

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Igor KOŠIR

ROBOTIZACIJA MEHANSKEGA OBDELOVALNEGA POSTOPKA

DIPLOMSKA NALOGA
Univerzitetni študij

ROBOTISATION OF MECHANICAL PROCESSING

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2015

Diplomsko delo sklepa Univerzitetni študij lesarstva. Opravljeno je bilo v laboratoriju Delovne skupine za mehanske obdelovalne tehnologije na Biotehniški fakulteti na Oddelku za lesarstvo Univerze v Ljubljani, kjer so potekale priprave za kasnejšo praktično realizacijo naloge. Prvi, praktični del naloge smo opravili v podjetju ABB Slovenija, ki je omogočilo uporabo tehnične opreme in delavnice. Drugi, praktični del naloge je bil izveden v laboratoriju Delovne skupine za mehanske obdelovalne tehnologije.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorico diplomskega dela odobril doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja dr. Bojana Gospodariča in za recenzenta doc. dr. Mirana Merharja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

Član:

Datum zagovora: 11.12.2015

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo celotnega besedila svoje naloge na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Igor Košir: _____

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 621.91
KG	robotski sistemi/mehansko obdelovalni postopek/CAM tehnologija
AV	KOŠIR, Igor
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentorica)/GOSPODARIČ, Bojan (somentor)/MERHAR, Miran (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2015
IN	ROBOTIZACIJA MEHANSKEGA OBDELOVALNEGA POSTOPKA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 51 str., 34 sl., 2 pregl., 5 pril., 8 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Fleksibilni proizvodni sistemi (FPS) omogočajo proizvodnjo različnih kosov v manjših serijah. Kompleksnejši so avtomatizirani in računalniško nadzorovani. Za mehansko obdelovalne FPS-je je značilna uporaba CNC-obdelovalnih centrov. Robot, ki nadomešča primarni obdelovalni stroj, pomeni nov vidik načrtovanja FPS-ja. Testirali smo dva različna robotska sistema. Dvorobotski sistem, katerega del je pozicionirni in obdelovalni robot, smo programirali v Robotstudiju. Ta sistem ne omogoča izdelovanja orodnih poti, iz površin CAD-geometrije, za CNC-rezkanje. Obdelovalni proces z 12 prostostnimi stopnjami smo vodili preko krmilnega modula, ki zagotavlja usklajeno in sinhronizirano gibanje obeh robotov. Drugi sistem vsebuje enorobotsko celico z obdelovalno mizo. Pri tem smo uporabili visoko napredno CAM-tehnologijo, ki zelo poenostavi programiranje obdelovalnih poti orodja. Določitev ostalih tehnoloških parametrov je bila enostavna. Vanje spadajo: nedelovni gibi, vstop in izstop orodja iz obdelovanca idr. Verifikacija in simulacija orodnih poti omogočata vizualizacijo poteka obdelave do končnega izdelka. Po obeh sistemih smo izdelali zgornji pokrov violine in s primerjavo ugotovili, da je kljub podobnim mehanskim lastnostim vseh robotov, primernejša uporaba enorobotskega sistema. Pokazalo se je, da je mogoče doseči najboljšo izkoriščenost mehanskih lastnosti strojev in naprav z uporabo ustrezne programske opreme.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
 DC UDC 621.91
 CX robotic systems/mechanical machining process/CAM technology
 AU KOŠIR, Igor
 AA GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/GOSPODARIČ, Bojan (co-advisor)/MERHAR, Miran (reviewer)
 PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, C. VIII/34
 PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of Wood Science and Technology
 PY 2015
 TI ROBOTISATION OF MECHANICAL PROCESSING
 DT Graduation Thesis (University studies)
 NO X, 51 p., 34 fig., 2 tab., 5 ann., 8 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB Flexible manufacturing systems (FMS) enable production of various products in smaller series. Fully automated and computer controlled production process is integrated for more complex FMS's. Usually, CNC machining centers are used as a machining tools within FMS. Introducing an industrial robot as a primary machining tool into FMS's is considerably a new way of a system design approach. The application is demonstrated on the example of upper cover of a violin. Two different robotic systems were tested. Two-robotic system has positioning and machining robot programmed by Robotstudio graphical interface which does not support of making toolpaths out of surfaces from a CAD model for CNC milling. A single control module is processing 2 robots with 12 degrees of freedom to obtain fully coordinated and synchronized movements of two robots. The other system is a single robot cell with machining table. We applied highly advanced CAM technology for programming to simplify the whole process. Other technological parameters are easy to set - such as non cutting moves, engaging to and retracting from material, etc. Also verification and simulation of toolpath processing is taking place for better visualization of the final product. We produced upper violin cover by both systems to show, that not only highly advanced industrial robots with similar mechanical characteristics are enough, to achieve the desired machining quality. A proper use of right software for programming is necessary, to utilize all advanced characteristics, of any mechanical equipment, to obtain most efficient final product. In our case a single-robotic system gave us better final result.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija.....	III
Key words documentation.....	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic.....	VIII
Kazalo slik.....	IX
Kazalo prilog.....	X
 1 UVOD	 1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	2
1.2 CILJI	2
2 OSNOVE FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMOV	3
2.1 POMEN IN UPORABNOST FLEKSIBILNOSTI V PROIZVODNIH SISTEMI	3
2.2 TIPI FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMOV	4
2.2.1 Število strojev	4
2.2.2 Raven fleksibilnosti	5
2.2.2.1 Namenski fleksibilni proizvodni sistem.....	5
2.2.2.2 Naključni fleksibilni proizvodni sistem	6
2.3 KOMPONENTE FPS ZA OBDELOVALNE PROIZVODNE PROCESSE	7
2.4 OBLIKA UREDITVE FPS	7
2.4.1 Linijska ureditev	7
2.4.2 Zančna ureditev	8
2.4.3 Lestvična ureditev	9
2.4.4 Odprtopoljna ureditev	9
2.4.5 Robotizirana ureditev	11
2.5 RAČUNALNIŠKO KRMILNI SISTEM.....	12
2.6 OSEBJE.....	12
3 ROBOTIZIRANA MEHANSKA OBDELAVA	13
3.1 MEHANSKO OBDELOVALNI INDUSTRIJSKI ROBOT	13
3.1.1 Možnost uporabe industrijskega robota namesto CNC-stroja	13
3.1.2 Prednosti mehansko obdelovalnega robota pred CNC-strojem	14
3.1.3 Slabosti mehansko obdelovalnega robota pred CNC-strojem	14
3.1.4 Pojem fleksibilnosti mehansko obdelovalnega robota	14
3.1.5 Robotsko mehansko obdelovanje kovin	15
3.2 ROBOTSKE SISTEME.....	15
3.2.1 Manipulator	16
3.2.2 Krmilni modul	16
3.2.3 Pogonski modul	16
3.2.4 Druga krmiljena strojna oprema	16

3.2.5	Programska oprema	16
3.3	ROBOTSKI PROGRAMSKI JEZIK	16
3.3.1	Definicija robotskega programskega	16
3.3.2	Načini programiranja	17
3.3.2.1	Programiranje z učenjem.....	17
3.3.2.2	Neposredno "offline-programiranje"	17
3.3.2.3	"Offline-programiranje" s simulacijskim programom	17
3.3.2.4	CAD/CAM-programiranje	18
3.4	BISTVENE ZNAČILNOSTI INDUSTRIJSKEGA ROBOTA	18
4	UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA	19
4.1	KONSTRUIRANJE IN 3D-MODELIRANJE	19
4.1.1	"Solidworks"	19
4.1.2	"Rhinceros"	20
4.2	PROGRAMIRANJE IN SIMULACIJA	20
4.2.1	"Robotstudio"	20
4.2.1.1	Potek dela s programom "Robotstudio"	21
4.2.2	"Mastercam" in "Robotmaster"	23
4.2.2.1	"Mastercam"	23
4.2.2.2	"Robotmaster"	23
5	KONKRETNI PRIMER: ZGORNJI POKROV VIOLINE	25
5.1	IZ ZGODOVINE VIOLINE	25
5.2	DVOROBOTSKA CELICA	25
5.2.1	Namen in cilj dvorobotske celice	25
5.2.2	"MultiMove"	25
5.2.2.1	Namen funkcije "MultiMove"	25
5.2.2.2	Krmilni modul s funkcijo "MultiMove"	26
5.2.2.3	Programiranje "MultiMove"	26
5.2.2.3.1	Neodvisno gibanje.....	26
5.2.2.3.2	Delno usklajeno gibanje	27
5.2.2.3.3	Usklajeno (koordinirano) sinhronizirano gibanje	27
5.2.3	Sistem dvorobotske celice	27
5.2.4	Robot IRB 140 Type B (verzija 140T)	27
5.2.5	Robot IRB 1600 – 7 / 1.45	28
5.2.6	Pojma "koordinatni sistem osnove" in "svetovni koordinatni sistem"	30
5.2.6.1	Koordinatni sistem osnove	30
5.2.6.2	Svetovni koordinatni sistem	30
5.2.7	Opis dvorobotske celice	31
5.2.8	Naprave in oprema robotov	32
5.2.8.1	Vpenjalni mehanizem.....	32
5.2.8.2	Nastavek za rezkanje druge strani	33
5.2.8.3	Motor vretena	34

5.2.8.4	Frekvenčni pretvornik	34
5.2.9	Orodje.....	35
5.2.9.1	Polkrožni stebelni rezkar	35
5.2.9.2	Stebelni rezkar	35
5.2.10	Obdelovanec dvorobotske celice	36
5.2.11	Mehanska obdelava v dvorobotski celici.....	36
5.2.11.1	Tehnološki parametri obdelave dvorobotske celice	37
5.2.11.2	Rezkanje zgornje površine pokrova v dvorobotski celici	37
5.2.11.3	Rezkanje spodnje površine pokrova v dvorobotski celici	38
5.2.11.4	Obrez zgornjega pokrova violine v dvorobotski celici	39
5.3	ENOROBOTSKA CELICA.....	39
5.3.1	Namen in cilj enorobotske celice.....	39
5.3.2	Sistem obstoječe enorobotske celice	40
5.3.3	Robot KR 150-2	40
5.3.4	Mehanska obdelava v enorobotski celici.....	41
5.3.4.1	Obdelovanec enorobotske celice.....	41
5.3.4.2	Tehnološki parametri obdelave enorobotske celice	41
5.3.4.3	Rezkanje zgornje površine pokrova v enorobotski celici	41
5.3.4.4	Rezkanje spodnje površine pokrova v enorobotski celici	42
5.3.4.5	Obrez zgornjega pokrova violine v dvorobotski celici	43
6	REZULTATI	44
6.1	DVOROBOTSKI SISTEM.....	44
6.2	ENOROBOTSKI SISTEM	46
7	SKLEP.....	48
8	POVZETEK.....	49
9	VIRI.....	51
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Merila za izvedbo testa fleksibilnosti proizvodnih sistemov glede na število strojev.....	5
Preglednica 2: Merila za izvedbo testa fleksibilnosti pri namenskem in naključnem tipu FPS-ja	7

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Nekaterne značilnosti fleksibilnih sistemov glede na število strojev	5
Slika 2: Primerjava namenskega in naključnega tipa FPS-ja.....	6
Slika 3: Linijska ureditev FPS	8
Slika 4: a) Zančna in (b) pravokotna ureditev FPS	9
Slika 5: Lestvična ureditev FPS	10
Slika 6: Odprtopoljna ureditev FPS	11
Slika 7: Robotizirana ureditev FPS	12
Slika 8: Primer 6-osnega industrijskega robota	13
Slika 9: Računalniški 3D-model zgornjega pokrova violine	25
Slika 10: Grafični prikaz delovnega območja robota IRB 140.....	28
Slika 11: Robot IRB 140.....	28
Slika 12: Grafični prikaz delovnega območja robota IRB 1600 / 1.45.....	29
Slika 13: Robot IRB 1600 / 1.45.....	30
Slika 14: Koordinatni sistem osnove	30
Slika 15: Skupni svetovni koordinatni sistem.....	31
Slika 16: Robotska celica.....	32
Slika 17: Računalniški 3D-model vpenjalnega mehanizma	33
Slika 18: Računalniški 3D-model nastavka	34
Slika 19: Računalniški 3D-model motorja vretena.....	34
Slika 20: Frekvenčni pertvornik ACS 140.....	35
Slika 21: Računalniški 3D-model polkrožnega stebelnega rezkarja.....	35
Slika 22: Stebelni rezkar	36
Slika 23: Računalniški 3D-model obdelovanca	36
Slika 24: Strojna oprema nameščena na robotih.....	37
Slika 25: Robota pred sprožitvijo sistema v delovanje za rezkanje zgornje površine pokrova	38
Slika 26: Robota pred sprožitvijo sistema v delovanje za rezkanje spodnje površine pokrova	39
Slika 27: Enorobotska celica.....	40
Slika 28: Grafični prikaz delovnega območja robota KR 150.2.....	41
Slika 29: Videz obdelovanca pred finim rezkanjem zgornje (izbočene) površine violinskega pokrova.....	42
Slika 30: Zgornja (izbočena) površina violinskega pokrova iz dvorobotskega sistema ..	44
Slika 31: Povečan izrez s slike 30.....	45
Slika 32: Spodnja (vbočena) površina violinskega pokrova iz dvorobotskega sistema ..	45
Slika 33: Zgornja (izbočena) površina violinskega pokrova iz enorobotskega sistema ..	46
Slika 34: Spodnja (vbočena) površina violinskega pokrova iz enorobotskega sistema...	46

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Delavniška risba vmesne plošče za pritrditev motorja na prirobnico robota
Priloga B: Izometrična risba vpenjalnega mehanizma
Priloga C: Sestavni načrt vpenjalnega mehanizma
Priloga D: Delavniške risbe sestavnih delov vpenjalnega mehanizma
Priloga E: Struktura in vsebinski deli RAPID aplikacije

1 UVOD

Uvajanje industrijskih robotov v proizvodne procese prinaša podjetjem številne prednosti, npr. nižje proizvodne stroške, večjo učinkovitost, boljšo kakovost, višjo stopnjo zanesljivosti in fleksibilnosti. Zelo primerni so pri izvajanju opravil, ki ogrožajo zdravje ljudi, npr. lakiranje, varjenje, ponavljajoči manipulativni gibi in podobno.

Širok spekter uporabnosti in fleksibilnosti industrijskega robota je njegova prednost, ko se odločamo o izbiri in vključevanju mehanskih strojev v proizvodni sistem. Industrijski roboti se najpogosteje uporabljajo v manipulativne namene, kakršni so strega stroju, varjenje, montaža, nanašanje različnih mas in premaznih sredstev (lakirni roboti), vodenje obdelovanca med obdelavo, kontrola itd. Redkeje se pojavljajo kot računalniško vodeni mehansko obdelovalni rezkalni stroji, kar je alternativa obstoječim in uveljavljenim CNC-strojem. Zaradi konstrukcijskih značilnosti robota, iz katerih izhaja tudi problem togosti, je njegova uporabnost v mehansko obdelovalne namene omejena. Uporaba robotskih sistemov pa je ugodnejša po ekonomski plati, saj je njihova implementacija cenejša od CNC-obdelovalnih strojev s primerljivimi delovnimi površinami. Ponavadi se razlika med potrebnimi investicijskimi finančnimi sredstvi in velikostjo delovne površine še povečuje in govori v prid uporabe robotskega sistema.

Raznovrstnost ponudbe, nenehni novi izdelki in skrajševanje dobavnih rokov silijo proizvajalce k temeljitemu in premišljenemu načrtovanju novih proizvodnih procesov ali k posodabljanju starih. To pomeni zmanjševanje serij in večje število nastavitev, posledično pa nižje izkoristke strojev in druge proizvodne opreme. Da bi te izgube ublažili, morajo podjetja v proizvodne sisteme vključevati stroje in naprave, ki omogočajo hitro prilagajanje na omenjene spremembe. Sem zagotovo spadajo CNC-obdelovalni stroji in industrijski roboti.

Diplomsko delo se osredotoča na analizo uporabe industrijskega robota v mehansko obdelovalne namene. Kot vzorčni primer je bila prikazana izdelava zgornjega violinskega pokrova, pri čemer smo testirali dva robotska sistema. Prvi vsebuje vpenjalni in obdelovalni robot. Uporabili smo programsko opremo proizvajalca za "offline"-programiranje, ker edina omogoča programiranje dveh sinhrono delujočih robotov. Problematično je, ker nima neposredne podpore za obdelovanje površin, kakršno imajo klasični CAM-programi. Drugi sistem je enorobotski. Pri tem smo programirali klasično s CAM-aplikacijo z dodatnim modulom za pretvorbo NC-kode v programski jezik, ki je robotu razumljiv. Metoda ima več prednosti, saj omogoča lažje definiranje in izbiranje orodja ter boljši nadzor nad gibanjem orodja med obdelavanjem.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

- S postopkom robotizirane mehanske obdelave izdelati zgornji pokrov violine.
- Za vsak sistem je treba zasnovati svoj način vpenjanja oz. pozicioniranja obdelovanca, ki je dvostransko obdelovan, zato ga je treba obračati.
- Na podlagi izbrane zasnove vpenjanja oz. pozicioniranja izdelati natančne načrte konstrukcije vpenjal in ostalih pripomočkov, ki bodo uporabljeni.

1.2 CILJI

- Prikazati dve različni možnosti robotizirane mehanske obdelave, opredeliti tehnološke podrobnosti in ugotviti rezultat na podlagi primerjave končnega izdelka.
- Primerjati tehnološke postopke sistemov, programsko in strojno opremo ter podati mnenje o uporabnosti posamezne tehnologije izdelave.

2 OSNOVE FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMOV

2.1 POMEN IN UPORABNOST FLEKSIBILNOSTI V PROIZVODNIH SISTEMIH

Pojem "fleksibilni proizvodni sistem" (ang.: flexible manufacturing system; FMS) pomeni visoko avtomatiziran skupek tehnoloških strojev in naprav. Sestavljajo ga obdelovalne delovne postaje, povezane s sistemi za manipulacijo in transport materialov, ki so računalniško vodeni in nadzorovani. Takšen sistem se splača uvesti, ko gre za proizvodnjo raznovrstnih izdelkov manjših do srednje velikih serij.

Sposobnost sistema za proizvodnjo različnih izdelkov na različnih obdelovalnih postajah, pri čemer lahko mešanico in količino izdelkov prilagodimo, da zadostimo trenutnemu povpraševanju, imenujemo fleksibilnost. Vsak izdelek lahko obdelujemo v kateremkoli obdelovalnem centru, če ga ustrezno vodimo in izdelke usmerjamo med posameznimi obdelovalnimi postajami z namenskim računalniškim sistemom, ki celoten proces spremlja, nadzoruje in krmili. Tako dosežemo čim boljše izkoriščenost proizvodnih zmogljivosti, povečamo zanesljivost in kakovost ter skrajšamo dobavne roke.

Univerzalne fleksibilnosti ne moremo zagotoviti z nobenim sistemom, saj vselej obstajajo določene omejitve, ki jih moramo upoštevati pri snovanju proizvodnje takšnega tipa. Na načrtovanje fleksibilnega sistema vplivajo dejavniki kot so: velikost serije, dimenzije in raznolikost kosov oz. izdelkov ter sami postopki izdelave.

Ni nujno, da je vsak avtomatiziran proces fleksibilen niti ni nujno, da je vsak fleksibilen proces avtomatiziran. Fleksibilnost nekega sistema dosežemo, ko smo izpolnili določena merila. Zato mora imeti sistem zmožnost:

1. identificiranja in razločevanja med različnimi vhodnimi enotami,
2. hitrega spreminjanja operativnih ukazov in
3. hitrega spreminjanja fizičnih nastavitev.

Da bi ugotovili, ali je kakšen sistem res fleksibilen, moramo na podlagi omenjenih meril opraviti test. Pri tem moramo odgovoriti na naslednja vprašanja:

1. *Variabilnostni test izdelkov.* Ali sistem lahko izdeluje različne izdelke v maloserijskem načinu delovanja?
2. *Test spremembe proizvodnega plana.* Ali sistem lahko brez večjih težav spremeni proizvodni načrt, glede vrst in/ali količine izdelkov?
3. *Okrevalni test po napaki.* Ali se sistem po okvari in izpadu opreme lahko hitro obnovi, ne da bi bila pri tem celotna proizvodnja motena?

4. *Test novega kosa.* Ali je mogoče relativno enostavno vpeljati v obstoječi sistem proizvodnjo novega izdelka?

Če smo dobili za dani proizvodni sistem pritrdilne odgovore, potem je ta fleksibilen. Najpomembnejša merila sta 1. in 2., 3. in 4. kriterij sta manj bistvena saj sta uporabna le na nekaterih ravneh. Na primer: 3. merila ne moremo izpolniti, če naš sistem premore samo en obdelovalni center, saj v primeru okvare nimamo nadomestila, s katerim bi preprečili izpad, zato se bo proizvodnja ustavila. Nekateri sistemi so načrtovani za izdelovanje vnaprej znanih kosov oz. izdelkov, zato 4. merila ne upoštevamo, ko ugotavljamo fleksibilnosti itd.

