



Šolski center Celje

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

ROBOTSKO REZKANJE

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtorji:

David Jelenko, M-4. c

David Kotnik, M-4. c

Žan Kuder, M-4. c

Mentorja:

Matej VEBER, univ. dipl. inž.

mag. Andro GLAMNIK, univ. dipl.
inž.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2013

POVZETEK

Zavedamo se, da se v današnjem času vse več podjetij sooča z gospodarsko krizo, kar zavira razvoj tudi na področju robotike. Vendar tehnologija odzemanja materiala z robotom omogoča izdelovanje novih izdelkov in uresničevanje idej na lažji način. Pri tehnologiji odzemanja materiala z robotom potrebujemo programerje in vzdrževalce, kar privede do zaposlovanja. Upamo si trditi, da smo z našo raziskovalno nalogo pripomogli k razvoju tehnologije odzemanja materiala z robotom in da smo predstavili temeljne prednosti ter slabosti tega postopka.

Raziskovali smo tehnologijo odzemanja materiala in prišli do ugotovitve, da nam robot ne zagotavlja iste kakovosti obdelave v njegovem delovnem prostoru. Več sledi v nadaljevanju raziskovalne naloge.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	8
2 HIPOTEZE.....	9
3 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD	10
4 PREDSTAVITEV PROBLEMA	11
5 OPIS ROBOTSKE CELICE	15
5.1 ROBOT KUKA KR-150	16
5.2 TIRNICA KUKA KL 1500-3.....	18
5.3 REZKAR HSD ES 929	19
5.4 ODSESOVALNI SISTEM NEDERMAN FILTERMAX C25	20
5.5 KUKA SMARTPAD	21
5.6 KRMILNA OMARA.....	22
5.7 VARNOSTNI SKENER SICK	23
5.7.1 Območje delovanja	24
5.8 ZGRADBA ROBOTA	25
5.8.1 Komponente industrijskega robota	26
5.8.2 Robotsko krmilje.....	27
6 PROGRAMIRANJE ROBOTA.....	28
6.1 ROBOTSKA GIBANJA	30
6.2 POSTPROCESOR.....	31
6.2.1 Postprocesor Robotmaster	31
6.2.2 Priprava postprocesa	33
7 PODROČJA UPORABE TEHNOLOGIJE	34
8 OBDELOVALNI MATERIALI	35
9 PRIPRAVA DELOVNEGA OKOLJA ROBOTA - NIVELIRANJE VPENJALNE MIZE	36
10 PRAKTIČNA RAZISKAVA TEHNOLOGIJE.....	37

10.1 UPORABA ČELNEGA IN RADIUSNEGA REZKARJA	37
10.2 VPLIV ŠTEVILA VRTLJAJEV FREZALA NA KVALITETO ODREZOVANJA ..	38
10.2.1 Les	38
10.2.2 Plastika	39
10.2.3 Stiropor velike gostote	40
10.3 HITROST POMIKA ROBOTA VPLIVA NA KAKOVOST ODREZOVANJA	41
10.4 REZKANJE GLEDE NA POZICIJO OBDELOVANCA	42
11 IZDELKI	46
12 ANALIZA EKONOMIČNOSTI.....	47
13 UGOTOVITVE.....	48
14 ZAKLJUČEK.....	49
15 ZAHVALA.....	50
16 VIRI.....	51

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Odprta kinematična veriga</i>	11
<i>Slika 2: Delovni prostor robota s šestimi rotacijskimi sklepi</i>	12
<i>Slika 3: Delovni prostor robota</i>	12
<i>Slika 4: Primer absolutne barvne razdelitve gibljivosti.....</i>	13
<i>Slika 5: Izpetje obdelovanca</i>	14
<i>Slika 6: Robotska celica</i>	15
<i>Slika 7: Uporabljeni robot</i>	17
<i>Slika 8: Tirnica Kuka KL-1500-3.....</i>	18
<i>Slika 9: Rezkar HSD.....</i>	19
<i>Slika 10: Rezkar, nameščen na robotu</i>	19
<i>Slika 11: Odsesavanje Nederman</i>	20
<i>Slika 12: KUKA smartPAD.....</i>	21
<i>Slika 13: Krmilna omara.....</i>	22

