástroja dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	29
<b>Obr.2-11</b> Spustenie konfigurácie robota dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	29
<b>Obr.2-12</b> Výber robota a koncového efektora dostupný z: vytvorený autorom v programe Robotmaster	30
<b>Obr.2-13</b> Určenie polohy báze a TCP dostupný z: vytvorený autorom v programe Robotmaster	31
<b>Obr.2-14</b> Natočenie kĺbov robota dostupný z: vytvorený autorom v programe Robotmaster	32
<b>Obr.2-15</b> Home pozície robota dostupný z: vytvorený autorom v programe Robotmaster	32
<b>Obr.2-16</b> Generovanie kódu dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	33
<b>Obr.3-1</b> Kontúra č.1 dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	35
<b>Obr.3-2</b> Kontúra č.2 dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	36
<b>Obr.3-3</b> Kontúra č.3 (sklon osi nástroja) dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	37
<b>Obr.3-4</b> Kontúra č.4 dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	38
<b>Obr.3-5</b> Detail písmena S dostupný z: vytvorený autorom v programe Mastercam	39



### 7. Zoznam príloh

Príloha č.1 Úplný vygenerovaný kód funkčnej demonštratívnej aplikácie