2.2 TIPI FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMOV

Razlikujemo različne tipe fleksibilnih proizvodnih sistemov (FPS), kar je odvisno od našega vidika opazovanja. Delimo jih po vrstah operacij, ki jih izvajajo: te so obdelovalne ali sestavljalne. Največkrat se v uporabljajo fleksibilni sistemi za obdelovalne proizvodne procese, manj pogosto sestavljalni, najredkeje pa oboje skupaj. Ostali dve delitvi fleksibilnih proizvodnih sistemov upoštevata še število strojev in raven fleksibilnosti.

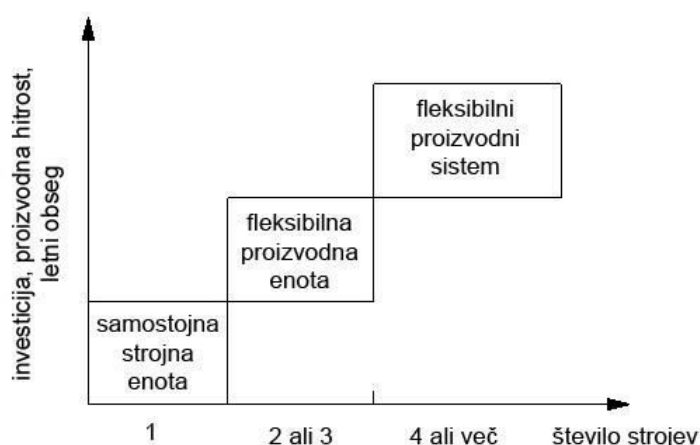
2.2.1 Število strojev

Za to kategorijo delitve so značilni trije tipi:

1. samostojna strojna enota (1 CNC-obdelovalni center),
2. fleksibilna proizvodna enota (2 do 3 CNC-obdelovalni centri) in
3. fleksibilni proizvodni sistem (4 ali več CNC-obdelovalnih centrov).

FPS-ji z večjim številom CNC-obdelovalnih centrov navadno vključujejo v sistem tudi neobdelovalne delovne postaje za podporo proizvodnje (pranje izdelkov in/ali palet, kontrolne meritve ...), zato imajo tudi bolj izpopolnjen računalniški krmilni sistem.

Raznolikost nekaterih karakteristik med tremi navedenimi tipi fleksibilnosti je prikazana na sliki 1, preglednica 1 pa kaže primerjavo izpolnjevanja kriterijev za izvedbo testa fleksibilnosti med omenjenimi sistemi.



Slika 1: Nekatere značilnosti fleksibilnih sistemov glede na število strojev (Groover M. P., 2007)

2.2.2 Raven fleksibilnosti

Ne glede na število delovnih postaj v sistemu je mogoče razlikovati med dvema ravnema fleksibilnosti:

1. namenski fleksibilni proizvodni sistem in
2. naključni fleksibilni proizvodni sistem.

Preglednica 1: Merila za izvedbo testa fleksibilnosti proizvodnih sistemov glede na število strojev (povzeto po Groover M. P., 2007)

Merila za izvedbo testa fleksibilnosti				
Tip sistema	1. Raznolikost izdelkov	2. Spreminjanje p. plana	3. Obnova po napaki	4. Nov izdelek
Samostojna proizvodna enota	Da, vendar je obdelovanje lahko le zaporedno in ne tudi hkratno.	da	Zaradi enega samega stroja je obnova sistema omejena.	da
Fleksibilna proizvodna enota (FPE)	Da, hkratno obdelovanje enakih kosov.	da	V primerjavi s FPS-jem je obnova omejena z manjšim številom strojev.	da
Fleksibilni proizvodni sistem (FPS)	Da, hkratno obdelovanje enakih kosov.	da	Zaradi redundance strojev je učinek njihove okvare malenkosten.	da

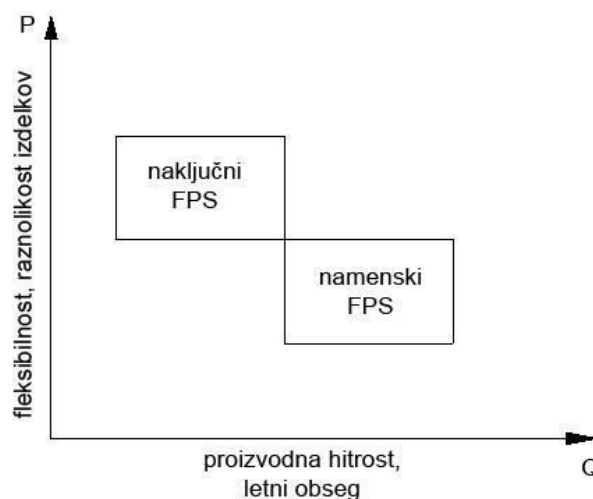
2.2.2.1 Namenski fleksibilni proizvodni sistem

Kadar je skupina izdelkov, ki naj bi jih izdelovali, znana vnaprej, potem navadno načrtujemo sistem, ki bo tej proizvodnji čim bolj prilagojen. Pri tem uporabljamo določene stopnje specializacije procesov, da bi dosegli večjo učinkovitost posameznih operacij. Zraven tudi sklepamo, da bomo imeli v proizvodnem procesu izdelke oz. skupine izdelkov

katerih osnovne značilnosti (oblika, funkcionalnost in določeni dimenzijski okvirji) pomenijo stabilnost, zaradi katere je sistem tudi postavljen. Na ta način uvajamo nekatere omejitve možnosti proizvodnje večjega števila izdelkov v smislu raznolikosti, pridobimo pa povečano proizvodno učinkovitost.

2.2.2.2 Naključni fleksibilni proizvodni sistem

Primeren je za velike skupine različnih izdelkov. Njegova značilnost je pogosto uvajanje novih izdelkov v proizvodnjo in stalno posodabljanje že uvedenih. Za sistem je značilna tudi velika odvisnost od dnevnih sprememb proizvodnih načrtov. Zaradi naštetih dejstev obstaja pri naključnem FPS-ju višja stopnja fleksibilnosti kakor pri namenskem FPS-ju. Da bo sistem v proizvodnji dobro deloval, ga je treba opremiti s splošno namenskimi stroji, ki jih lahko prilagajamo različnim izdelkom in njihovem obdelovanju v različnem (naključnem) zaporedju. Za nemoteno in najboljše delovanje moramo v ta sistem uvesti najsodobnejšo in najbolj izpopolnjeno računalniško vodenje.



Slika 2: Primerjava namenskega in naključnega tipa FPS-ja (Groover M. P., 2007)

Različnost ravni fleksibilnosti pri obeh omenjenih tipih proizvodnih sistemov grafično prikazuje slika 2, medtem ko test fleksibilnosti primerjalno prikazuje preglednica 2.

Preglednica 2: Merila za izvedbo testa fleksibilnosti pri namenskem in naključnem tipu FPS-ja (povzeto po Groover M. P., 2007)

Merila za izvedbe testa fleksibilnosti				
Tip sistema	1. Različnost izdelkov	2. Spreminjanje p. načrta	3. Obnova po napaki	4. Nov izdelek
Namenski FPS	Omejena. Vsi izdelki so vnaprej znani.	Mogoče so le manjše spremembe.	Omejena zaradi zaporednosti procesov.	Ne. Uvedba novega izdelka je težavna.
Naključni FPS	Da. Možna je precejšnja različnost izdelkov.	Možne so pogoste in večje spremembe.	Zaradi redundance strojev je učinek njihove okvare malenkosten.	Da. Sistem je zasnovan z namenom, da je mogoče uvajati nove izdelke.

2.3 KOMPONENTE FPS ZA OBDELOVALNE PROIZVODNE PROCESSE

FPS je možno sestaviti za različne vrste proizvodnih procesov, pri čimer je treba upoštevati vrsto strojev, naprav in drugo uporabljeno tehnološko opremo. Razlika med posameznimi vrstami proizvodnih sistemov je v njihovih gradnikih, ki jih ne glede na vrsto procesa delimo v štiri skupine:

1. delovne postaje,
2. sistem za transport in manipulacijo materiala,
3. računalniško krmilni sistem in
4. osebje.

2.4 OBLIKA UREDITVE FPS

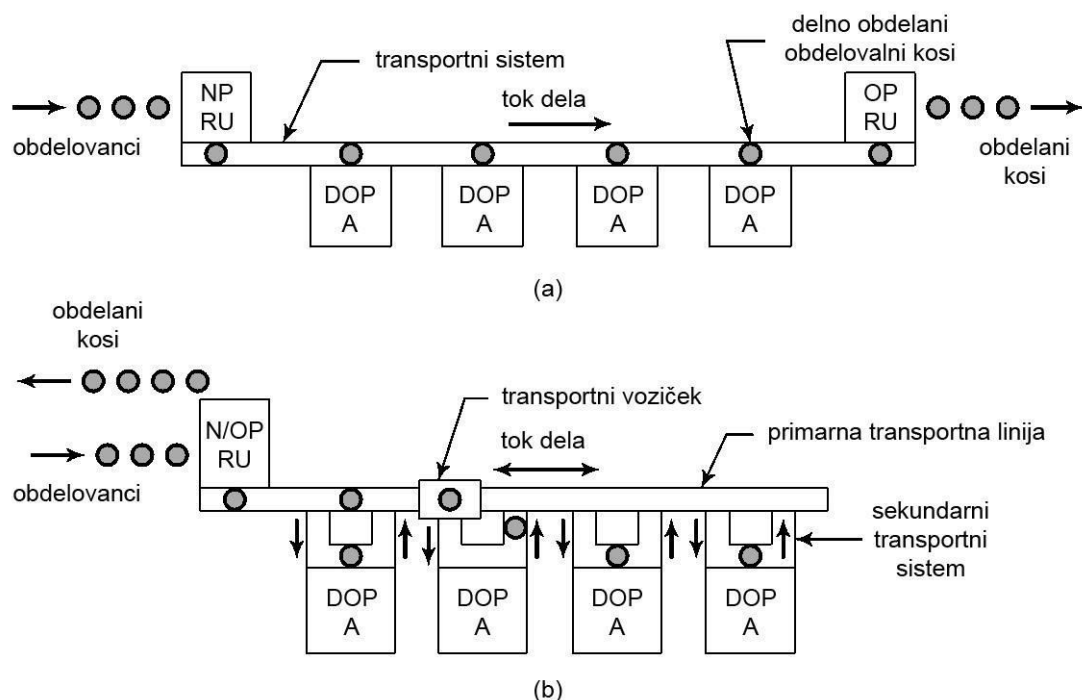
Osnovni sistem transporta in manipulacije materiala določa obliko ureditve FPS, od katere je odvisna različna sposobnost gibanja materiala v sistemu.

Najpogostejše oblike ureditve sedanjih sistemov lahko razvrstimo v pet kategorij:

1. linijska ureditev,
2. zanka ureditev,
3. lestvična ureditev,
4. odprtopoljna ureditev in
5. robotizirana ureditev.

2.4.1 Linijska ureditev

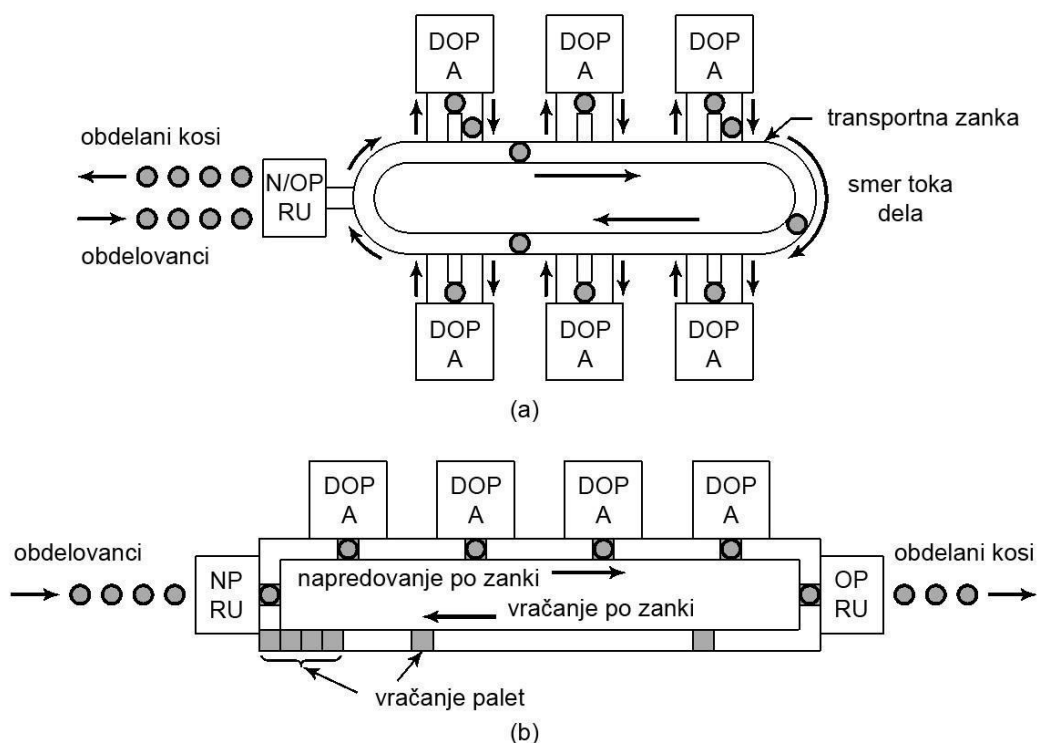
V najpreprostejši obliki te ureditve se kosi pomikajo od ene delovne postaje do druge v natančno določenem zaporedju in smeri (sl. 3a). Pretočno fleksibilnost lahko povečamo z uvedbo sekundarnega transportnega sistema, ki omogoča dvosmerni transport (sl. 3b).



Slika 3: Linijska ureditev FPS; (a) enosmerni tok dela, (b) linearnemu transportnemu sistemu je ob vsaki postaji dodan sekundarni transportni sistem, ki omogoča dvosmerni tok dela. Legenda: NP = nalagalna postaja, OP = odlagalna postaja, N/OP = nalagalno/odlagalna postaja, DOP = delovna obdelovalna postaja, RU = ročno upravljana postaja, A = avtomatizirana postaja (Groover M. P., 2007).

2.4.2 Zančna ureditev

Delovne postaje so razporejene okoli zančnega transportnega sistema, ki je povezan s sistemom za manipulacijo. Kosi navadno tečejo enosmereno okoli zanke. Pri tem obstaja možnost, da se tok kadarkoli ustavi in preusmeri na katerokoli drugo postajo (sl. 4a), ne da bi nastajali zastoji. Za to skrbi sekundarni transportni sistem ob vsaki postaji. Na enem koncu zanke je navadno nalagalno/odlagalna postaja. Alternativa zanki je pravokotna ureditev (sl. 4b), ki je lahko uporabna pri vračanju palet na začetni položaj, na drugi strani pa so linijsko postavljene delovne postaje.



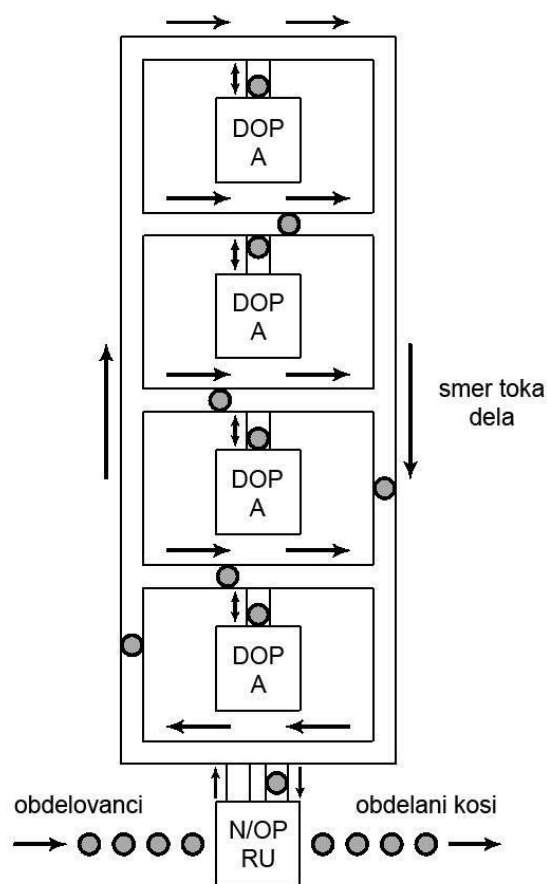
Slika 4: (a) Zankasta ureditev FPS s sekundarnim transportnim sistemom ob vsaki postaji za nemoten tok obdelovancev v zanki in (b) pravokotna ureditev za vračanje palet na prvo delovno obdelovalno postajo v zaporedju. Legenda: N/OP = nalagalno/odlagalna postaja, DOP = delovna obdelovalna postaja, KP = kontrolna postaja, NP = nalagalna postaja, OP = odlagalna postaja, RU = ročno upravljana postaja, A = avtomatizirana postaja (Groover M. P., 2007).

2.4.3 Lestvična ureditev

Zanka ima prečnika med ravnima deloma, kar spominja na lestev (sl. 5). Z vsakim prečnikom je preko sekundarnega transportnega sistema povezana delovna postaja. Prečniki omogočajo večjo izbiro smeri poti obdelovancev med postajami. Ta ureditev omogoča tudi zmanjševanje povprečne potovalne dolžine in zmanjšuje gnečo pri sistemih za manipulacijo, zato so transportni časi med postajami krajši.

2.4.4 Odprtopoljna ureditev

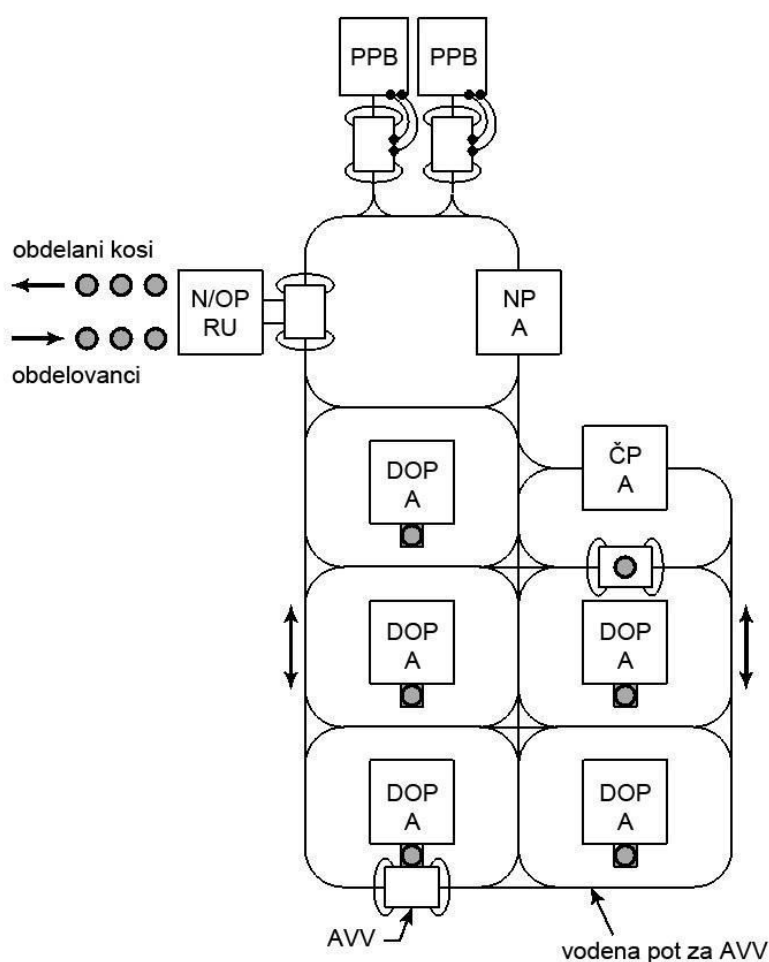
Sestavlja jo več zank in lestev, ki jih lahko tudi stransko dodajamo (sl. 6), kar je primerno uporabiti pri obdelovanju velikih skupin različnih kosov. Lahko imamo malo različnih tipov strojev, obdelovalni kosi pa se usmerjajo k različnim delovnim postajam, odvisno od tega, katera je prva na razpolago.



Slika 5: Lestvična ureditev FPS. Legenda: N/OP = nalagalno/odlagalna postaja, DOP = delovna obdelovalna postaja, RU = ročno upravljana postaja, A = avtomatizirana postaja (Groover M. P., 2007).