<i>Slika 14: Varnostni skener SICK</i>	23
<i>Slika 15: Varovanje celice</i>	24
<i>Slika 16: Zgradba robotskega sistema</i>	25
<i>Slika 17: Prikaz robotskih komponent</i>	26
<i>Slika 18: Shema robotskega krmilja</i>	27
<i>Slika 19: Prikaz koordinatnih sistemov robota</i>	28
<i>Slika 20: KUKA Sim Pro</i>	29
<i>Slika 21: KUKA Office Lite</i>	29
<i>Slika 22: Robotska gibanja</i>	30
<i>Slika 23: Postproces</i>	32
<i>Slika 24: Program Mastercam</i>	33
<i>Slika 25: Izdelava prototipa</i>	34
<i>Slika 26: Različni materiali</i>	35
<i>Slika 27: Vodna tehtnica</i>	36
<i>Slika 28: Merilna ura</i>	36
<i>Slika 29: Čelni in radiusni rezkar</i>	37
<i>Slika 30: Testiranje števila vrtljajev rezkarja na lesu</i>	38
<i>Slika 31: Testiranje števila vrtljajev na plastiki</i>	39
<i>Slika 32: Testiranje števila vrtljajev rezkarja na stiroporu</i>	40
<i>Slika 33: 3D-model obdelovanca za testiranje</i>	42
<i>Slika 34: Delovni načrt piramide za testiranje</i>	43
<i>Slika 35: Postavitev obdelovanca po mizi</i>	44
<i>Slika 36: Obdelovanec</i>	44
<i>Slika 37: Najprimernejša pozicija za obdelovanje</i>	45
<i>Slika 38: Izdelki</i>	46

KAZALO TABEL

<i>Tabela 1: Podatki o robotu</i>	16
<i>Tabela 2: Hitrosti ob obremenitvi.....</i>	16
<i>Tabela 3: Podatki o tirnici</i>	18
<i>Tabela 4: Podatki o rezkarju.....</i>	19
<i>Tabela 5: Podatki o odsesovalnem sistemu.....</i>	20
<i>Tabela 6: Podatki o KUKA smartPADu</i>	21
<i>Tabela 7: Splošne informacije SICKa</i>	23
<i>Tabela 8: Les</i>	38
<i>Tabela 9: Plastika</i>	39
<i>Tabela 10: Stiropor</i>	40
<i>Tabela 11: Hitrosti pomika</i>	41
<i>Tabela 12: Mere obdelovancev</i>	43
<i>Tabela 13: Analiza ekonomičnosti</i>	47
<i>Tabela 14: Teze</i>	48

1 UVOD

Na osnovi različnih raziskav in povpraševanja smo se odločili, da bomo za naše raziskovalno delo raziskali področje tehnologije odzemanja materiala z robotom.

Prednosti tehnologije odzemanja materiala z robotom so na primer večji delovni prostor, večja prilagodljivost in cenovno ugodnejša rešitev v primerjavi s sodobnimi obdelovalnimi stroji. Problem se pokaže pri natančnosti, saj ne dosega natančnosti sodobnih obdelovalnih strojev. Poleg tega nam industrijski roboti omogočajo ponovljivost delovnih operacij. Uporabljajo se za strego različnim obdelovalnim strojem, za paletizacijo, varjenje, barvanje, montažo itd. V zadnjem času pa se zaradi prednosti, kot so: večja zanesljivost delovanja, enakomernost oziroma hitrost dela ter adaptivnost, uporabljajo tudi pri tehnologiji odzemanja materialov.

2 HIPOTEZE

V raziskovalni nalogi bomo raziskali del področja tehnologije odzemanja materiala z robotom. Pri tem se bomo osredotočili na prednosti in slabosti tega postopka ter teoretično opisali problematiko.

Pri raziskovanju robotskega rezkanja smo se postavili v različne delovne okoliščine. Najprej smo želeli raziskati vplive različnih materialov na točnost obdelave. Pri praktičnem pouku v predhodnih letnikih smo spoznali, da na točnost obdelave vpliva tudi hitrost frezala. Zaradi tega smo se odločili, da opazujemo obdelavo pri različnih hitrostih. Robot nam omogoča prostorsko neomejenost, zato smo se želeli prepričati, če nam zagotavlja isto kakovost izdelka, ne glede na postavitev v prostoru.

Naše zastavljene hipoteze so bile:

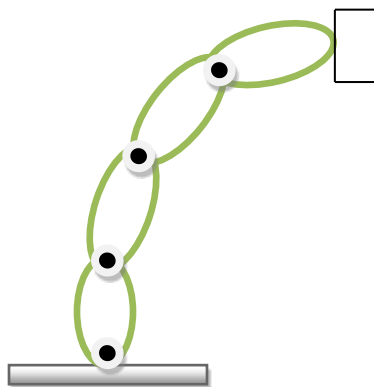
- **Število vrtljajev frezala vpliva na kakovost odrezovanja.**
- **Hitrost pomika robota vpliva na kakovost odrezovanja.**
- **Tehnologija odzemanja materiala z robotom je ekonomsko upravičena.**
- **Robotska obdelava poteka enakomerno in enako natančno v celotnem delovnem prostoru robota.**

3 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD

Sprva smo poiskali strokovno literaturo, ki smo jo potrebovali za izdelavo raziskovalne naloge. Uporabljali smo knjižne in internetne vire, nekaj gradiva pa smo prejeli od mentorjev. Zatem smo pripravili delovno okolje robota, pripravili smo vpenjalno mizo (niveliranje delovne mize), in različne materiale ter si zastavili potek dela. Najprej smo teoretično raziskali problematiko obdelave z robotom. Nato smo začeli s praktičnimi raziskavami. Pri tem smo izbirali vrste rezkarjev, nastavljali število obratov ter hitrost pomika robota, vse to pa smo preizkusili na različnih materialih z ročnim programiranjem robota. Del testov smo opravili z ročnim programiranjem robota, del pa s pomočjo postprocesorja. Po prvih testih smo izdelali 3D-model merilnega obdelovanca, ki smo ga nato v programskem orodju Mastercam-Robotmaster pripravili za obdelavo z našim robotom. Opravili smo sedem obdelav na različnih mestih mize. Zaključili smo z merjenjem obdelovancev in z izbiro najprimernejšega mesta obdelave. Nato smo na podlagi izmerjenih rezultatov podali zaključke.

4 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Glavni problem pri robotskem odzemanju materiala je trenutno manjša preciznost zaradi nezadostne togosti robotskega mehanizma v primerjavi s sodobnimi obdelovalnimi stroji.

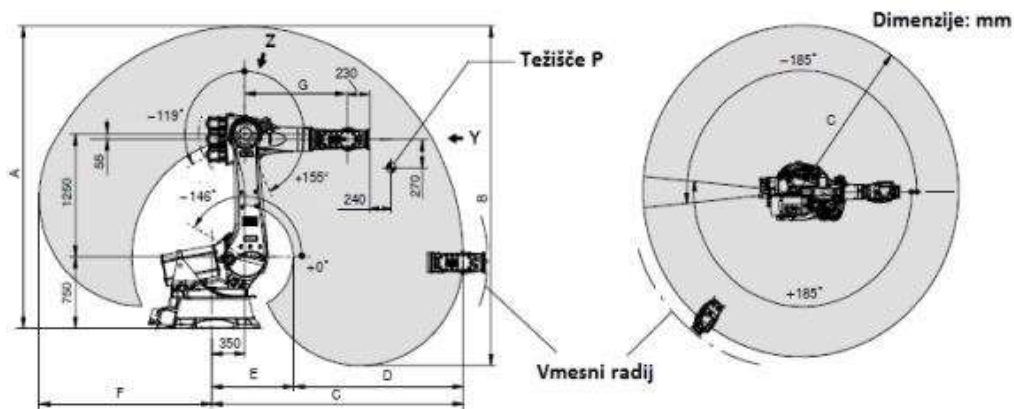


Slika 1: Odprta kinematična veriga

Pri tehnologiji odzemanja materiala z robotom se pojavijo povratne tehnološke sile, ki so odvisne od trdote materiala in izbranih rezilnih orodij. Sklepamo, da je pomembna togost mehanizma. Manjša togost robota izhaja iz odprte kinematične verige mehanizma, odstopanj v sklepih, aktuatorjih in prenosnih elementih, kot so elastičnost harmonskega gonila in elastičnost zobatega jermena. Pri nerednih servisih robota se elastičnost še poveča, kar dodatno zmanjša njegovo natančnost.