2.4.5 Robotizirana ureditev

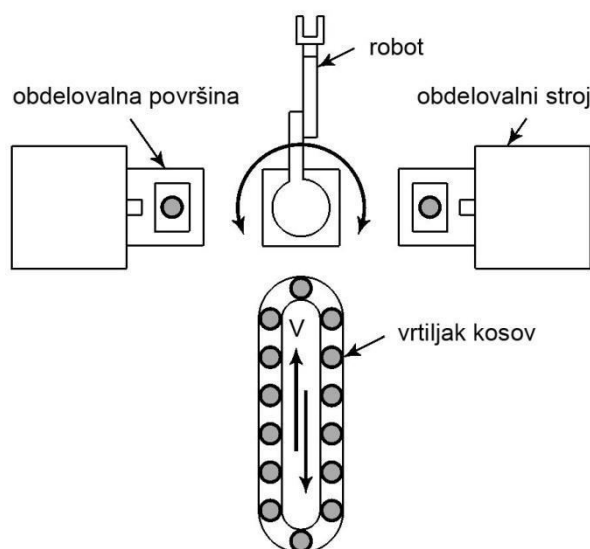
Sistem za transport in manipulacijo materiala sestavlja en ali več robotov (sl. 7), ki je (so) opremljen(i) s posebnim(i) prijemalom oz. prijemali za držanje obdelovalnih kosov med transportom. Pogosto se uporabljajo pri proizvodnji kosov valjastih ali diskastih oblik.



Slika 6: Odprtopoljna ureditev FPS. Legenda: N/OP = nalagalno/odlagalna postaja, DOP = delovna obdelovalna postaja, NP = nadzorna postaja, ČP = čistilna postaja, AVV = avtomatsko vodeno vozilo, PPB = polnilna postaja za baterije AVV, RU = ročno upravljana postaja, A = avtomatizirana postaja (Groover M. P., 2007).

2.5 RAČUNALNIŠKO KRMILNI SISTEM

FPS ima porazdeljen računalniški sistem, ki omogoča komunikacijo z delovnimi postajami, sistemom za transport materiala in drugimi strojnimi komponentami. Dejavnosti posamezne komponente koordinira centralni računalnik, kar zagotavlja nemoteno delovanje celotnega sistema.



Slika 7: Robotizirana ureditev FPS. Avtomatizirana obdelovalna enota z dvema obdelovalnima strojema in robotom (Groover M. P., 2007).

2.6 OSEBJE

Delovci opravljajo v FPS naslednje funkcije:

1. nalagajo obdelovance v sistem,
2. odlagajo obdelane kose iz sistema,
3. menjavajo in nastavljajo orodja,
4. vzdržujejo in popravljajo opremo,
5. izdelujejo NC-programe,
6. programirajo in upravljajo računalniški sistem in
7. upravljajo FPS.

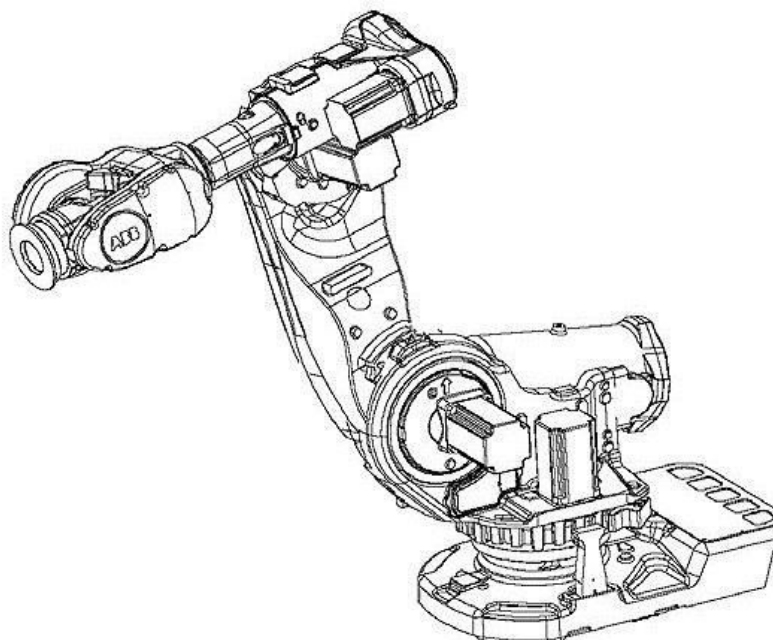
3 ROBOTIZIRANA MEHANSKA OBDELAVA

3.1 MEHANSKO OBDELOVALNI INDUSTRIJSKI ROBOT

Kadar na manipulator industrijskega robota (sl. 8) namestimo ustrezno orodje za mehansko obdelavo, potem je to mehansko obdelovalni industrijski robot. Njegova funkcija je odzemanje materiala obdelovancu, ki v procesu spreminja obliko, dokler ne dobi končne podobe, ki je maksimalen približek zasnovanega modela CAD 2D ali 3D.

3.1.1 Možnost uporabe industrijskega robota namesto CNC-stroja

Zahtevnejše rezkanje se največkrat izvaja na CNC-obdelovalnih strojih ali centrih, ki z uveljavljeno in preizkušeno tehnologijo omogočajo proizvajalcem, da tudi s podpornimi CAM-aplikacijami izdelajo ustrezne orodne poti za mehansko odzemanje. Značilnosti končnega izdelka vplivajo na izbiro vrste stroja, pri čemer je treba upoštevati dimenzijske okvirje, vrsto in način obdelave ter natančnost. Sodobni industrijski roboti po natančnosti še niso kos najboljšim CNC-strojem. Ponovljivost (ang.: repeatability) je merilo natančnosti, ki ga večina proizvajalcev ponavadi navaja med karakteristikami kakega modela robota; v najboljšem primeru znaša nekaj stotink milimetra.



Slika 8: Primer 6-osnega industrijskega robota (ABB. Operatorski priročnik IRC5 s FlexPendant-om, 2004).

Kljub pomanjkljivi natančnosti obstajajo področja dela, kjer je mogoče CNC-stroj nadomestiti z industrijskim robotom. Takšen primer je rezkanje kompleksnih 3D-modelov za izdelavo modelirnih orodij v navtični, letalski in avtomobilski industriji, ki jih je mogoče opraviti z obdelovalnim robotom. Uporaba obdelovalnega robota je možna tudi drugod, če zahtevana natančnost ne presega robotove zmogljivosti. Pri geometriji teh izdelkov ne bomo s prostim očesom opazili nekaj stotink ali morada desetink milimetra odmika od končne mere. Kose večjih dimenzij lahko enostavno obdelujemo, če robotu dodamo dodatno(e) zunanjo(e) os(i) in se tako izognemo uporabi precej dražjih velikih CNC-strojev. Robota bi lahko uporabili tudi pri rezkanju trdih kovin, vendar samo pri pripravi kosov z grobim rezkanjem, ki jih nato dokončno obdelajo z natančnejšim CNC-strojem.

3.1.2 Prednosti mehansko obdelovalnega robota pred CNC-strojem

Nekatere pozitivne značilnosti industrijskega robota:

1. precej nižji stroški inštalacije kot pri CNC-stroju s podobno delovno površino,
2. pri podobni delovni površini zavzamejo manj tovarniške površine,
3. navadno imajo več prostostnih stopenj,
4. so bolj fleksibilni,
5. če sistem ni avtomatiziran, imajo večjo pretočnost in
6. nižje vzdrževalne stroške.

3.1.3 Slabosti mehansko obdelovalnega robota pred CNC-strojem

Nekatere negativne lastnosti industrijskega robota:

1. premajhna togost,
2. ne dosegajo natančnosti, ki jo imajo CNC-obdelovalni stroji, in
3. neenoten oz. nestandardiziran programski jezik, ki se razlikuje po proizvajalcih, v nasprotju z G-kodami (gibalni ukazi) in M-kodami (funkcije), ki so standardiziran programski jezik vseh delujočih obdelovalnih CNC-strojev.

3.1.4 Pojem fleksibilnosti mehansko obdelovalnega robota

Uporaba 6-osnega mehansko obdelovalnega robota izboljša dostopnost orodja do obdelovanca, zato pri rezkanju zahtevnejših kosov s težko dostopnimi predeli niso potrebne dodatne fizične nastavitve zaradi prenameščanja obdelovanca, da bi lahko neko operacijo uspešno izvedli. S tem skrajšamo čas obdelave, kar pomeni boljši izkoristek in višjo dodano vrednost.

Integracija mehansko obdelovalnega robota v kakšen fleksibilni proizvodni sistem (poglavje 2) lahko bistveno zniža stroške njegove izgradnje. Poleg nižje cene robota je prednost tudi njegova multiaplikativnost, ki jo lahko z malce projektantske iznajdljivosti koristno izrabimo. To pomeni, da lahko en robot opravlja različne naloge. Na primer: ko robot konča mehansko obdelovalni proces na kakšnem kosu ali kosih, lahko opravi še te aktivnosti: pri izmenjevalniku odloži orodje, pobere izdelan(e) kos(e) in ga (jih) premakne v prostor za transport, prime nov(e) kos(e) in ga (jih) namesti oz. razporedi po površini svojega delovnega območja, pri izmenjevalniku spet vpne orodje ter začne mehansko obdelovanje. V tem primeru robot sam prevzame funkcijo transportnega in/ali nalagalno/odlagalnega sistema. Ta sposobnost robota omogoča načrtovalcu FPS-ja, da za izgradnjo sistema (če tehnologija to dopušča) uporabi manjše število gradnikov (manj opreme), ki bi bili sicer potrebni, če bi ga gradili izključno z uporabo CNC-obdelovalnih strojev ali centrov kot osnovnih gradnikov sistema.

3.1.5 Robotsko mehansko obdelovanje kovin

Natančnost in togost sta temeljna vidika, ki omejujeta širšo uporabo mehansko obdelovalnega industrijskega robota pri rezkanju kovin. Izredno močni elektromotorji lahko med obdelavo ustvarjajo velike vrtilne momente na glavnem vretenu, ki pomenijo za robote zaradi njihovih konstrukcijskih značilnosti velik izziv. Nastajajo nihanja, ki zmanjšujejo kakovost obdelave. Tudi natančnost oz. ponovljivost, kot ena temeljnih značilnosti robota, ki jo navajajo proizvajalci, ne dopušča večje uporabnosti industrijskega robota pri mehanskem obdelovanju, kakršno je rezkanje kovin.

Vgradnja senzorjev sile in navora v zapestja robotskih manipulatorjev omogoča robotom, da med obdelavo "začutijo" neskladnosti in napake na površinah. Ob nadzoru robotskega krmilnika je mogoče opraviti nekatere popravke pri količini odvzetega materiala, da bi ta neskladja in napake odpravili. Senzorji in krmilnik uporabniku omogočajo, da določi smer, v kateri bo robot uporabil silo.

Proizvajalci si prizadevajo, da bi povečali natančnost, moč in togost nekaterih modelov, kar bi lahko v prihodnosti ob uporabi dodatne nadzorne opreme povečalo aplikativnost in omogočilo boljšo implementacijo.

3.2 ROBOTSKI SISTEM

Koncept *robotskega sistema* vsebuje manipulator(je), krmilni modul, pogonski modul in opremo, ki jo krmili krmilnik (elektromotorji, krmilni ventili itd.), pa tudi celotno strojno in programsko opremo, ki sta potrebni za uspešno delovanje robota.

3.2.1 Manipulator

Manipulator je splošen izraz za mehanske enote, ki jih uporabljamo za premikanje objektov, orodij itd, torej tudi za robota in pozicionirnika. Generični izraz manipulator pa vsebuje koncept *robot* in *pozicionirnik*.

3.2.2 Krmilni modul

Krmilni modul vsebuje krmilno elektroniko, v katero spadajo glavni računalnik, I/O plošče, pomnilnik idr.

3.2.3 Pogonski modul

Pogonski modul vključuje močnostno elektroniko (napajalnik pogonskega sistema, pogonske enote, usmernik in podobno), ki omogoča delovanje robotskih motorjev.

3.2.4 Druga krmiljena strojna oprema

Vanjo spada dodatna strojna oprema, ki je krmiljena preko robotskega krmilnega modula, npr. prijemala, vpenjalne naprave, transportne naprave, obdelovalna in ostala aplikacijska orodja in naprave itd.

3.2.5 Programska oprema

Programska oprema omogoča (nadzorovano) delovanje robota oz. robotskega sistema. Z njo opravljamo programiranje, komuniciranje in simuliranje.

3.3 ROBOTSKI PROGRAMSKI JEZIK

Velja splošna ugotovitev, da kolikor je proizvajalcev robotov, toliko je različnih robotskih programskih jezikov. Splošno veljavnih smernic ali standardov, ki bi omogočali univerzalno rabo še ni. Zato je programski jezik, ki ga je vsak proizvajalec izdelal za njegove robote uporaben samo pri krmilnikih tega proizvajalca, pri drugih pa ne.

3.3.1 Definicija robotskega programskega jezika

Robotski programski jezik je množica ukazov, ki omogočajo sodelovanje med operaterjem in robotskim sistemom. Temelji na programskih gibih ali programskih nalogah.

3.3.2 Načini programiranja

3.3.2.1 Programiranje z učenjem

S pomočjo učne naprave (ang.: teach pendant) vodimo vrh robota od točke do točke v robotski celici in jih zaporedno shranjujemo v pomnilnik krmilnika, ki pri tem za vsako točko posebej zapisuje tudi konfiguracijo posameznih osi manipulatorja. Ta konfiguracija osi se kasneje, ob vsakokratnem izvajanju programa, vselej in v vsaki točki prehoda vrha robota ponovi. To zagotavlja, da je ista naloga (ne glede na število ponovitev), ki jo robot s pomočjo izdelanega programa izvaja, vedno opravljena enako. Preko učne naprave točke medsebojno povezujemo z ustreznimi gibalnimi ukazi, s čimer opišemo pot vrha robota. Navadno izbiramo gibalne ukaze s pomočjo učne naprave iz dane skupine ukazov, ki jim poljubno spreminjamo attribute. Dobra lastnost izbiranja ukazov je, da nam ni treba poznati sintakse, saj jo vsebuje že ukaz. Poleg tega prihranimo tudi čas, ki bi ga sicer morali porabiti za celoten zapis. Program je izdelan, ko ustrezno uredimo podatkovni del in z gibalnim ukazom povežemo še zadnjo shranjeno točko. Ko preko krmilnika vključimo program, se vrh robota giblje od prve do zadnje točke po poti, ki se imenuje traektorija.

3.3.2.2 Neposredno "offline-programiranje"

To je najtežji in časovno najdaljši način programiranja, ki zahteva izjemno dobro poznavanje programskega jezika in robotovih kinematičnih značilnosti. Takšen način programiranja je za industrijske namene skoraj neuporaben ali malenkostno uporaben (poznejše urejanje oz. vnašanje določenih popravkov v že izdelane programe), saj bi že za malce zahtevnejše opravilo programer porabil preveč časa in energije. Programiranje v tem načinu se lahko opravlja v enem izmed enostavnih urejevalnikov besedil, npr. Notepad-u. Pri tem moramo definirati podatkovni del, npr. orodja, koordinatne sisteme, vse točke itd. Definiranje točk je posebno zahtevno in zamudno opravilo, saj moramo vsaki točki določiti ime oz. oznako, pozicijo (X, Y, Z), rotacijo (Rx, Ry, Rz) vrha robota in konfiguracijo vseh osi v tej točki. Ko pripravimo podatkovni del, uredimo gibalne ukaze, ves čas pa moramo skrbno paziti na pravilnost sintakse.

3.3.2.3 "Offline-programiranje" s simulacijskim programom

To je najučinkovitejši način programiranja robotov, saj za izdelavo novih programov ni treba ustavljati proizvodnje, kar je značilnost programiranja z učenjem. Tudi poznavanje sintakse programskega jezika in kinematičnih značilnosti robota pri izdelovanju uporabniškega programa ni ujno potrebno. Za takšno programiranje si izdelamo virtualno okolje z vsemi strojnimi deli in ostalimi elementi, ki so posnetek prave robotske celice. Nato v obstoječem grafičnem okolju na sorazmerno enostavne, toda različne načine programiramo robota in nazadnje vse testiramo s simulacijo, ki potrdi, da je izdelan

program že primeren za testiranje v proizvodnji. Če s programom po simulaciji nismo zadovoljni, lahko opravimo popravke in ponovne simulacije, dokler se naša pričakovanja povsem ne izpolnijo.

3.3.2.4 CAD/CAM-programiranje

Kot smo v prejšnjih poglavjih večkrat omenili, se roboti počasi, toda zanesljivo uveljavljajo v proizvodnem segmentu, ki obsega mehansko obdelavo z rezkanjem. Zato so nekateri proizvajalci CAD/CAM-aplikacij razvili dodatne programske module za programiranje in simulacijo, ki G-kodo, izdelano z uporabo CAD/CAM-aplikacij, prevedejo v robotski programski jezik, ki je berljiv robotskemu krmilniku. Na ta način lahko iz zelo zahtevnih 3D kontur izdelamo obsežne robotske programe, ki jih sicer ne bi mogli ali pa zelo težko s klasičnimi simulacijskimi grafičnimi vmesniki, ki so opisani v prejšnjem poglavju. Podpora obdelovanju površin z rezkalnimi orodji je bistvena, ko se odločamo za to vrsto programiranja robotov.

3.4 BISTVENE ZNAČILNOSTI INDUSTRIJSKEGA ROBOTA

Proizvajalcev industrijskih robotov je veliko, vsak ponuja modle, ki imajo različne karakteristike, zato so uporabni za različna opravila oz. področja dela.

Ko se odločamo kakšen industrijski robot, bomo izbrali in kupili, moramo biti pozorni predvsem na tri bistvene značilnosti modela:

- njegov delovni doseg (ang.: working range area),
- njegova natančnost oz. ponovljivost (ang.: position repeatability) in
- njegova nosilnost (ang.: payload, handling capacity).

Poleg naštetih bistvenih značilnosti moramo pri izbiri modela upoštevati tudi: število robotskih osi, zanesljivost, hitrost, težo, občutljivost za vplive delovnega okolja, različne možnosti fleksibilne integracije (podaljški osi zgornjega dela manipulatorja in različni zapestni moduli z izboljšanim vztrajnostnim in vrtilnim momentom). Nikakor pa ne smemo spregledati niti cene.

Ta navsezadnje tudi vpliva na nakup robota. Velja, da se cena povečuje z velikostjo, močjo in natančnostjo robotovega modela. Zato je pomembno, da znamo natančno opredeliti robotove delovne naloge in se v skladu z njimi odločimo za nakup modela, ki ima najboljši količnik med ceno in učinkovitim opravljanjem delovnih nalog.

4 UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA

Za pripravo in izvedbo naloge moramo uporabiti tudi programska orodja za načrtovanje, programiranje, simulacijo in izvedbo projektov.

Programsko opremo lahko razdelimo v dve skupini programskih orodij, ki omogočata:

- konstruiranje in 3D-modeliranje,
- programiranje in simulacijo.

4.1 KONSTRUIRANJE IN 3D-MODELIRANJE

4.1.1 "Solidworks"

"Solidworks" je zelo razširjen programski paket za računalniško konstruiranje, simulacije in inženirske analize. Vsebuje 3D-modelirnik, modul za sestavljanje in modul za izdelavo tehniške dokumentacije. Za izdelavo modelov in sestavljanjk uporabljamo parametrično vnašanje značilnosti.

S tem programom smo izdelali naslednje konstrukcijske naprave in elemente:

- vpenjalni mehanizem,
- naležno ploščo motorja,
- obdelovanec za rezkanje zgornjega pokrova violine in
- dodatni nastavek za rezkanje spodnje (vbočene) strani zgornjega pokrova violine.

Za virtualno simulacijo in programiranje smo zmodelirali še nekatera orodja, naprave oz. dodatke:

- podstavek za robota IRB 140,
- motor z gredjo za namestitev orodja,
- orodje za izvedbo glavnega rezkalnega dela in
- orodje za izvedbo končnega obreza.

Vse naprave, orodja, elementi in ostali dodatki so bili shranjeni kot posebna oblika datotečnih formatov ".iges" in ".step", ki sta namenjena grafični izmenjavi podatkov med različnimi programskimi orodji.

Načrti, risbe in ostala tehniška dokumentacija, ki jo navaja diplomska naloga, je prav tako izdelana s programom "Solidworks".

4.1.2 "Rhinoceros"

"Rhinoceros" se imenuje programska oprema, namenjena konstruiranju in 3D-modeliranju. Zanj je značilno prosto 3D-modeliranje različnih oblik. Program omogoča tudi inženirske analize, renderiranje in animacije; odlično se obnese pri 2D-risanju in načrtovanju. Ima mnogo opcij glede risanja, izbiranja in urejanja objektov, hkrati pa je relativno enostaven oz. preprost za uporabo.

Posebno koristen je pri izdelavi krivulj na podlagi uvoženega 3D-modela. Te je nato mogoče dokaj enostavno urejati za nadaljnjo uporabo.

S programom "Rhinoceros" smo pripravili vse krivulje za izdelavo obdelovalnih poti orodja v "Robotstudiu".

4.2 PROGRAMIRANJE IN SIMULACIJA

4.2.1 "Robotstudio"

"Robotstudio" je programsko orodje, namenjeno posrednemu programiranju (ang.: off-line programming) ter simulaciji robotov ABB in njihove dodatne opreme (poglavje 3.3.2.3).