Izvor napak lahko razdelimo v dve skupini; pogrešek gibanja (kinematika robota, elastičnost gonil, dinamični pogrešek) in napake zaradi povratne sile odrezovanja. Pogrešek gibanja znaša približno 0,1 mm in se pojavi tudi pri gibanju robota brez zunanjih sil. Pri odzemanju materialov lahko povratne sile dosežajo več 100 N in s tem pogrešek okoli 1 mm. Ugotavljamo, da je struktura robotskega mehanizma elastična.

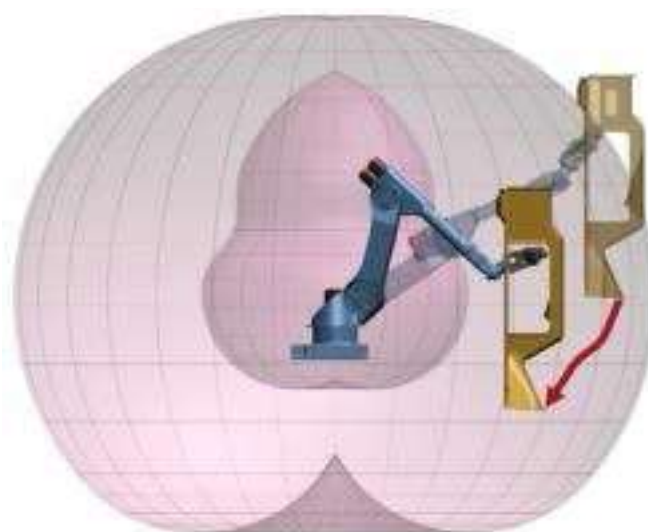
Poleg omenjenega smo naleteli na problematiko, da robot ni enako gibljiv v celotnem delovnem prostoru. Delovni prostor robota so vse točke v prostoru, ki jih robot lahko doseže. To lahko predstavlja problem, če pozicioniramo obdelovanec izven njega.



A	B	C	D	E	F	G	VOLUMEN
3100	3450	2700	1875	825	1788	1100	55 m ³

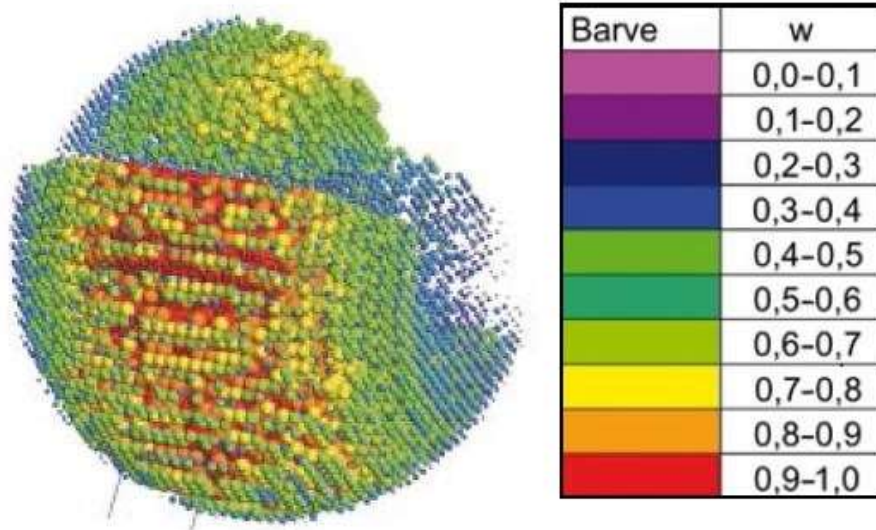
Slika 2: Delovni prostor robota s šestimi rotacijskimi sklepi

Zaradi nameščenega frezala in sistema za odesavanje se nam ta prostor dodatno zmanjša. Upoštevati moramo tudi morebitne omejitve delovnega prostora in delovnih priprav ter zahteve samega obdelovanca.



Slika 3: Delovni prostor robota

Ker je miza velika, robot pa ni enako gibljiv na vsaki točki v svojem delovnem prostoru, smo morali na primeru ugotoviti optimalno pozicijo obdelovanja. Robot ne more popolno rešiti naloge samo zaradi poznavanja delovnega prostora oziroma če se nahaja znotraj tega prostora, saj je pomembna tudi gibljivost mehanizma, ki pa se znotraj prostora robota spreminja.