Pri načrtovanju dodatnih ali novih robotskih zmogljivosti lahko pred dejansko izvedbo v grafičnem okolju "Robotstudia" ustvarimo robotsko celico, ki je virtualni odsev sistema, ki smo si ga zamislili. Nato z različnimi programskimi funkcijami izvajamo virtualne testne simulacije ter spremljamo in analiziramo dobljene rezultate. Na podlagi teh se potem odločamo o nadaljnjih fazah. Če smo bili z "videnim" zadovoljni, se lahko odločimo za nakup, sicer pa nadaljujemo s testiranjem. Vanje lahko vključujemo še druge robotske modele in opremo, ki je na voljo v bogati knjižnični zbirki programa, dokler ne pridemo do najboljšega rezultata.

Uporaba takšnih simulacijskih programov ima tele prednosti:

- znižuje investicijsko tveganje,
- omogoča hitrejši začetek delovanja novega sistema,
- skrajšuje čas preoblikovanja oz. posodobitve obstoječega sistema in
- povečuje produktivnost.

"Robotstudio" je grajen okoli ABB-jevega virtualnega krmilnika, ki je natančna kopija resničnega. To omogoča realističen vpogled v okolje in delovanje realnega sistema.

4.2.1.1 Potek dela s programom "Robotstudio"

Za izdelavo kakega končnega uporabniškega programa moramo izvesti zaporedje naslednjih faz:

1. Vzpostavitev virtualne robotske celice

S funkcijo "System Builder" definiramo temeljni robotski sistem (izberemo ustrezen model oz. modele robotov in ostale dodatne opreme, vklopimo določene možnosti, kakršna je npr. "MultiMove"). Nato po potrebi uvozimo drugo dodatno opremo in/ali orodja, ki so del knjižnične zbirke. Uvozimo lahko tudi dodatne CAD-modele, ki niso del programske knjižnice, vendar so bili za izboljšanje kakovosti programiranja in simulacije skonstruirani oz. zmodelirani s CAD-programi. Pri tem nam pomagajo datoteke za grafično izmenjavo podatkov (npr. ".iges", ".step"), ki jih lahko v "Robotstudiu" shranimo kot knjižnične datoteke vrste ".rslib". Primeri dodatnih CAD-modelov so navedeni v poglavju 5. Pretvorba je posebno smiselna, kadar na podlagi uvoženega CAD-modela ustvarimo orodje, za katerega moramo definirati nekatere parametre, ki jih nato kot datoteko ".rslib" shranimo z grafičnimi podatki.

2. Koordinatni sistemi

TCP (ang.: tool centre point) ali vrh robota je koordinatni sistem orodja; določi se, ko orodje kreiramo. Orodje ima lahko več TCP-jev.

"Workobject" je koordinatni sistem obdelovanca oz. objekta dela. Vse izdelane točke so shranjene v "workobject". Če gre za večrobotski sistem z opsijsko funkcijo "MultiMove", kjer eden od robotov opravlja nalogo pozicionirnika, potem moramo ta koordinatni sistem izdelati za vsak delovni robot in ga pripeti na pozicionirni robot. Na ta način vse izdelane točke ob premiku pozicionirnega robota ohranijo svoje relativne pozicije, saj se gibljejo skladno s koordinatnim sistemom, ki je pripet na pozicionirnega robota.

3. Kreiranje točk in izdelava poti

Na voljo imamo več možnosti, med katerimi se lahko odločamo o načinu izdelave točk in poti. Če kreiramo točke z ukazom "TeachTarget", potem je konfiguracija robotov v teh točkah določena, v drugih primerih pa moramo konfiguracijo določiti pozneje. En način konfiguriranja omogoča, da vrh robota (TCP) vodimo od točke do točke na način, ki nam ustreza, in pri tem v vsaki točki izbrano konfiguracijo potrdimo. Drug način je avtokonfiguracija. Za izbrano pot pošljemo z ukazom "AutoConfiguration" robota, da se med potjo pomika od točke do točke in za vsako avtomatsko nastavi konfiguracijo. Pomembno je, kako robota približamo začetni točki izbrane poti, saj robot vedno izbere za

točko konfiguracijo, ki je najbližja njegovi trenutni. Grafična simbola sta različna za konfigurirane in nekonfigurirane točke, zato ni pri njihovem razlikovanju nobenih težav.

Pot določimo tako, da točke primemo in jih povlečemo v izbrano pot, odvisno od izbirne opcije ("moveL"; linearni gib oz. "moveC"; krožni gib); te se preko gibalnih ukazov povezujejo in tako sestavljajo pot. Vrstni red dodajanja točk je zelo pomemben, saj ta določa način gibanja robota po poti od začetne do končne točke. Konfiguracijo robota lahko izvedemo tudi na tej stopnji, saj za izdelavo poti ni potrebno, da imajo točke predhodno predpisane konfiguracije. "Robotstudio" ima na voljo tudi opcijo "Path from Curve", ki na podlagi obstoječe krivulje izdelava pot z vsemi točkami in gibalnimi ukazi vred. Pri tej opciji je potrebno za izbrane krivulje nastaviti nekatere parametre, ki določajo pravila, po katerih bodo poti izdelane. Nato konfiguracijo izvedemo po enem izmed opisanih načinov.

Z dodatno funkcijo "MultiMove" izdelujemo poti s konfiguriranimi točkami in gibalnimi ukazi, za več udeležencev v procesu. Tako izdelane poti so namenjene usklajenemu sinhroniziranemu načinu delovanja vseh robotov in ostalih naprav. Ta funkcija nam ponuja številne opcije, ki jih obvezno ali neobvezno nastavljamo, vse z namenom, da dobimo najboljše končne rezultate.

4. Sinhronizacija virtualnemu krmilniku

S sinhronizacijo virtualnemu krmilniku izdelamo programski jezik RAPID, ki ga program pripravi na podlagi grafičnih podatkov virtualne celice. Preden vključimo simulacijo moramo s sinhronizacijo virtualnemu krmilniku izdelati program RAPID, po katerem bo virtualni krmilnik izvajal simulacijo.

5. Simulacija

S simulacijo v virtualnem okolju lahko preverimo kakovost izdelan(ih)ega program(ov)a. Če je bil test uspešen in analiza rezultatov ustreza našim pričakovanjem, potem je (so) takšn(i) program(i) pripravljen(i) za testiranje v pravi robotski celici. Če ne, moramo v grafičnem okolju opraviti ustrezne korekcije in spet izvesti sinhronizacijo, da bodo popravki v programu upoštevani. Po ponovljeni simulaciji ovrednotimo uspešnost. To ponavljamo toliko časa, dokler ne dobimo zaželenega rezultata.

Končni test programa vselej poteka v pravi robotski celici, ki je najbolj zanesljiv kazalec ustreznosti oz. sprejemljivosti programa za vpeljavo v proizvodni proces.

4.2.2 "Mastercam" in "Robotmaster"

4.2.2.1 "Mastercam"

"Mastercam" je programsko orodje CAD/CAM za 2D-načrtovanje, 3D-modeliranje in CAM-programiranje CNC-strojev.

V "Mastercamu" najprej s klasično metodo CNC-programiranja izdelamo vse poti, ki so potrebne za izdelavo končnega modela, bodisi za grobo bodisi za fino rezkanje. Najpomembnejše stopnje, ki jih moramo opraviti so:

- nastavitev koordinatnega sistema,
- definiranje obdelovalnega orodja,
- izbor operacij za izdelavo poti orodja in
- nastavitev obdelovalnih parametrov za izbrano operacijo.

Nekateri najbolj pomembni parametri, ki jih nastavljamo za doseg optimalnih obdelovalnih poti, so:

- določitev vrtilne hitrosti (ang.: spindle speed),
- določitev hitrosti pomika (ang.: feed rate),
- razmik sosednjih poti orodja (ang.: stepover),
- globina odvzemanja materiala (pomembno pri grobih operacijah),
- določitev toleranc (grobo, fino rezkanje),
- določitev varne ravnine (ang.: clearance plane) za neobdelovalne gibe,
- določitev vstopa v material (ang.: engage),
- določitev izstopa iz materiala (ang.: retract), idr.

4.2.2.2 "Robotmaster"

"Robotmaster" je opsijski modul za "offline"-programiranje industrijskih robotov. Omogoča programiranje robotov vseh večjih svetovnih proizvajalcev: ABB, Fanuc, Kuka, Yaskawa, Staubli in drugih.

V grafično okolje vstavimo izbrani model robota in ustrezno opremo, kakršne so: dodatna zunanja os, krmilnik, motor vretena, obdelovalno orodje, ograja in oprema, ki jo razporedimo tako, da ustvarimo virtualno robotsko celico.

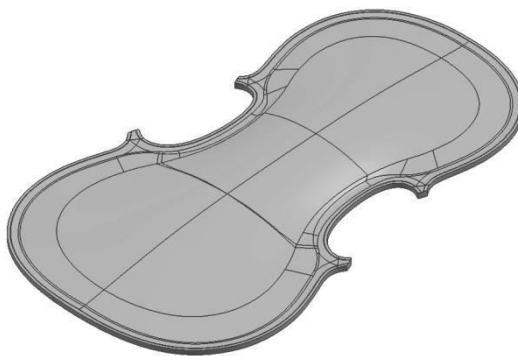
Nato moramo za robotski krmilnik definirati koordinatno izhodišče obdelovanca ter določiti pozicijo in dolžino orodja. Določimo tudi začetno (še pred obdelavo) in končno (po obdelavi) pozicijo robota.

Potem začnemo simulirati. Preden izdelamo ustrezen robotski program, lahko nastavimo različne parametre, npr.: nadzor gibanja osi robota (ang.: axis control) in nadzor hitrosti simulacije (ang.: simulation speed control). Lahko spremljamo tudi konfiguracijo robotskih osi v delu trajektorije, ki jo trenutno simuliramo. V razdelku "Progress bar" lahko z drsnikom pomikamo simulator med posameznimi operacijami, ki so barvno ločene. Pogled pa nastavljamo v razdelku "View control bar". Ko pripravimo vse potrebne nastavitve, začnemo simulirati, kar naredimo v razdelku "Simulation control bar". Po končani simulaciji vključimo z gumbom "G1" postprocesor, ki nam izdela robotski program.

5 KONKRETNI PRIMER: ZGORNJI POKROV VIOLINE

5.1 IZ ZGODOVINE VIOLINE

Violina velja za enega najpomembnejših glasbil v zgodovini glasbe. Zgornji pokrov je del trupa violine, ki je poleg glave in vratu eden izmed treh glavnih sestavin. Zanimivo je, da so mere in oblika violine ostale od njenega nastanka do danes skoraj nespremenjene. Najstarejši ohranjeni primer iz leta 1564 je naredil goslar Andrea Amati, zato ga glasbeni zgodovinarji in poznavalci imajo za izumitelja današnje oblike violine. Razcvet izdelovanja violin je dosegel vrhunec z njegovima naslednikoma Stradivarijem in Guarnerijem, katerih postopek izdelovanja violin z izjemnim zvokom je še zavil v tančico skrivnosti.



Slika 9: Računalniški 3D-model zgornjega pokrova violine.

5.2 DVOROBOTSKA CELICA

5.2.1 Namen in cilj dvorobotske celice

Namen konkretnega primera je prikazati usklajeno in sinhronizirano gibanje obdelovalnega in pozicionirnega robota, da bi izdelali zgornji pokrov violine.

5.2.2 "MultiMove"

Če pri izvajanju naloge sodelujeta vsaj dva robota, ki sta (so) krmiljena(i) preko istega krmilnega modula, potem govorimo o večrobotskem sistemu z enim krmilnim modulom. Če je gibanje robotov pri tem popolnoma usklajeno in sinhronizirano, pa to značilnost proizvajalec robotov ABB poimenuje s pojmom "MultiMove".

5.2.2.1 Namen funkcije "MultiMove"

Namen funkcije "MultiMove" je z enim krmilnikom upravljati več robotov. Ta način omogoča izpopolnjeno usklajeno delovanje robotov in drugih mehanskih enot sistema.

Nekaj možnih načinov uporabe "MultiMove":

- pri enem delovnem objektu lahko delo opravlja nekaj robotov,
- en robot premika objekt dela, medtem pa drugi opravljajo delo pri objektu,
- sodelovanje več robotov pri dvigovanju težkega bremena.

5.2.2.2 Krmilni modul s funkcijo "MultiMove"

Funkcija "MultiMove" je vstavljena v programsko opremo IRC5 krmilnikov. Omogoča hkratno sodelovanje do štirih robotov s pozicionirniki in drugimi napravami, pri čemer obstaja možnost popolnoma usklajenega delovanja.

Za vsak robot potrebujemo en pogonski modul, na katerega lahko priključimo do devet servo osi (6 robotskih in 3 dodatne zunanje), kar pomeni, da lahko en krmilni modul računa poti za največ 36 servo osi.

S funkcijo "MultiMove" lahko opravljamo naloge, ki vsebujejo:

- neodvisne gibe,
- delno usklajene gibe in
- usklajene sinhronizirane gibe.

5.2.2.3 Programiranje "MultiMove"

Ključ do uspešne in relativno enostavne implementacije funkcije "MultiMove" je v tem, da ima vsak robot in dodatna naprava v celici svoj program. Od vrste naloge je odvisna usklajenost delovanja robotov in drugih naprav, ki lahko poteka, kot smo omenili, popolnoma neodvisno, delno odvisno ali pa se izvaja popolnoma usklajeno sinhronizirano delovanje.

Usklajenost delovanja oz. stopnjo koordinacije določajo posebni ukazi, podatkovni tipi, sistemski podatki ter funkcije in argumenti.

Programiranju robotov je namenjen robotski programski jezik "RAPID", ki je natančneje opisan v prilogi E pod naslovom "Struktura in vsebinski deli RAPID aplikacije".

5.2.2.3.1 Neodvisno gibanje

Če programi in njihovi roboti za opravljanje različnih nalog delujejo neodvisno drug od drugega, potem za njihovo uspešno izvedbo sinhronizacija in usklajevanje nista potrebni.

V tem primeru programe izdelamo tako, kot običajno programiramo enorobotski sistem.

5.2.2.3.2 Delno usklajeno gibanje

Pri istem objektu dela lahko hkrati deluje več robotov, katerih gibi niso usklajeni in sinhronizirani, dokler objekt dela miruje. Ko pozicionirnik premakne objekt dela, roboti mirujejo; ko pa se pozicionirnik ustavi, spet delujejo. Preklapljanje med mirujočim in premikajočim pozicionirnikom ter koordinacija robotov se imenuje delno usklajeno (koordinirano) gibanje.

5.2.2.3.3 Usklajeno (koordinirano) sinhronizirano gibanje

Več robotov lahko hkrati deluje pri istem premikajočem se objektu dela. Pozicionirnik (lahko je tudi robot) z objektom dela in pri objektu delujoči roboti, morajo imeti med delovanjem usklajene in sinhronizirane gibe. Gibalni ukazi v posameznih programih mehanskih enot se morajo izvajati hkrati. To dosežemo z uporabo posebno namenskih instrukcij, postavljenih na začetek in konec vsake skupine gibalnih ukazov. Vsak gibalni ukaz mora vsebovati poseben identifikacijski argument, preko katerega zagotavljamo sinhronizacijo gibov med mehanskimi enotami. Poleg tega moramo imeti enako število gibalnih ukazov za vse mehanske enote, ki so krmiljene kot koordinirano sinhronizirano gibanje.

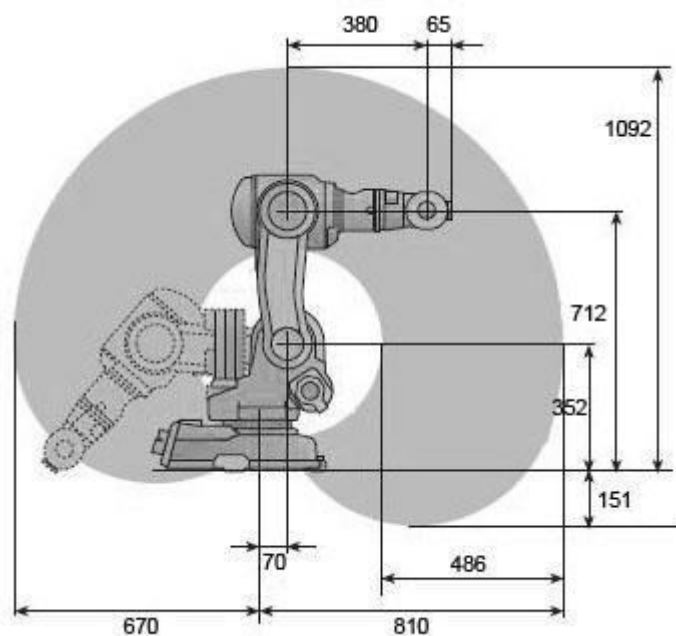
Vse opisane načine gibanja lahko tudi medsebojno kombiniramo. Tako lahko en robot deluje neodvisno, medtem pa ostali trije delujejo po principu koordiniranega sinhroniziranega gibanja. Možne so tudi drugačne kombinacije.

5.2.3 Sistem dvorobotske celice

- robot IRB 140 Type B (verzija 140T),
- robot IRB 1600 (verzija 1600 – 7 / 1.45),
- kontrolni modul IRC5,
- učna naprava "Flex Pendant" in
- 2x pogonski modul.

5.2.4 Robot IRB 140 Type B (verzija 140T)

DELOVNI DOSEG (ang.: working range area):



Slika 10: Grafični prikaz delovnega območja robota IRB 140 (ABB Data sheet, IRB 140)

NATANČNOST OZ. PONOVLJIVOST (ang.: position repeatability): **0,03 mm**
 NOSILNOST (ang.: payload, handling capacity): **5 kg**

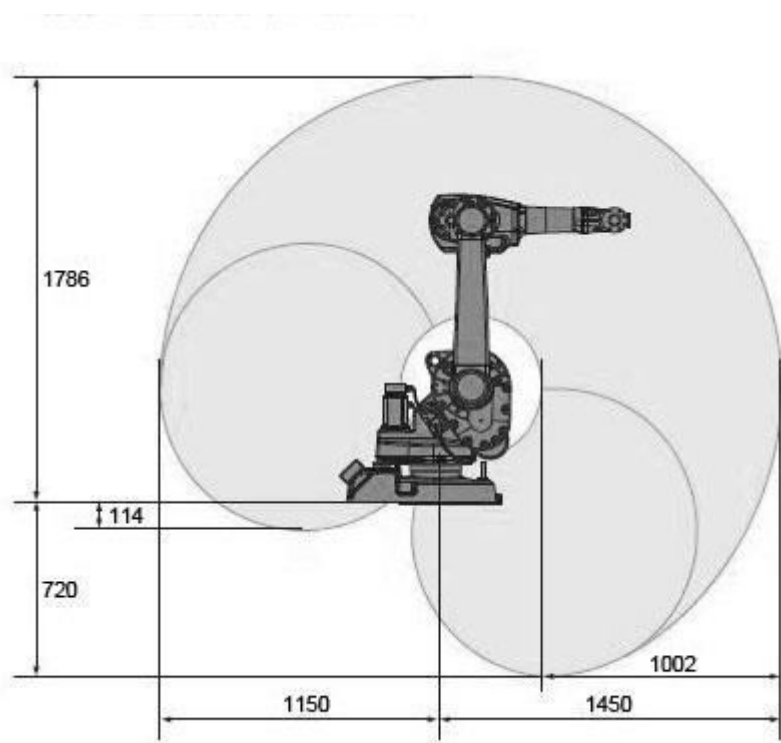


Slika 11: Robot IRB 140 (ABB Data sheet, IRB 140).

ŠTEVILO OSI (ang.: number of axes): **6**
 TEŽA (ang.: weight): **98 kg.**

5.2.5 Robot IRB 1600 – 7 / 1.45

DELOVNI DOSEG (ang.: working range area):



Slika 12: Grafični prikaz delovnega območja robota IRB 1600 / 1.45 (ABB Data sheet, IRB 1600)

NATANČNOST OZ. PONOVLJIVOST (ang.: position repeatability): **0,05 mm**
 NOSILNOST (ang.: payload, handling capacity): **7 kg**



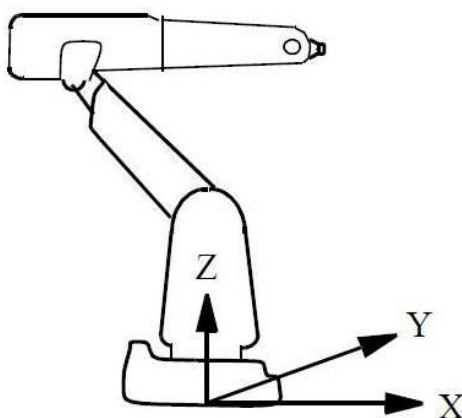
Slika 13: Robot IRB 1600 / 1.45 (ABB Data sheet, IRB 1600)

ŠTEVILO OSI (ang.: number of axes): **6**
 TEŽA (ang.: weight): **250 kg.**

5.2.6 Pojma "koordinatni sistem osnove" in "svetovni koordinatni sistem"

5.2.6.1 Koordinatni sistem osnove

Programiranje enostavnejših aplikacij lahko izvajamo v koordinatnem sistemu osnove (ang.: base coordinate system), z-os koordinatnega sistema osnove je skladna z osjo 1 na robotu (slika 14).