Slika 4: Primer absolutne barvne razdelitve gibljivosti

Pri obdelavi se pojavljajo velike sile na obdelovanec. Iz tega sledi, da je potrebno ustrezno vpenjanje. Prvič smo se srečali s tem problemom, ko smo rezkali plastiko. Plastika ima večjo trdoto kot les in stiropor, zato nam je v prvem poizkusu obdelovanec izpelo.



Slika 5: Izpetje obdelovanca

Pri izbiri rezkarja smo imeli težave, saj smo morali izbrati optimalni rezkar. Ker nismo imeli ustreznega predznanja, smo rezkar iskali predvsem z metodo poizkusov.

Hitrost pomika je ključna za kvaliteto odrezovanja. Hitrosti smo preizkušali na odvečnih kosih materialov.

5 OPIS ROBOTSKE CELICE

Robotska celica je velikosti 30 m². V celici se nahajajo robot Kuka KR 150, tirnica, naprava za odsesavanje in vpenjalna miza. Varnost v robotski celici je zagotovljena s tipkalom za izklop v sili na krmilni in upravljalni omari, s stikalom na vratih robotske celice ter z varnostnim laserskim skenerjem SICK.



Slika 6: Robotska celica

5.1 ROBOT KUKA KR-150

KUKA KR 150 je močan, hiter in vsestransko uporaben industrijski robot podjetja KUKA. S svojimi šestimi osmi lahko dobro posname gibe človeške roke. Njegov doseg je 2700 mm in deluje v prostoru 55 m³.

NOSILNOST

Njegova maksimalna nosilnost je 150 kg.

DRUGE INFORMACIJE

Tabela 1: Podatki o robotu

Dodatna obremenitev	50 kg
Največja skupna obremenitev	200 kg
Število osi	6
Vgradni položaj	tla
Odstopanje	±0.06 mm
Panel za učenje robota	KR c4
Teža (brez krmilnika), pribl	1,078 kg
Delovna temperatura	+10 °c do +55 °c
Volumen delovanja	55m ³

Tabela 2: Hitrosti ob obremenitvi

Os	Zasuk osi	Hitrost z obremenitvijo 150 kg
1.	±370°	123°/s
2.	±135°	115°/s
3.	±275°	120°/s
4.	±700°	179°/s
5.	±250°	172°/s
6.	±700°	219°/s



Slika 7: Uporabljeni robot

5.2 TIRNICA KUKA KL 1500-3

Tirnica Kuka KL 1500-3 nam služi za povečanje obsega robota, saj ga lahko pomikamo še po 7. osi. S tem povečamo delovni prostor robota.

NOSILNOST

Maksimalna nosilnost je 2000 kg.

DELOVNI OBSEG

Kuka KL 1500-3 omogoča 3000 mm dodatnega dosega.

Tabela 3: Ostale informacije

Vgradni položaj	Tla
Teža	2175 kg
Max. hitrost premika	1.45 m/s
Maksimalni premik	3.000 mm
Odstopanje	±0.02 mm
Max. tovora	2000 kg



Slika 8: Tirnica Kuka KL-1500-3

5.3 REZKAR HSD ES 929

Na vrh robota oziroma prirobnico robota je pritrjen rezkar HSD, ki dosega 24000 obr/min. V glavni krmilni omari je namenski Siemensov frekvenčni pretvornik Sinamics za vodenje rezkarja. Zaradi tehničnih lastnosti frekvenčnega pretvornika je hitrost rezkarja omejena na 19600 obr/min. Vpetje na rezkarju je ISO 30 pnevmatsko vpetje, brez zaščite proti zasuku, vpeta pa je vpenjalna glava Nikken (do 40000 obr/min).

Tabela 4: Podatki o rezkarju

Hlajenje	zračno
Teža	31 kg
Moč motorja	7,5 kw
Nazivna hitrost	24000 rpm
Nazivna napetost	380 V
Frekvenca	800 Hz



Slika 9: Rezkar HSD



Slika 10: Rezkar, nameščen na robotu

5.4 ODSESOVALNI SISTEM NEDERMAN FILTERMAX C25

Pri rezkanju nastanejo odstružki in prah, ki jih s FilterMaxom odsesavamo. V notranjosti naprave je asinhronski motor, ki poganja ventilator. Ta ustvarja podtlak, ki preko cevi iz umetne mase z ojačitvami odsesava odpadne delce. V odsesovalni napravi se nahaja pet filtrov, ki odpadne delce filtrirajo.

Tabela 5: Podatki o odsesovalnem sistemu

Teža	454 kg
Število filtrov	5
Motor ventilatorja	3 kW
Nazivna napetost	400 V
Frekvenca	50 Hz
Pretok	2750 m³/h



Slika 11: Odsesavanje Nederman

5.5 KUKA SMARTPAD

KUKA smartPAD je zaslonski uporabniški vmesnik, s katerim programiramo robota. Postopki so uporabniku predstavljeni na pregleden način, s pomočjo inteligentnih interaktivnih pogovornih oken. Uporabnik ima zato vedno na voljo natančne elemente nadzora, ki so dejansko potrebni v danem trenutku. Programiramo lahko s 6D-miško, tipkovnico ali zaslonom na dotik.

Tabela 6: Podatki o KUKA smartPADu

Tip	KUKA smartPAD
Prikazovalnik	zaslon na dotik
Velikost prikazovalnika	8.4"
Teža	1,100 g
Dimenzije (D x V x Š)	80 x 330 x 260 mm



Slika 12: KUKA smartPAD

5.6 KRMILNA OMARA

Na pomožni krmilni omari se nahaja zaslon, občutljiv na dotik, kjer lahko vklopimo ali izklopimo rezkar ter nastavimo rezilno hitrost. Poleg tega se na omari nahajajo tipke za vklop krmilja, režim avtomatskega in ročnega delovanja ter izklop varnostnih vrat.



Slika 13: Krmilna omara

5.7 VARNOSTNI SKENER SICK

Varnostni skener je višji nivo varnosti v robotski celici. Z njim dosežemo boljše varovanje oseb, ki delajo v robotskem prostoru. Uporablja se za mnogo aplikacij, nameščen je tudi na transportnih vozičkih in nam preprečuje, da bi trčili med sabo ali v mimoidočega delavca. Z varnostnim skenerjem lahko ustvarimo aplikacijo, da bo v primeru prihoda osebe v neposredno bližino robota sprva le-ta zmanjšal delovno hitrost, nato pa še zaustavil delovni proces. Varnostni skenerji prihajajo v industriji čedalje bolj v uporabo, saj so zelo fleksibilni, prilagodljivi in reprogramabilni.



Slika 14: Varnostni skener SICK

Tabela 7: Splošne informacije SICKa

Dolžina varnostnega prostora	7 m
Odzivni čas	60 ms
Merilni kot	190°
Temperaturno območje delovanja	-10 °C do +50 °C
Število območij	4