Slika 14: Koordinatni sistem osnove (ABB. RAPID reference manual, 3HAC 16580-1, Rev B)

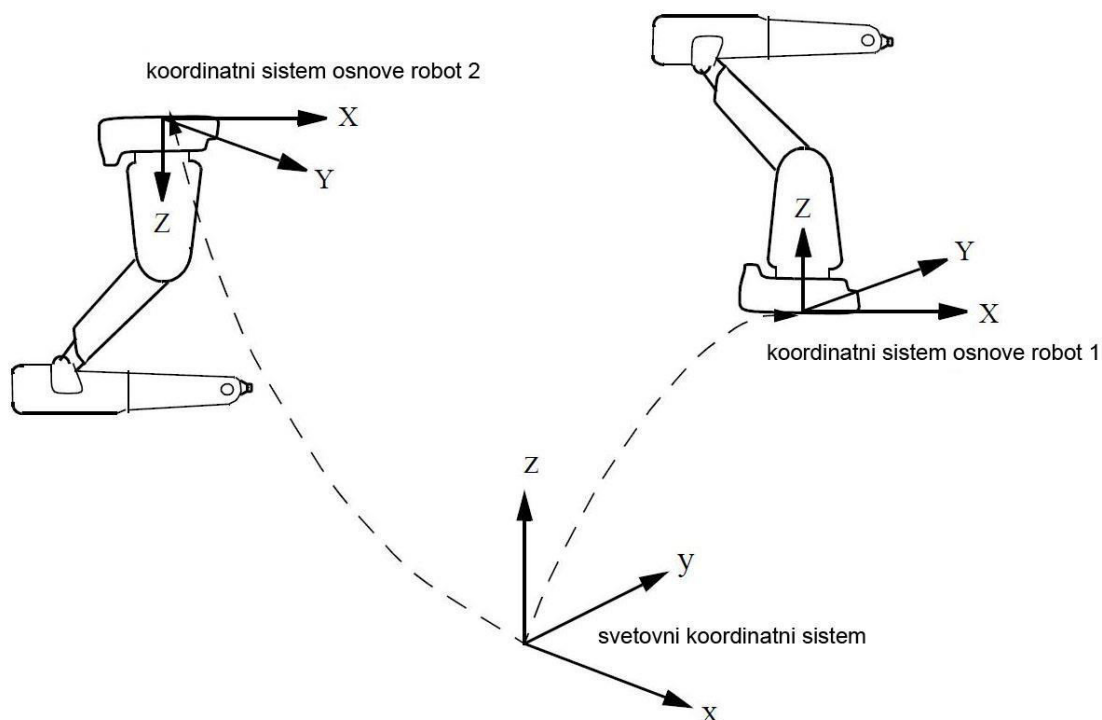
Koordinatni sistem osnove je lociran na osnovi (ang.: base) robota:

- izhodišče je na sečišču osi 1 in montažne površine osnove,
- ravnina xy je enaka montažni površini osnove,
- x-os kaže v smeri naprej,
- y-os kaže v smeri levo (gledano z robotove perspektive) in
- z-os kaže v smeri navzgor.

5.2.6.2 Svetovni koordinatni sistem

Programiranje v koordinatnem sistemu osnove je enostavno, kadar je robot talno montiran. Če pa je robot obrnjen navzdol (viseča montaža), je programiranje v koordinatnem sistemu osnove težavnejše, ker smeri osi niso enake glavnim smerem v delovnem prostoru. Če ni drugače določeno, potem bo svetovni koordinatni sistem (ang.: world coordinate system ali WCS) skladen s koordinatnim sistemom osnove.

V nekaterih primerih deluje na istem delovnem prostoru v tovarni hkrati več robotov. Takrat uporabimo pri programiranju skupni WCS, kar omogoči medsebojno komunikacijo robotskih programov. V delavnici imamo lahko več pozicionirnih mest, ki so povezana z neko skupno točko. Ta primer ponazarja slika 15.



Slika 15: Skupni svetovni koordinatni sistem (ABB. RAPID reference manual, 3HAC 16580-1, Rev B)

5.2.7 Opis dvorobotske celice

Imena robotov

Robot s tovarniško oznako IRB 140T: **"ROB_1"**

Robot s tovarniško oznako IRB 1600 – 7 / 1.45: **"ROB_2"**

Svetovni koordinatni sistem (WCS)

WCS celice oz. krmilnika je skladen s koordinatnim sistemom osnove robota "ROB_1". Razlika je le v tem, da ima robot "ROB_1" svoje izhodišče na ravnini zgornje površine podstavka, na katerem stoji, medtem ko ima WCS svoje izhodišče na ravnini tal.

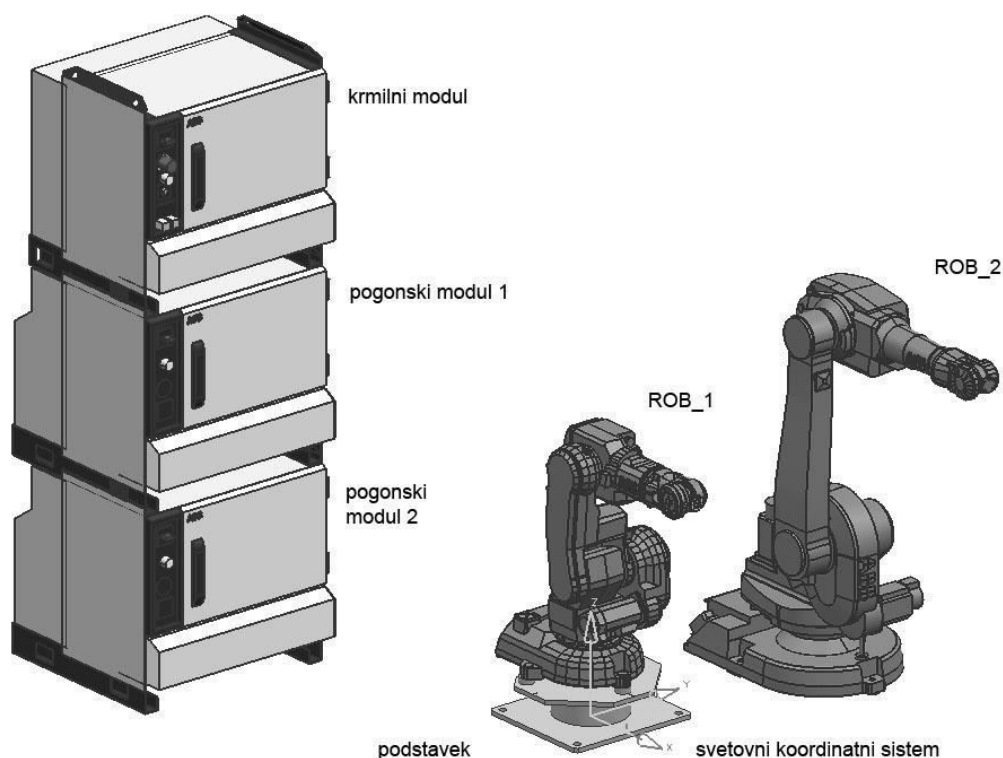
Koordinatni sistem osnove robota "ROB_1"

Položaj izhodišča je relativen glede na svetovni koordinatni sistem:

$X = 0 \text{ m}$

$Y = 0 \text{ m}$

$Z = 0,1528 \text{ m}$



Slika 16: Robotska celica (ABB. IRC5 CAD Models.; ABB. IRB 140 CAD Models.; ABB. IRB 1600 CAD Models)

Koordinatni sistem osnove robota "ROB_2"

Položaj izhodišča je relativen glede na svetovni koordinatni sistem:

$$X = 0,136133 \text{ m}$$

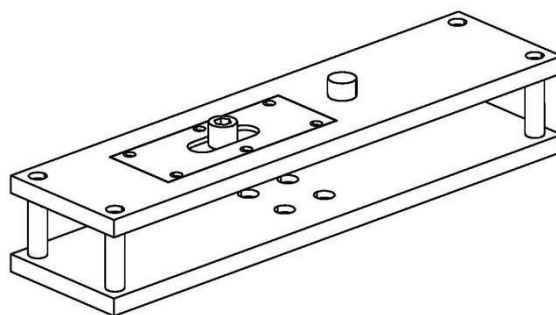
$$Y = 0,795509 \text{ m}$$

$$Z = 0 \text{ m}$$

5.2.8 Naprave in oprema robotov

5.2.8.1 Vpenjalni mehanizem

Mehanizem sestavljata zgornja in spodnja naležna plošča, ki ju povezujejo štirje distančniki. Zgornja naležna plošča ima utor za drsni element, na katerega je pritrjen čep, ki se pomika v mejah, določenih z utorom. Nasproti, v osi pomika, je fiksno pritrjen še en čep. Čepa na spodnji strani povezuje gumijast obroček, ki povzroča tlačno obremenitev v njuni medosni razdalji. Spodnja naležna plošča ima izvrtine za pritrditev celotnega mehanizma na prirobnico manipulatorja. Namestimo ga na robota ROB_1.

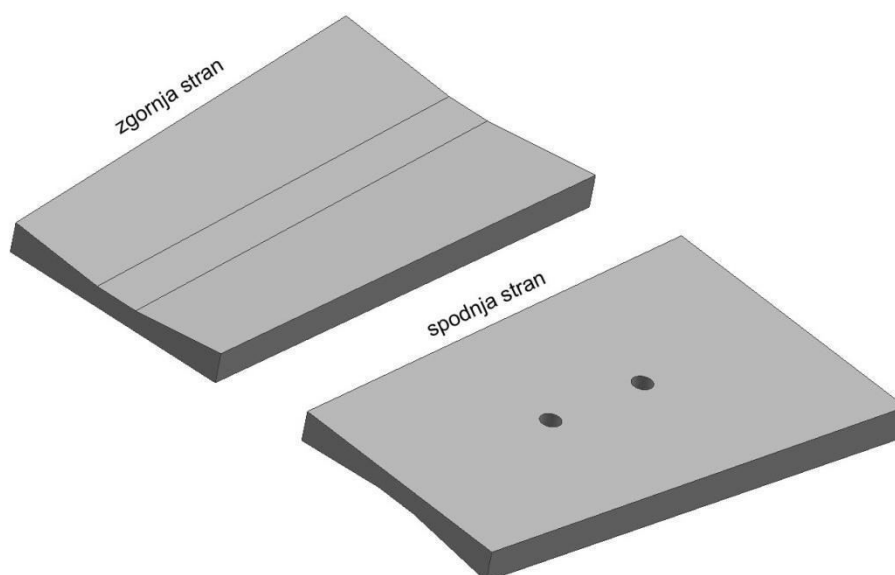


Slika 17: Računalniški 3D-model vpenjalnega mehanizma

V prilogah B, C in D so delavniške risbe, izometrični pogled in sestavni načrt vpenjalnega mehanizma.

5.2.8.2 Nastavek za rezkanje druge strani

Po končani prvi fazi obdelave, to je rezkanju izbočenega dela zgornjega pokrova violine, namestimo delno obdelani kos obdelovanca za rezkanje druge (vbočene) strani pokrova. To naredimo s pomočjo prilagojenega nastavka, preko katerega je obdelovanec nameščen na vpenjalni mehanizem. Spodnja naležna površina nastavka je enaka spodnji obdelovančevi in rabi za namestitev nastavka na vpenjalni mehanizem, medtem ko zgornja površina nastavka odseva negativ podobo zgornje površine obdelovanca le, da nima pregibnega robu. Tako sorazmerno enostavno in relativno natančno namestimo obdelovanca za rezkanje vbočenega dela zgornjega pokrova violine.

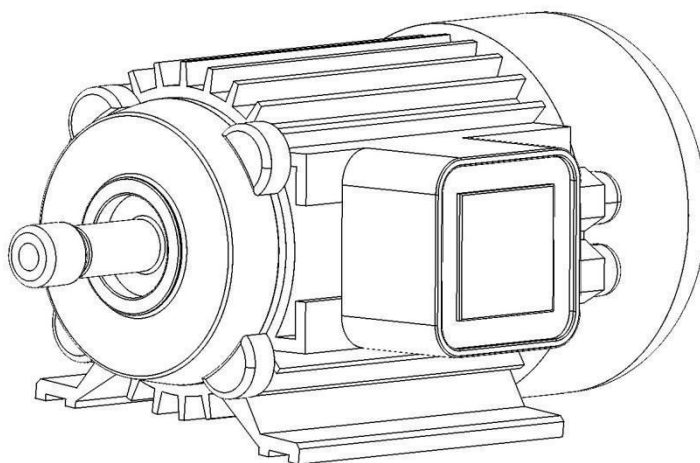


Slika 18: Računalniški 3D-model nastavka

5.2.8.3 Motor vretena

Nekaj temeljnih podatkov:

PROIZVAJALEC:	Isel automation
OZNAKA:	MAH 2.05-S
NAZIVNA MOČ:	500 W



Slika 19: Računalniški 3D-model motorja vretena

VRTILNA HITROST:	300..24000 min⁻¹
NAZIVNI VRTILNI MOMENT:	0,26 Nm

Vmesna plošča, za pritrditev motorja na prirobnico robota, je prikazana kot delavniška risba v prilogi A.

5.2.8.4 Frekvenčni pretvornik

Nekaj temeljnih podatkov:

PROIZVAJALEC:	ABB
OZNAKA:	ACS 140



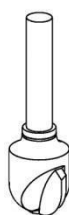
Slika 20: Frekvenčni pretvornik ACS 140

U1: **3 x 200 ... 240 V**f1: **50/60 Hz**I1: **5,3 A**U2: **3 x 0 ... U1**f2: **0 ... 300 Hz**I2: **4,3 A**

5.2.9 Orodje

5.2.9.1 Polkrožni stebelni rezkar

Orodje smo uporabili za obdelavo površin zgornjega pokrova violine. Premer stebila znaša 6 mm, premer glave z rezili 16 mm, dolžina celotnega orodja pa 50 mm.



Slika 21: Računalniški 3D-model polkrožnega stebelnega rezkarja

5.2.9.2 Stebelni rezkar

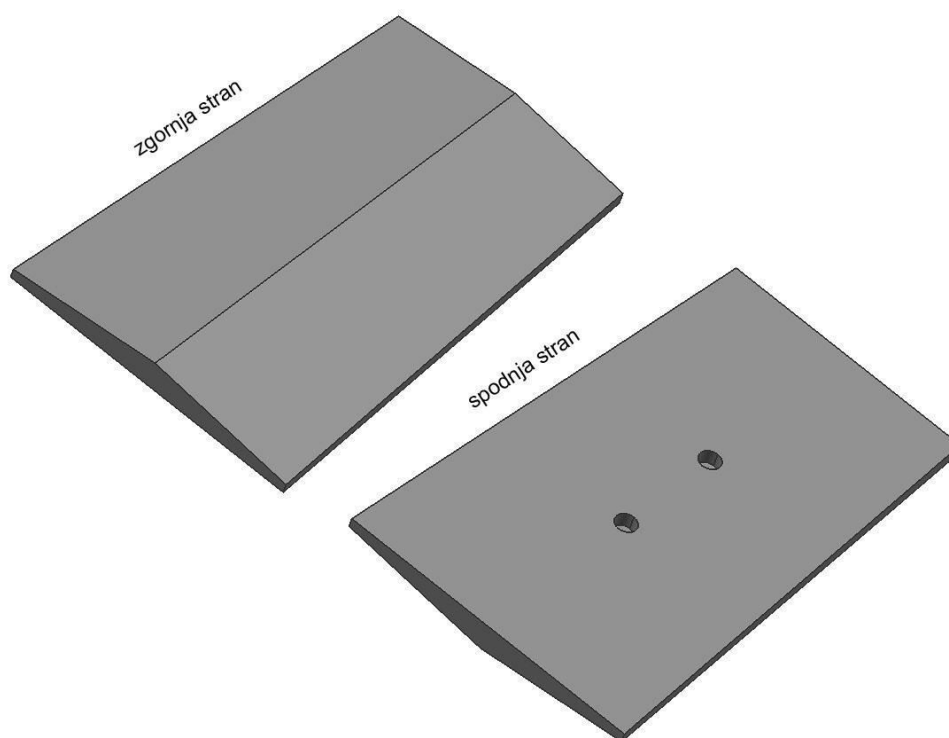
Uporabili smo ga za končni obrez, da smo pokrov ločili od preostalega obdelovanca. Orodje ima 1 rezilo, premer znaša 6 mm, dolžina 50 mm, rezalni rob pa 20 mm.



Slika 22: Stebelni rezkar

5.2.10 Obdelovanec dvorobotske celice

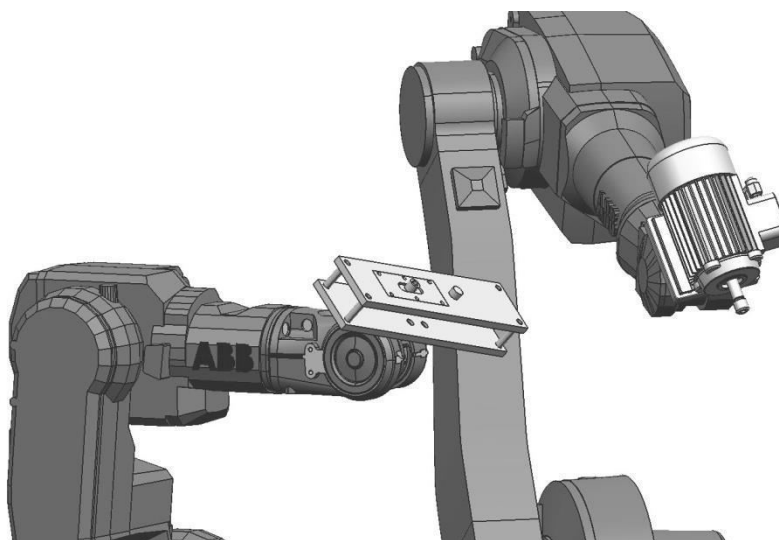
Obdelovanec je strehaste oblike in je vzdolžno sredinsko lepljen. Njegova širina znaša 185 mm na ožjem in 225 mm na širšem koncu. Razdalja med pregibnim robom strehe in njeno naležno površino je 20 mm. Na naležni površini sta sredinsko nameščeni dve pozicijski luknji s premerom 15,5 mm, globino 10,5 mm ter medosno razdaljo 85 mm. Rabita vpetju obdelovanca na vpenjalni mehanizem. Dolžina obdelovanca je 365 mm.



Slika 23: Računalniški 3D-model obdelovanca.

5.2.11 Mehanska obdelava v dvorobotski celici

Pred mehansko obdelavo moramo na oba robota namestiti ustrezno strojno opremo in pripraviti druge naprave, ki so potrebne za uspešno izvedbo naloge.



Slika 24: Na robotih nameščena strojna oprema (ABB. IRB 140 CAD Models.; ABB. IRB 1600 CAD Models)

Na zapestje robota "ROB_1" (glej poglavje 5.2.7 Opis dvorobotske celice) smo pritrdili vpenjalni mehanizem, ki rabi za vpenjanje obdelovanca in prilagojenega nastavka. Robot "ROB_2" nosi motor vretena, ki je na njegovo zapestje pritrjen preko vmesne plošče (priloga A) in rabi za pogonski agregat obdelovalnega orodja. Motor je povezan s frekvenčnim pretvornikom, ki je namenjen nastavljanju vrtilne hitrosti in smeri vrtenja vpetega orodja.

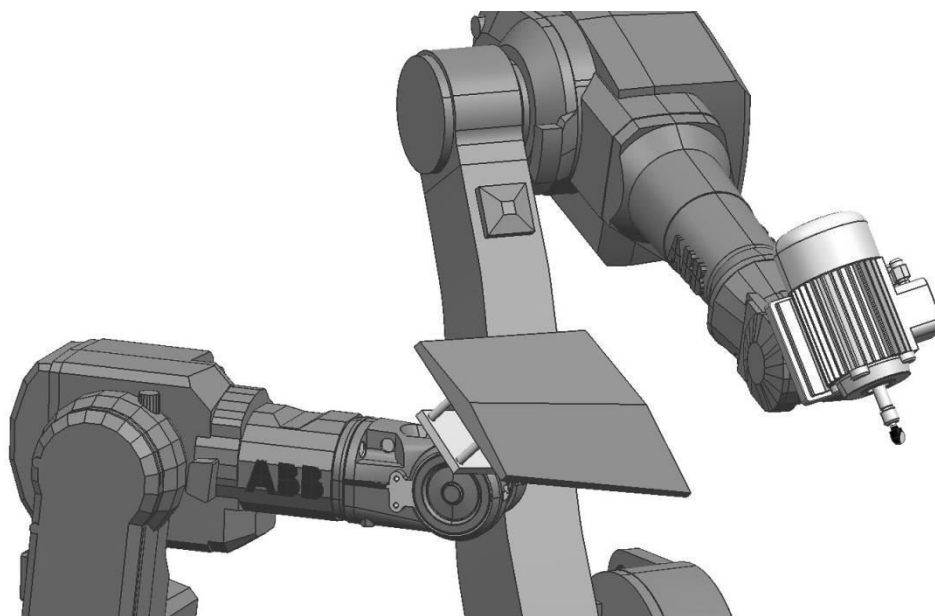
5.2.11.1 Tehnološki parametri obdelave dvorobotske celice

Vrtilna hitrost: $n = 18.000 \text{ min}^{-1}$
 Pomik: $v_f = 0,04 \text{ m/s}$
 Razmik poti: $a_e = 1 \text{ (fino); } 5 \text{ (grobo) mm}$

5.2.11.2 Rezkanje zgornje površine pokrova v dvorobotski celici

Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred rezkanjem zgornje površine pokrova:

- vpetje obdelovanca na vpenjalni mehanizem,
- vpetje orodja (polkrožni stebelni rezkar) na vreteno motorja,
- namestitev uporabniških programov za oba robota na pomnilnik krmilnika in
- sprožitev delovanja sistema.



Slika 25: Robota pred sprožitvijo sistema v delovanje za rezkanje zgornje površine pokrova (ABB. IRB 140 CAD Models.; ABB. IRB 1600 CAD Models)

5.2.11.3 Rezkanje spodnje površine pokrova v dvorobotski celici

Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred rezkanjem spodnje površine pokrova:

Faza 1:

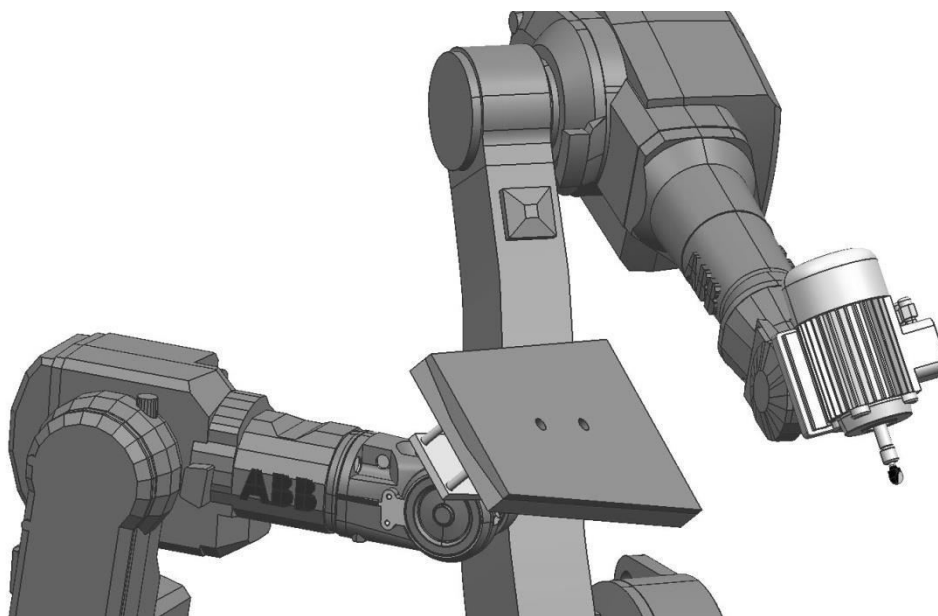
- zamenjava orodja (stebelni rezkar namesto polkrožnega),
- namestitev uporabniških programov za izdelavo pozicijskih lukenj na obdelovancu,
- sprožitev delovanja sistema,

Faza 2:

- z vpenjalnega mehanizma se sname obdelovanec in nato nanj vpne nastavek,
- namestitev uporabniških programov za izdelavo pozicijskih lukenj na nastavku,
- sprožitev delovanja sistema,

Faza 3:

- pozicioniranje in namestitev obdelovanca na nastavek,
- zamenjava orodja (polkrožni stebelni rezkar namesto stebelnega),
- namestitev uporabniških programov na pomnilnik krmilnika za rezkanje druge strani in
- sprožitev delovanja sistema.



Slika 26: Robota pred sprožitvijo sistema v delovanje za rezkanje spodnje površine pokrova (ABB. IRB 140 CAD Models.; ABB. IRB 1600 CAD Models)

5.2.11.4 Obrez zgornjega pokrova violine v dvorobotski celici

Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred obrezom zgornjega pokrova violine:

- zamenjava orodja (stebelni rezkar namesto polkrožnega),
- namestitev uporabniških programov za izvedbo operacije obreza in
- sprožitev delovanja sistema.

Po končanem obrezu varno ustavimo sistem ter z vpenjalnega mehanizma snamemo nastavek in izdelek. Vedno, kadar zaradi različnih razlogov posegamo v delovno območje sistema, ga moramo varno izklopiti in šele potem nadaljevati z dejavnostmi pri sistemu.

5.3 ENOROBOTSKA CELICA

5.3.1 Namen in cilj enorobotske celice

Prikaz prednosti uporabe klasičnih CAM-aplikacij za izdelavo konture in generiranje programske kode, berljive na robotskem krmilniku.

5.3.2 Sistem obstoječe enorobotske celice

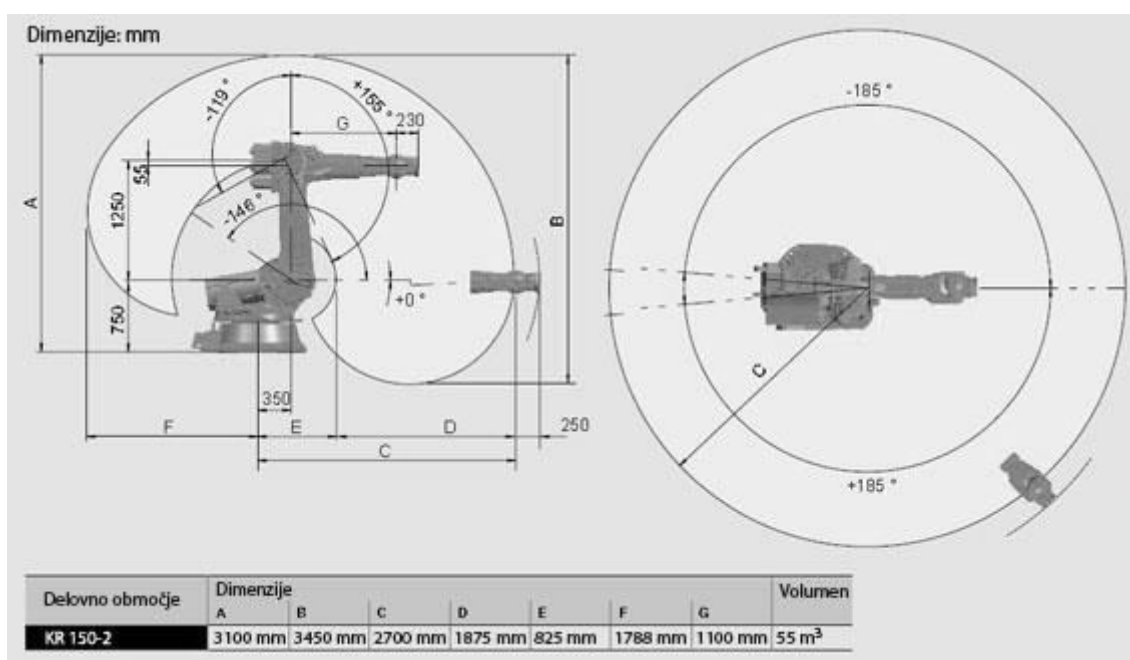
- robot KR 150-2,
- krmilnik KRC1,
- učna naprava "Teach Pendant" in
- delovna miza.



Slika 27: Enorobotska celica (KUKA Download Center)

5.3.3 Robot KR 150-2

NATANČNOST OZ. PONOVLJIVOST (ang.: position repeatability):	0,06 mm
NOSILNOST (ang.: payload, handling capacity):	150 kg
ŠTEVILO OSI (ang.: number of axes):	6
TEŽA (ang.: weight):	1245 kg.
DELOVNI DOSEG (ang.: working range area):	



Slika 28: Grafični prikaz delovnega območja robota KR 150.2 (KUKA Technical details KR 150-2)

5.3.4 Mehanska obdelava v enorobotski celici

Bistvena razlika med enorobotsko in dvorobotsko celico je v tem, da v enorobotski celici namestimo obdelovanec na površino obdelovalne mize (sl. 27), zato vpenjalni mehanizem ni potreben.

5.3.4.1 Obdelovanec enorobotske celice

Izdelan je iz dveh enakih, vzdolžno lepljenih desčic smrekovine. Dimenzije lepljenca znašajo: dolžina: 380 mm, širina: 250 mm in debelina: 20 mm.

Preostala uporabljena oprema (motor vretena, frekvenčni pretvornik, orodja in drugo) je enaka kot pri izdelavi zgornjega pokrova violine z dvorobotsko celico.

5.3.4.2 Tehnološki parametri obdelave enorobotske celice

Vrtilna hitrost: $n = 18.000 \text{ min}^{-1}$

Pomik: $v_f = 0,04 \text{ m/s}$

Razmik poti: $a_e = 0,8 \text{ (fino); max } 2,1 \text{ (grobo) mm}$

5.3.4.3 Rezkanje zgornje površine pokrova v enorobotski celici

Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred rezkanjem zgornje površine pokrova:

Faza 1:

- namestitev orodja, stebelni rezkar;
- izdelava obrisa obdelovanca na obdelovalno površino mize,

Faza 2:

- pozicioniranje in namestitev obdelovanca na obdelovalno mizo,
- grobo rezkanje z izdelavo podpor (slika 29),
- izdelava pozicionirnih lukenj na naležnih površinah podpor obdelovanca.

Faza 3:

- zamenjava orodja, polkrožni stebelni rezkar;
- fino rezkanje,

5.3.4.4 Rezkanje spodnje površine pokrova v enorobotski celici

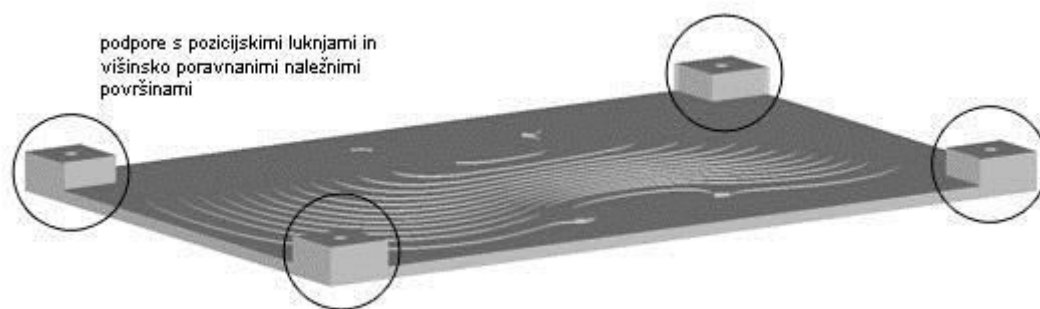
Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred rezkanjem spodnje površine pokrova:

Faza 1:

- izdelava pozicionirnih lukenj na površini obdelovalne mize,

Faza 2:

- pozicioniranje druge strani obdelovanca s pomočjo pozicionirnih lukenj,
- grobo rezkanje,



Slika 29: Videz obdelovanca pred finim rezkanjem zgornje (izbočene) površine violinskega pokrova

Faza 3

- zamenjava orodja, polkrožni stebelni rezkar in
- fino rezkanje.

5.3.4.5 Obrez zgornjega pokrova violine v dvorobotski celici

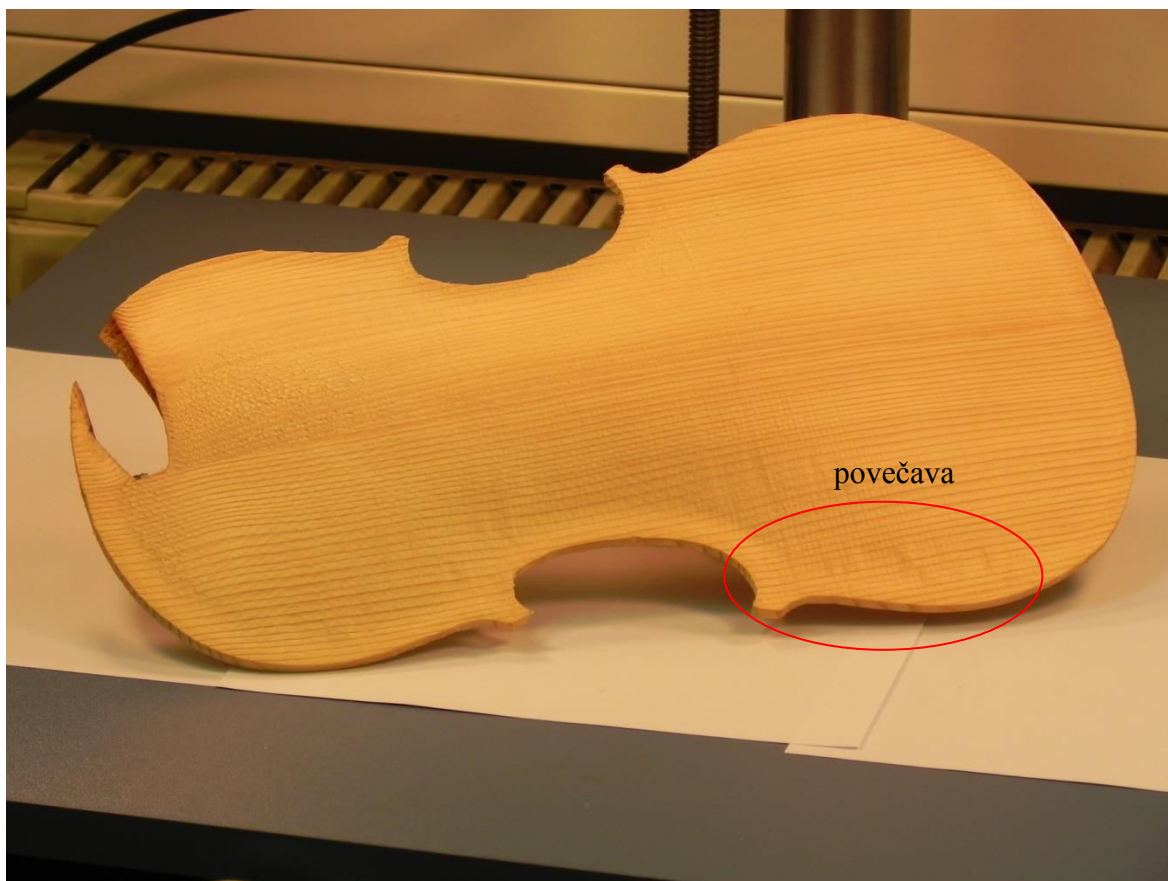
Dejavnosti, ki jih moramo opraviti pred obrezom zgornjega pokrova violine:

- zamenjava orodja, stebelni rezkar;
- sprožitev programa za obrez.

6 REZULTATI

6.1 DVOROBOTSKI SISTEM

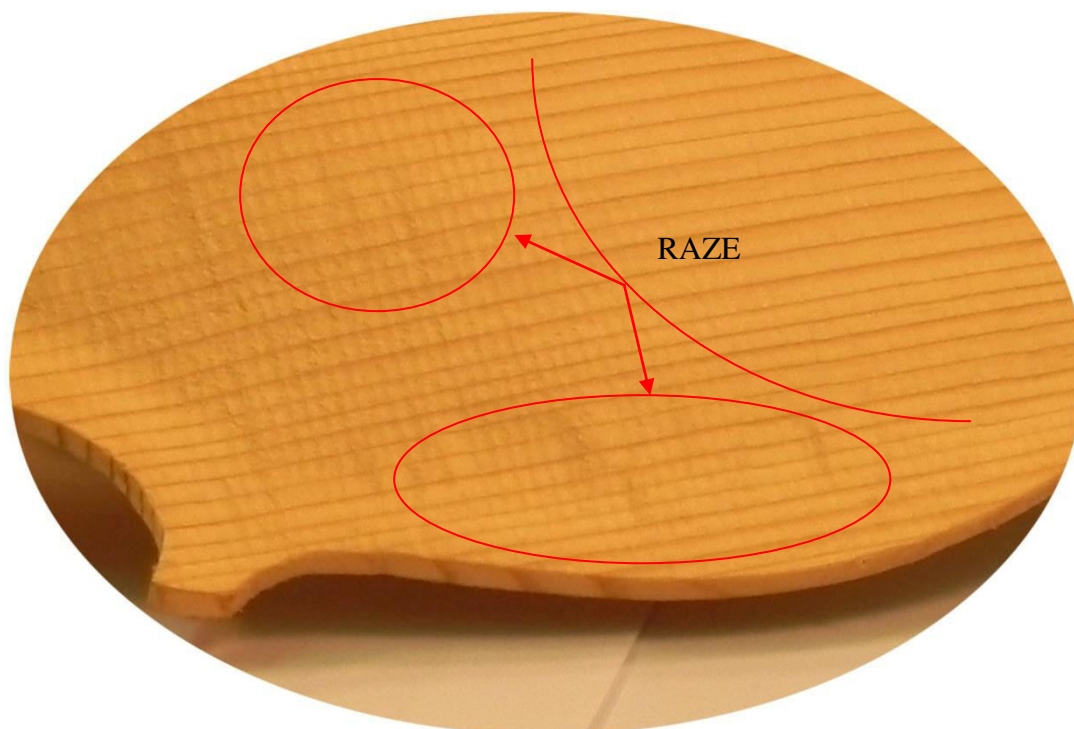
Zelo opazne so sledi (raze) zaradi nepravilnega gibanja orodja med obdelavo v dvorobotskem sistemu. Problematični sta tudi nesimetrija po vzdolžni smeri pokrova in dimenzija presečne debeline, ki je večja od pričakovane.



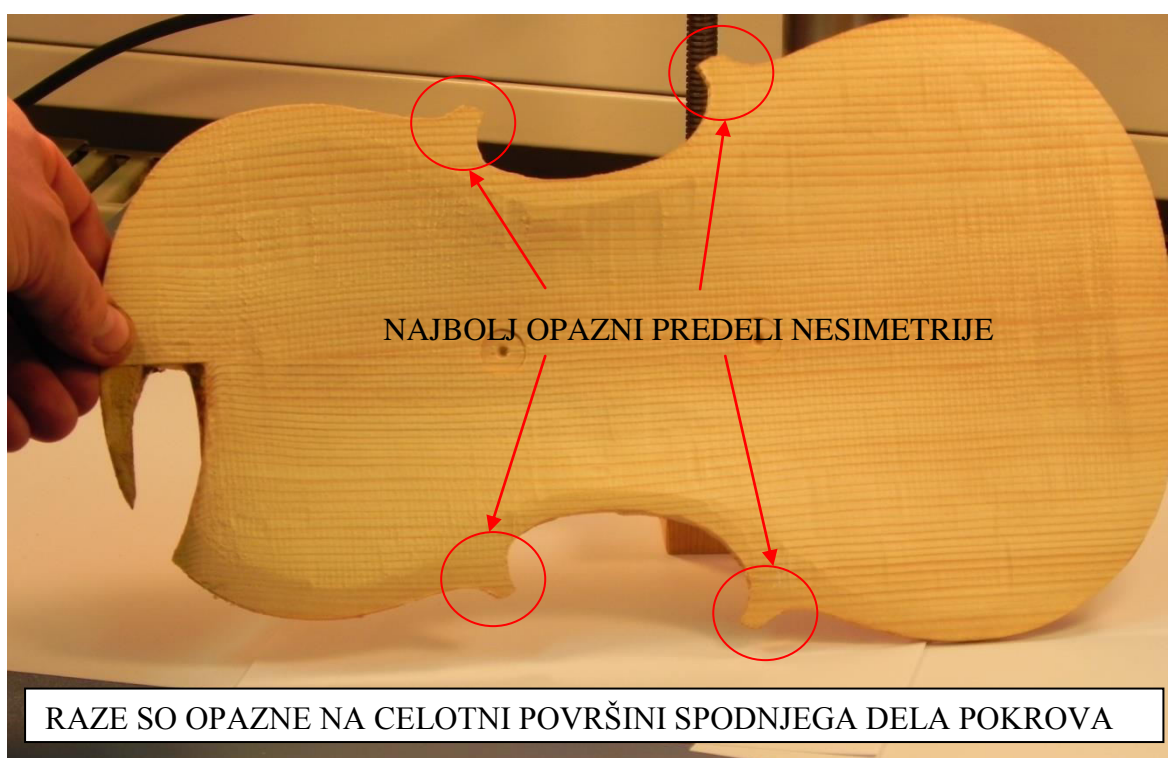
Slika 30: Zgornja (izbočena) površina violinskega pokrova iz dvorobotskega sistema.

Slika 30 prikazuje končno obdelano zgornjo površino violinskega pokrova, kjer so po celotni površini vidne raze. Ponekod so te bolj opazne, npr. na označenem delu (rdeče eliptično obkroženo področje), ki je povečano prikazano na sliki 31, drugod manj, vendar so povsod vidne s prostim očesom.

Slika 32 prikazuje spodnjo (vbočeno) površino zgornjega pokrova violine; poleg raz (v rdeče obkroženih predelih) je vidna nesimetrija leve in desne polovice pokrova, ki bi morali biti glede na geometrijske značilnosti CAD-modela popolnoma simetrični.



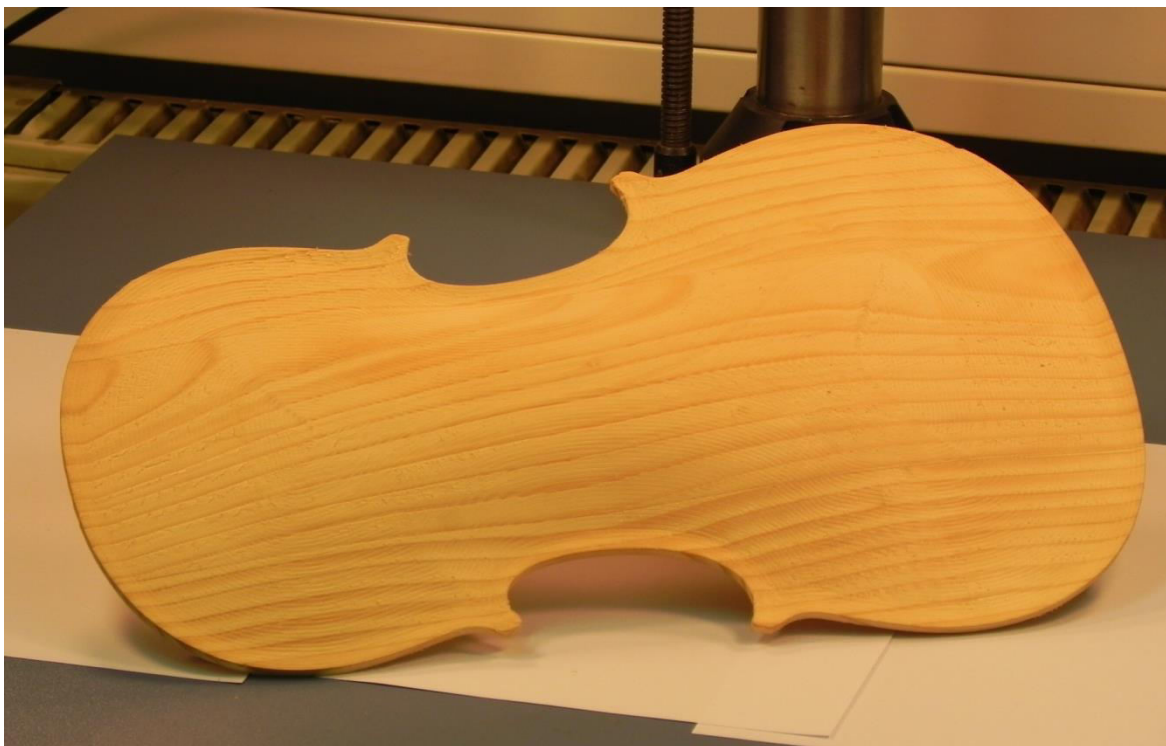
Slika 31: Povečan izrez s slike 30



Slika 32: Spodnja (vbočena) površina violinskega pokrova iz dvorobotskega sistema

6.2 ENOROBOTSKI SISTEM

Ob uporabi primernejše programske opreme, ki omogoča večji nadzor oz. nastavitve ustrežnejših pogojev za gibanje orodja po obdelovancu, je mogoče napake iz dvorobotskega sistema odpraviti, kar smo pokazali s primerom izdelave zgornjega violinskega pokrova z enorobotskim sistemom.



Slika 33: Zgornja (izbočena) površina violinskega pokrova iz enorobotskega sistema

Primerno obdelano zgornjo (izbočeno) površino violinskega pokrova prikazuje slika 33, medtem ko je na sliki 34 prikazan njen obdelan spodnji (vbočeni) del. Na slikah je lepo vidno izginotje vseh nepravilnosti (raze, nesimetrija), ki so zelo kazile kvaliteto obdelave pokrova v sistemu dveh robotov. Odpravljena je tudi nepravilna presečna debelina, kjer nismo s prostim očesom opazili nobenih napak.



Slika 34: Spodnja (vbočena) površina violinskega pokrova iz enorobotskega sistema

7 SKLEP

Dvorobotski sistem je omogočil prikaz uporabe naprednih tehnologij "MultiMove", kar sicer ni bistveno za dosego cilja, torej izdelave zgornjega pokrova violine, vendar pa omogoča vpogled v veliko uporabnost robotov, ki so lahko kos najzahtevnejšim opravilom. Največja pomanjkljivost je, da pri klasičnih CAM-programih tehnologija "MultiMove" ni uporabna, standardna programska oprema proizvajalca pa ne omogoča izdelave kontur iz površin teles. Programiranje je zato težavno in dolgotrajno. Pomanjkanje nadzora nad gibanjem orodja se kaže tudi na izdelku, saj je razlika med geometrijo CAD-modela in geometrijo končnega izdelka prevelika.

Prednost enorobotskega sistema je možnost uporabe klasičnih CAM-aplikacij, ki so bolj primerne za izdelavo kontrur iz površin teles. Možnost nastavljanja parametrov rezkanja in izbira oz. kreiranje ustreznih obdelovalnih orodij zelo poenostavijo programiranje obdelovalnih poti. Dodatne možnosti, npr. verifikacija obdelave, pa nam omogočijo vpogled na delovanje orodja med obdelavo in videz obdelovanca po koncu vsake operacije. Geometrija končnega izdelka je bila veliko bolj skladna z računalniškim CAD-modelom. Morebitne odmike bi lahko zaznali le s pomočjo izpopolnjene strojne meritve, ki v našem primeru ni bila potrebna.

Poudariti je treba, da bi z uporabo dvorobotskega sistema lahko izdelali kakovosten izdelek, če bi imeli na voljo ustrezno programsko opremo, saj sistem po vseh mehanskih parametrih to omogoča. Robota se gibljeta na osnovi gibalnih ukazov, ki jih prejmeta iz programov na pomnilniku krmilnega modula. Uporabnik mora samo izbrati pravilne tehnološke rešitve, ki sistemu omogočajo maksimalen učinek.

8 **POVZETEK**

Diplomsko delo obravnava pomen in uporabnost fleksibilnih proizvodnih sistemov. Po različnih merilih jih lahko delimo na te tipe:

- vrsta operacije, namen sistema: obdelovanje ali sestavljanje,
- obdelovalni namen: obdelovanje rotirajočih ali nerotirajočih kosov;
- število strojev v sistemu in
- raven fleksibilnosti.

Glavne komponente fleksibilnih proizvodnih sistemov so: delovne postaje, sistem za transport in manipulacijo materiala, računalniško krmilni sistem in osebje. Oblika ureditve sistemov je odvisna od postavitve transportnega sistema, zato je lahko: linijska, zanka, lestvična, odprtopoljna in robotizirana ureditev.

Lastnosti sodobnih industrijskih robotov so natančnost, računalniško podprto krmiljenje, sodobna podpora CAD/CAM, velika odpornost pred vplivi okolja, zanesljivo delovanje ter relativno nizki stroški inštalacije in vzdrževanja. Vsi ti pozitivni vidiki spodbujajo uvedbo mehanske obdelovalnega industrijskega robota v proizvodne sisteme.

Robotski sistem sestavljajo manipulator(ji), krmilni in pogonski modul(i) ter ostala krmiljena oprema. Strojna in programska oprema, ki je potrebna za brezhibno delovanje robota, je sestavni del robotskega sistema.

Krmilniki omogočajo hkratno upravljanje do 4 robotov, ki lahko v procesu delujejo po principu neodvisnega, delno usklajenega in/ali popolnoma usklajenega sinhroniziranega gibanja. V tem primeru govorimo o večrobotskem sistemu z enim krmilnim modulom.

Uporabo večrobotskega sistema smo prikazali s primerom zgornjega pokrova violine. Gibanje robotov med postopkom obdelave je usklajeno in sinhronizirano, zato smo prikazali tehnološko zmogljivost robotskih sistemov na najvišji ravni. Izdelavo smo izvedli v treh fazah, in sicer:

- rezkanje zgornje površine pokrova,
- rezkanje spodnje površine pokrova in
- obrez pokrova.

Način vpenjanja obdelovanca (vpenjalni mehanizem in nastavek) smo idejno in konstrukcijsko samostojno realizirali, preostala strojna in programska oprema je izdelek specializiranih proizvajalcev.

Enorobotski sistem smo uporabili za prikaz prednosti uporabe programske opreme CAM, v primeru, ko hočemo z robotom kvalitetno in hitro obdelati površine z mehanskim odvzemanjem materiala.

9 VIRI

1. ABB. <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-140/irb-140-data>. (Oktober, 2015)
2. ABB. <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1600/irb-1600-data>. (Oktober, 2015)
3. ABB. Operatorski priročnik IRC5 s FlexPendantom, M 2004, Document ID: 3HAC 16590-1, Revision: Rev A, Slovenski prevod: Ver 3.
4. ABB. Operator's manual, RobotStudio Online 5.06, Document ID: 3HAC 18236-1, Revision D.
5. ABB. RAPID reference manual, Document ID: 3HAC 16580-1, Revision B.
6. A-CAM d.o.o., Ljubljana. Praktični vodič skozi Mastercam / (prevedel Jure Verderber). – Ljubljana: A-CAM, 2010.
7. KUKA. http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0020_KR_150-2_en.pdf (Oktober, 2015)
8. GROOVER M. P. 2007. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in nasvete se zahvaljujem pokojnemu mentorju g. doc. dr. Bojanu Bučarju, zahvaljujem se mentorici gospe doc. dr. Dominiki Gornik Bučar, ki je po odhodu mentorja prevzela mentorstvo pri nadaljevanju diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi asistentu g. dr. Bojanu Gospodariču za tehnično in strokovno pomoč pri izvedbi praktičnega dela diplomske naloge. Posebno hvaležen sem strokovnemu sodelavcu Delovne skupine za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo, g. Dragu Vidicu, ki mi je tehnično pomagal in me spodbujal, naj delo dokončam.

Zahvaljujem se tudi podjetju ABB Slovenija, ki mi je omogočilo uporabo opreme, prostora in tehnike za izvedbo 1. dela praktične naloge.

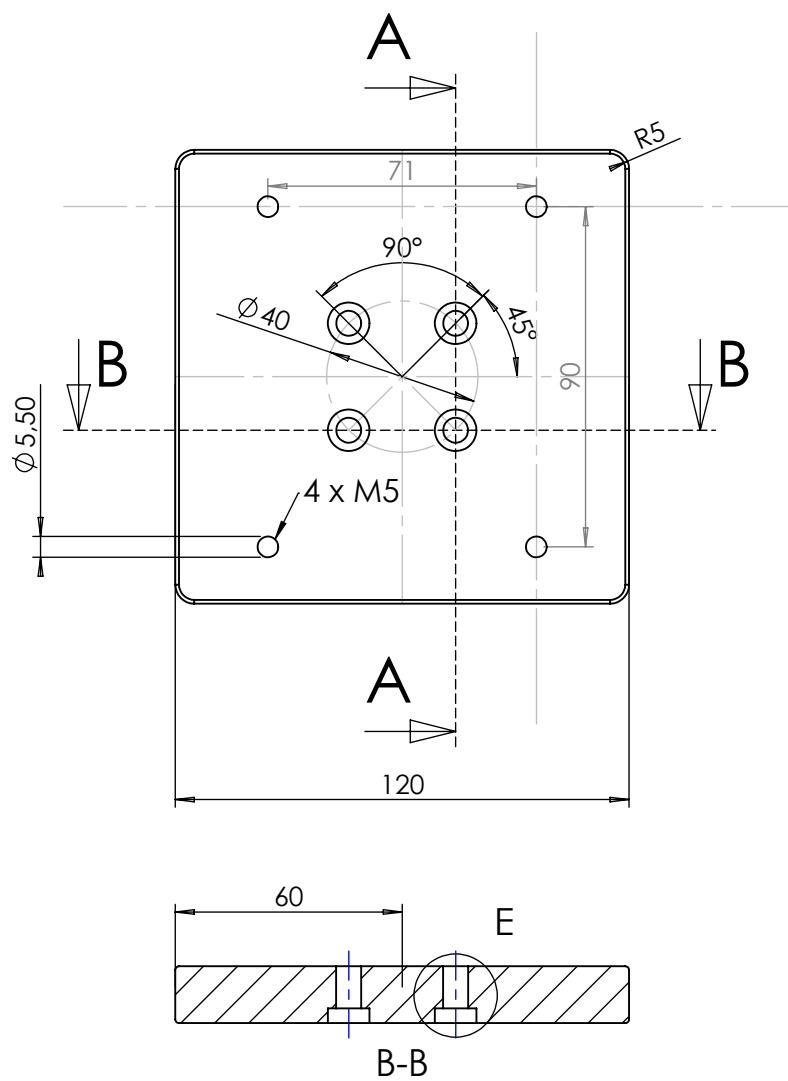
Hvala staršem in moji družini za razumevanje in potrpežljivost.

Košir I. Robotizacija mehanskega obdelovalnega postopka.

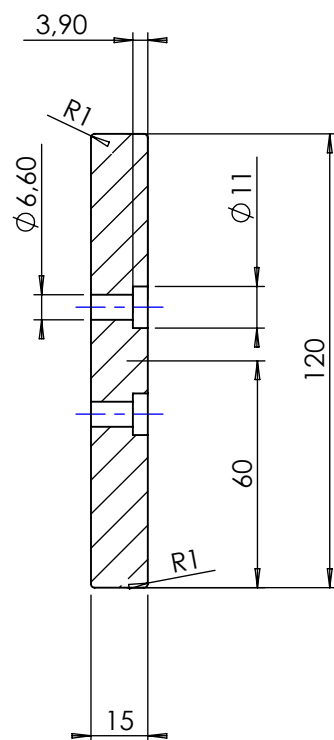
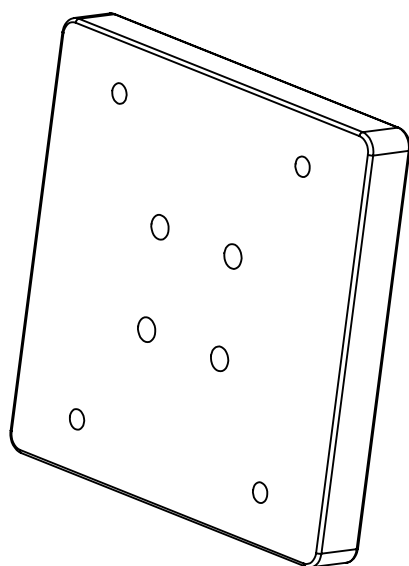
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo, 2015

PRILOGE

Priloga A: delavniška risba vmesne plošče za pritrnitev motorja na prirobnico robota

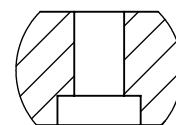


Zadnja stran



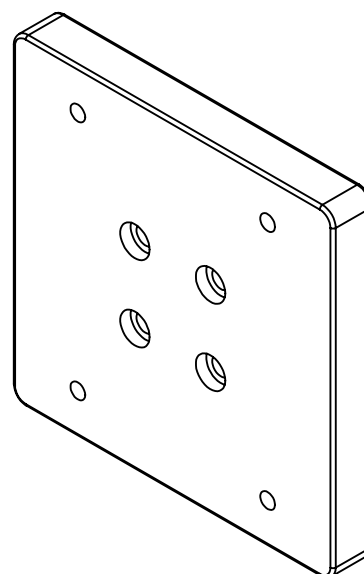
A-A

Izvrtna za M6



E (1 : 1)

Prednja stran

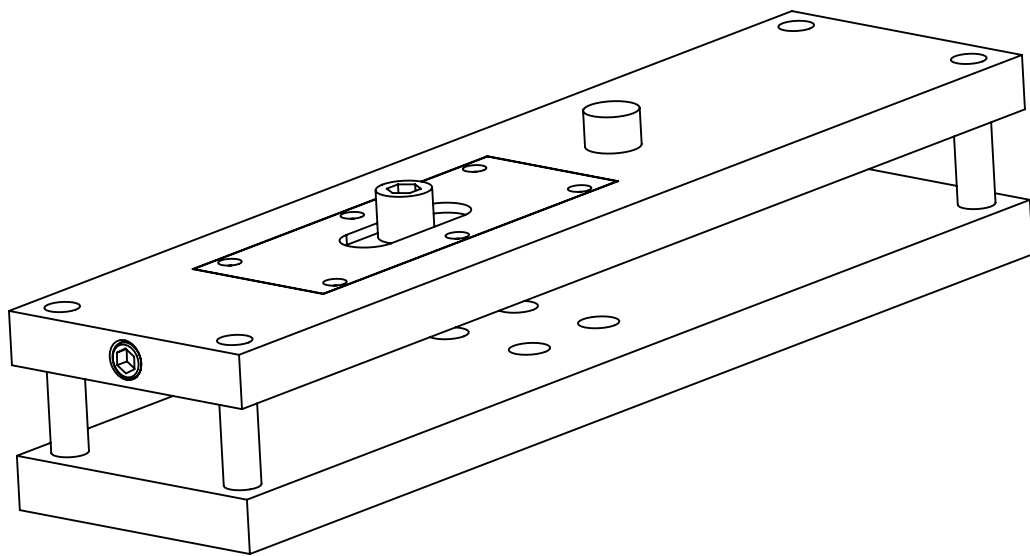


UNIVERZA V LJUBLJANI
Biotehniška fakulteta
Oddelek za lesarstvo

Datum:
Izdelal:
Pregledal:

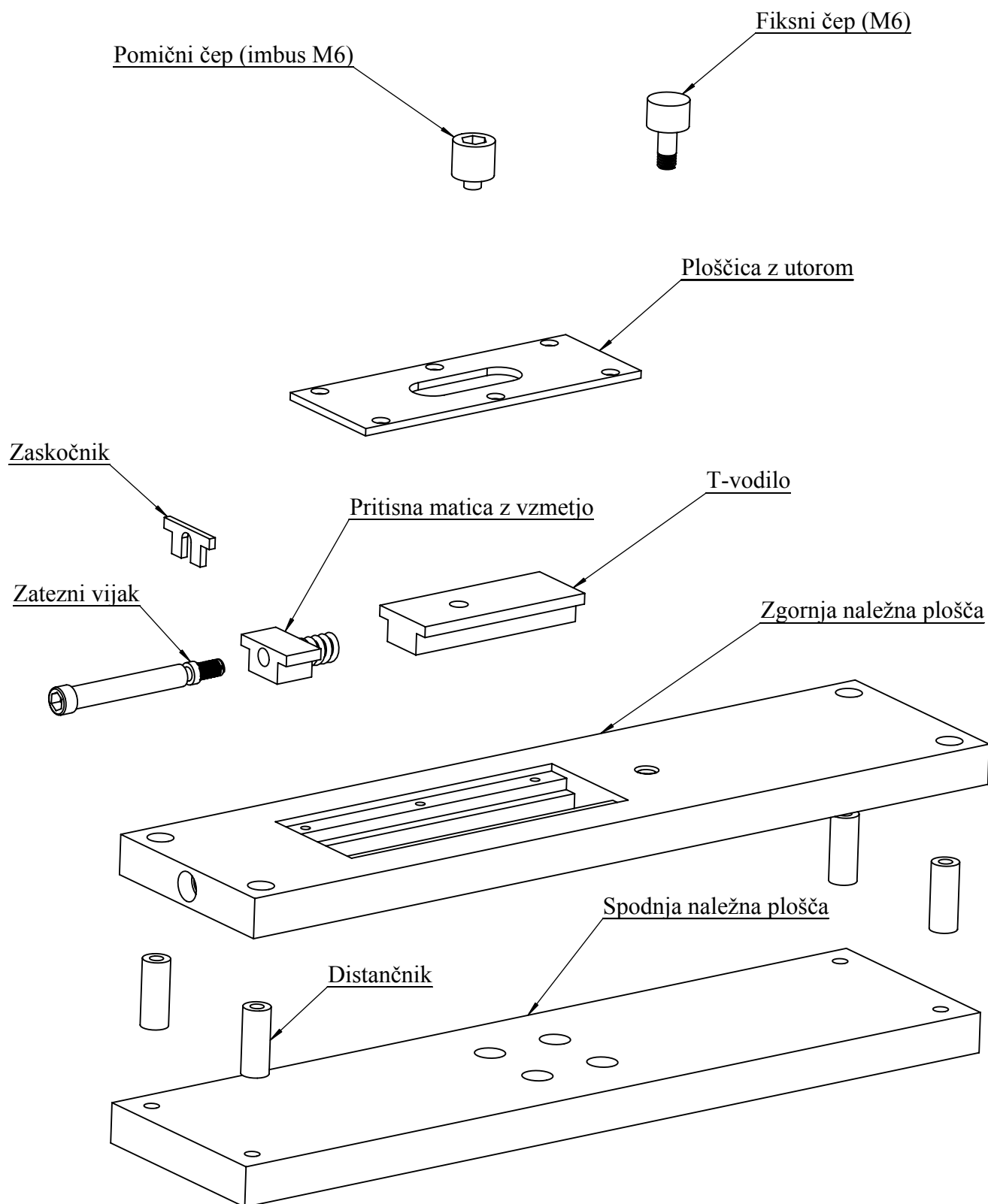
List št.:
Merilo:

Priloga B: izometrična risba vpenjalnega mehanizma

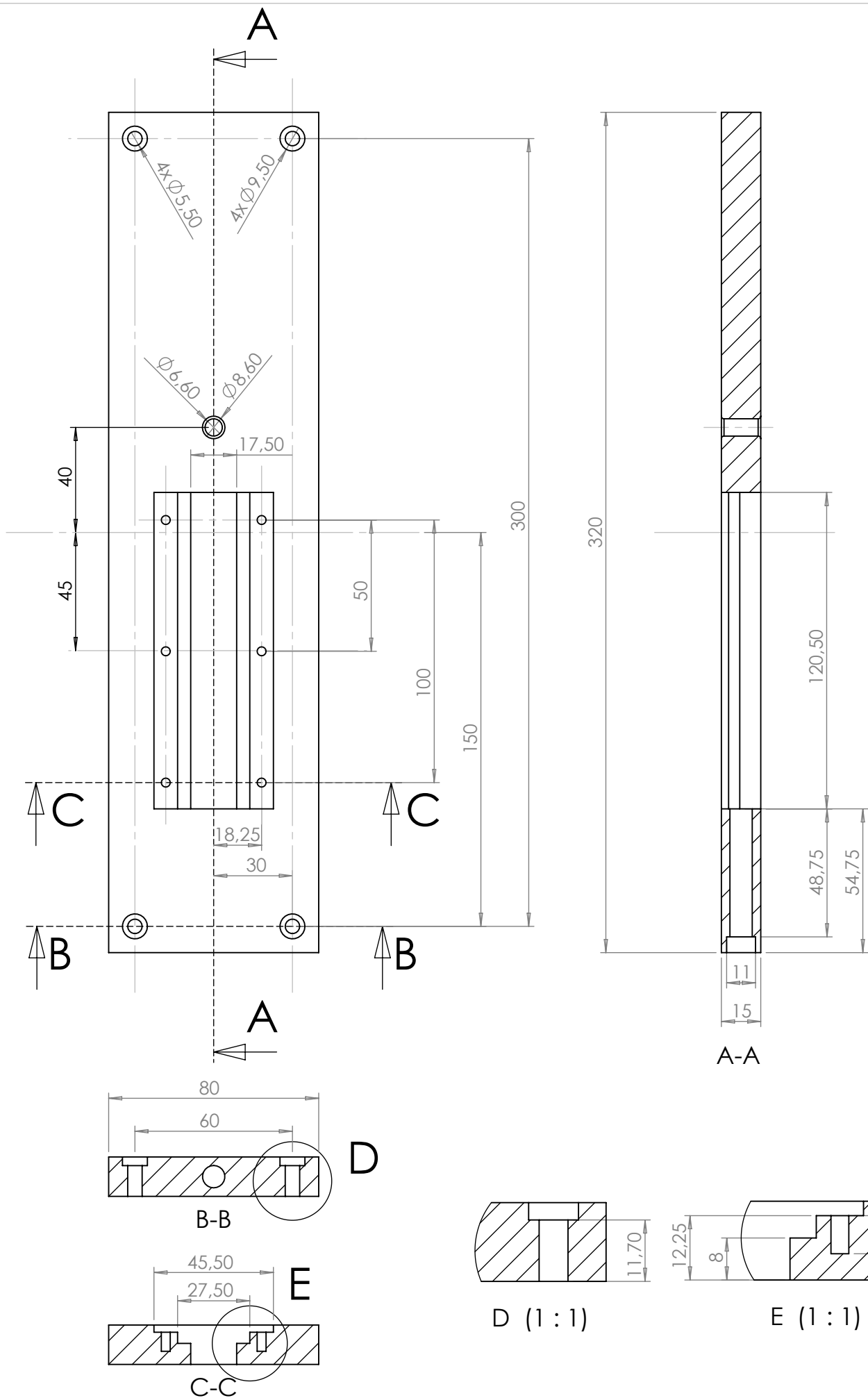


UNIVERZA V LJUBLJANI Biotehniška fakulteta Oddelek za lesarstvo		Datum: Izdelal: Igor Košir Pregledal:		VPENJALNI MEHANIZEM		List št.: Merilo: 1:2

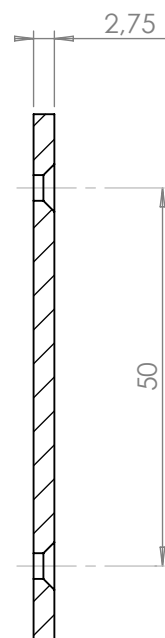
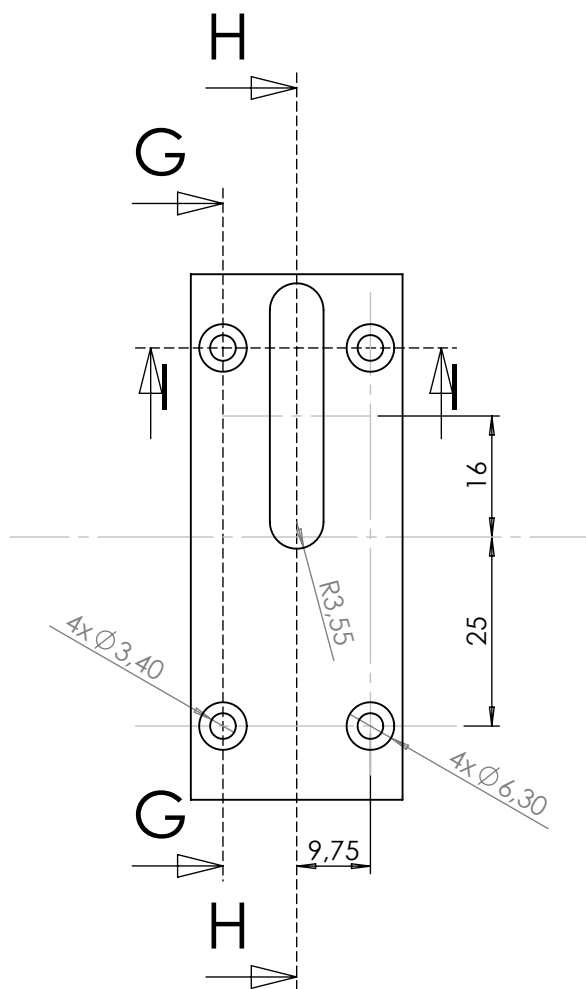
Priloga C: sestavni načrt vpenjalnega mehanizma



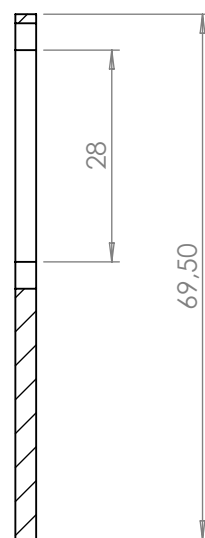
Priloga D: delavniške risbe sestavnih delov vpenjalnega mehanizma



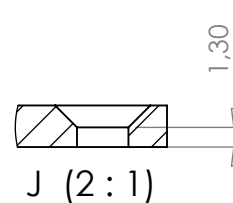
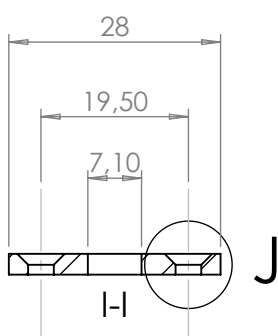
UNIVERZA V LJUBLJANI Biotehniška fakulteta Oddelek za lesarstvo	Datum: Izdelal: Igor Košir Pregledal:	VPENJALNI MEHANIZEM: - zgornja naležna plošča	List št.: Merilo: 1:2 1:1
---	---	--	---------------------------------



G-G

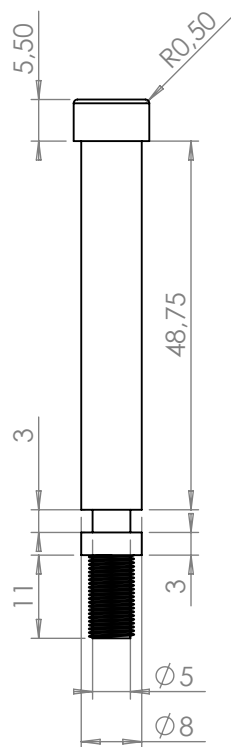


H-H

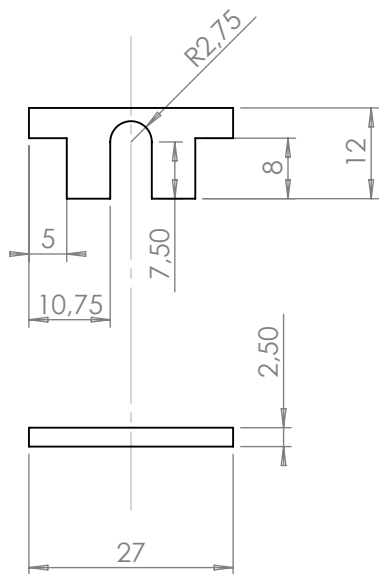


J (2 : 1)

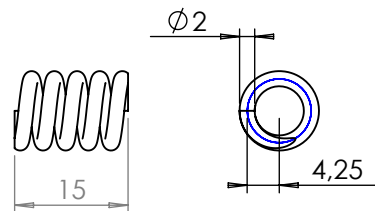
Zatezni vijak M6



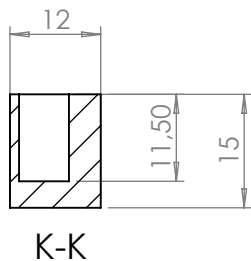
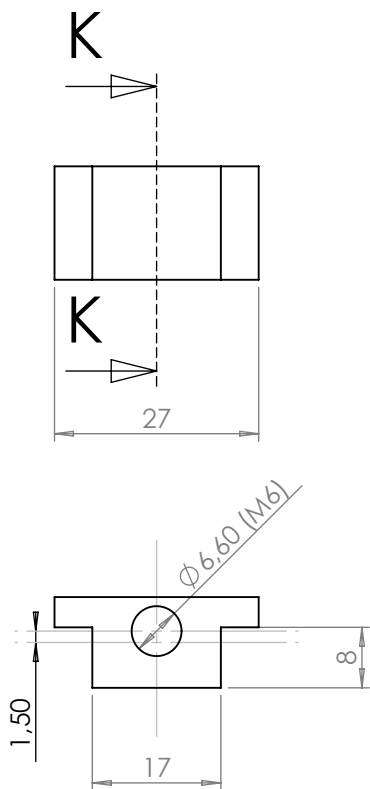
Zaskočnik



Vzmet

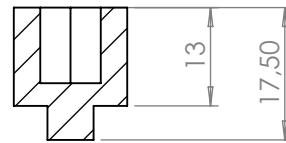
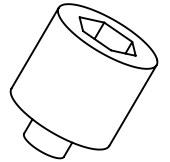
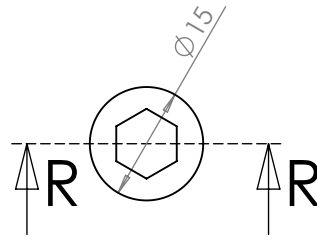
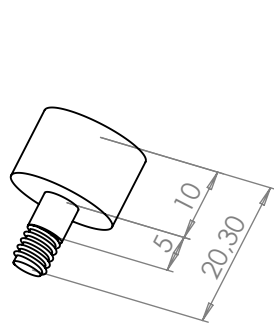


Pritisna matica



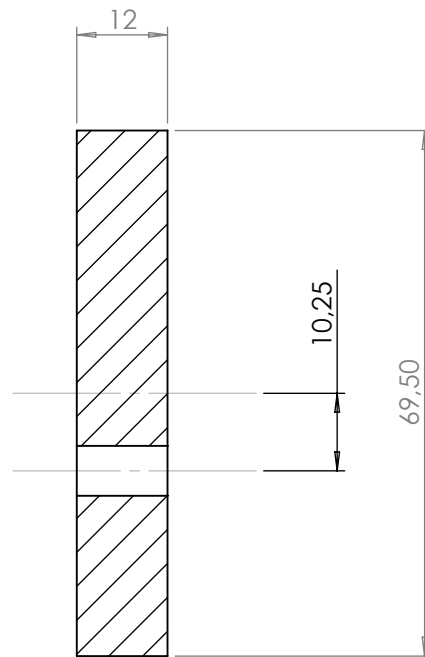
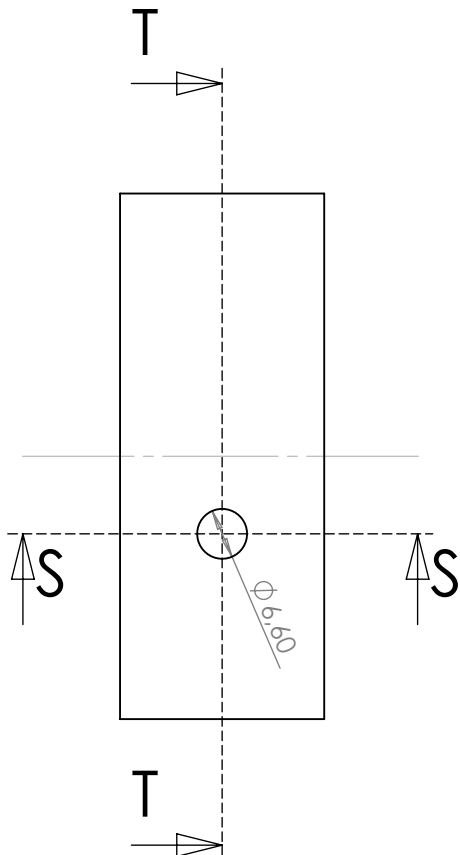
Pomični čep (imbus M6)

Fiksni čep (imbus M6)

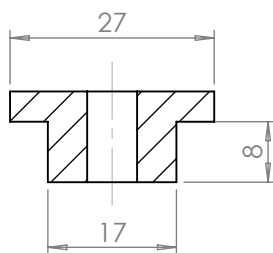


R-R

T-vodilo

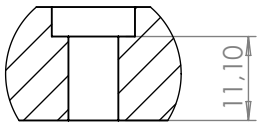


T-T



S-S

UNIVERZA V LJUBLJANI Biotehniška fakulteta Oddelek za lesarstvo	Datum: Izdelal: Igor Košir Pregledal:	VPENJALNI MEHANIZEM: -ostali sestavni kosi	List št.: Merilo: 1:1
--	--	---	----------------------------------



Priloga E: Struktura in vsebinski deli RAPID aplikacije

Programski jezik RAPID

Med proizvajalci robotov ni enotnega programskega jezika, robotski programski jezik RAPID je namenjen izključno programiranju robotov ABB.

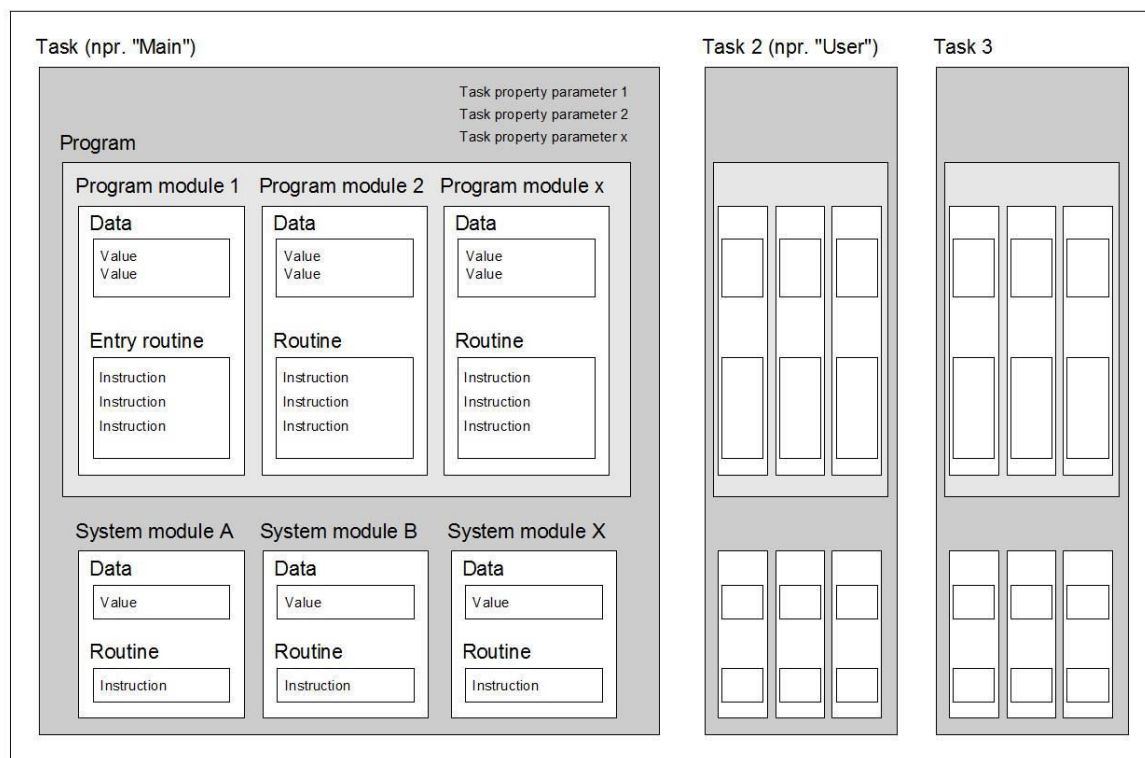
Namen RAPID aplikacije

RAPID aplikacija vsebuje zaporedje ukazov, ki nadzirajo robota, da izvaja operacije za katere je namenjen.

Vsebina RAPID aplikacije

Aplikacija je napisana s posebnim besediščem in sintaksami, ki se jim reče *programski jezik RAPID*. Programski jezik vključuje navodila za: omogočanje premikov robota, nastavitve izhodov in branje vhodov. Prav tako vsebuje ukaze za določanje smeri, ponavljanje drugih ukazov, strukturiranje programa, komunicira s sistemskim operaterjem, itd.

Struktura RAPID aplikacije



Slika: Ilustrativni prikaz strukture RAPID aplikacije (Operaterski priročnik IRC5 s FlexPendant-om, M2004, 3HAC 16590-1, Rev A, Ver 3: 274).

Vsebinski deli RAPID aplikacije in razlaga njihovih funkcij (Operaterski priročnik IRC5 s FlexPendant-om, M2004, 3HAC 16590-1, Rev A, Ver 3: 274).

Vsebinski del	Funkcija
Opravo (Task)	Vsako opravilo običajno vključuje RAPID program in sistemske module, ki kažejo na funkcijo, ki se izvaja, npr. točkovno varjenje ali premikanje manipulatorja. RAPID aplikacija lahko vsebuje eno opravilo. Če je nameščena opcija Multitasking, lahko vsebuje več nalog. V multitasking delovanju, ko se uporablja več kot eno opravilo, se ta izvajajo vzporedno, ali če zahtevamo, po specifično nastavljenih prioritetah.
Parameter lastnosti opravlja (Task property parameter)	Parametri lastnosti opravlja nastavijo določene lastnosti za vsako vsebino opravlja. Vsak program, ki je shranjen v določenem opravilu, predvidi lastnosti, nastavljene za tako opravilo.
Program	Vsak program običajno vključuje programske module za izvajanje določenih funkcij, npr. točkovno varjenje ali premikanje manipulatorja. Vsak program mora vključevati definirano vhodno rutino, da je izvedljiv.
Programski modul (Program module)	Vsak programski modul vključuje podatke in rutine za izvajanje določenih funkcij. Program je razdeljen na module, predvsem da omogoči pregled ali olajša ravnanje s programom. Vsak modul predstavlja določeno akcijo robota. Vsi programski moduli se bodo odstranili, ko izbrišemo program s programskega pomnilnika krmilnika. Programske module običajno napiše uporabnik.
Podatki (Data)	Podatki so vrednosti in definicije nastavljene v programu ali sistemskih modulih. Do podatkov dostopajo ukazi v istem modulu ali v nekaj modulih (dostopnost je odvisna od tipa podatkov).
Rutine (Routine)	Rutina vsebuje kompletne ukazov, npr. definicija, kaj robot sploh opravlja. Rutina lahko prav tako vsebuje zahtevane podatke za ukaze.
Vhodna rutina (Entry routine)	Poseben tip rutine, v angleščini je lahko imenovana tudi "Main", definirana je kot program začetne točke izvedbe. Vsak program mora imeti vhodno rutino, ki se ji reče "Main", sicer ne bo izvedljiv.
Ukaz (Instruction)	Vsak ukaz je zahteva, da se izvrši določeno dejanje, npr. "Zagon manipulatorjevega TCP v določen položaj" ali "Nastavitev določenega digitalnega izhoda".
Sistemski modul (System module)	Vsak sistemski modul vsebuje podatke in rutine za izvajanje določenih funkcij. Program je razdeljen na module, predvsem da omogoči pregled ali olajša ravnanje s programom. Vsak modul predstavlja določeno akcijo robota. Vsi sistemski moduli se bodo ohranili, ko izbrišemo program s programskega pomnilnika krmilnika. Sistemske module običajno napiše proizvajalec robota ali *line builder.