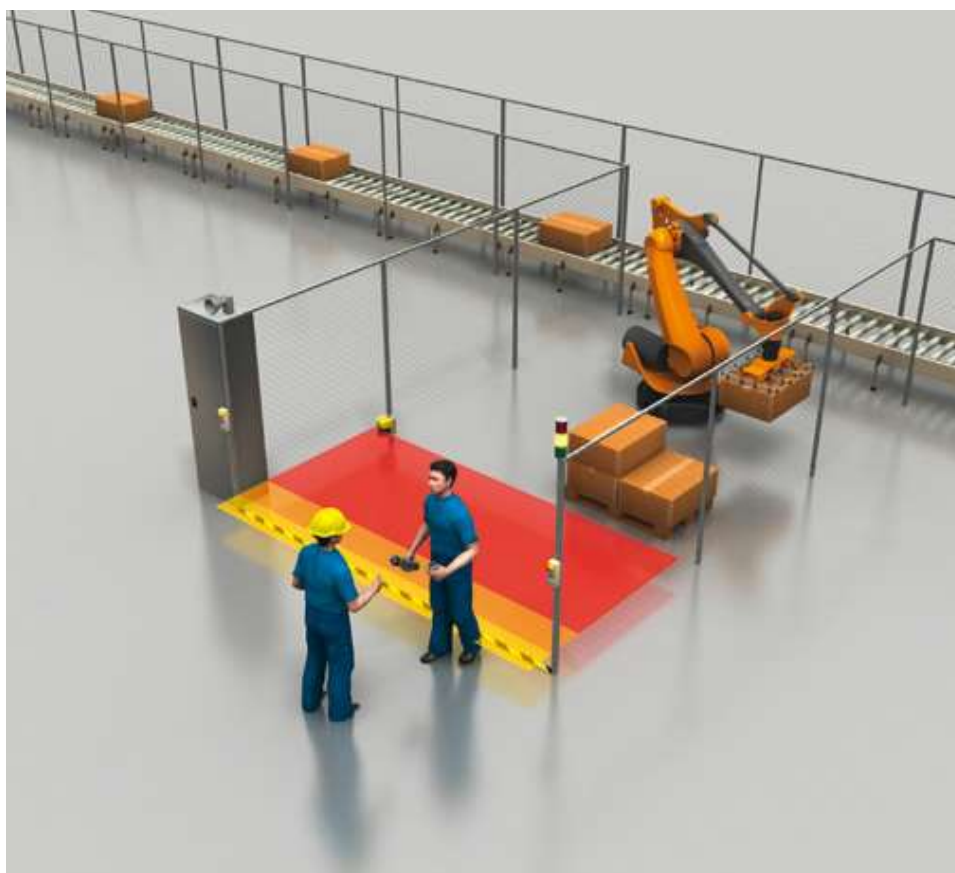
5.7.1 Območje delovanja

Na laserskem skenerju lahko nastavimo več območij delovanja: eno varovano območje in dve opozorilni območji. Takoj, ko je zaznan predmet v opozorilni coni, vozilo oz. napravo upočasnimo na 50 % svoje hitrosti. Če je ta objekt zaznan v drugi opozorilni coni, se hitrost zmanjša na 20 %. V primeru, da se objektu tako približa, da je v varovanem območju, se naprava nemudoma ustavi. S tem načinom delovanja je proces hitrejši in tudi ekonomičnejša. Kajti, če se naprava pri svoji največji moči takoj ustavi, s tem trpi motor in vsa močnostna elektronika.

Opozorilno polje 2 (rumeno) = npr. hupa

Opozorilno polje 1 (oranžno) = npr. nadzorovano ustavljanje robota

Zaščitno polje (rdeča) = izklop sistema

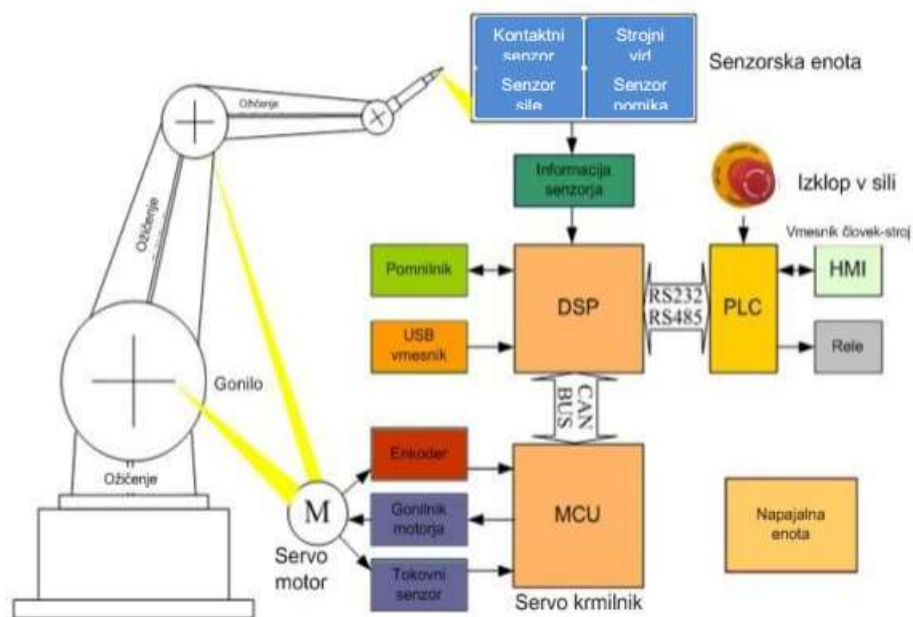


Slika 15: Varovanje celice

5.8 ZGRADBA ROBOTA

Robot je sestavljen iz treh glavnih delov:

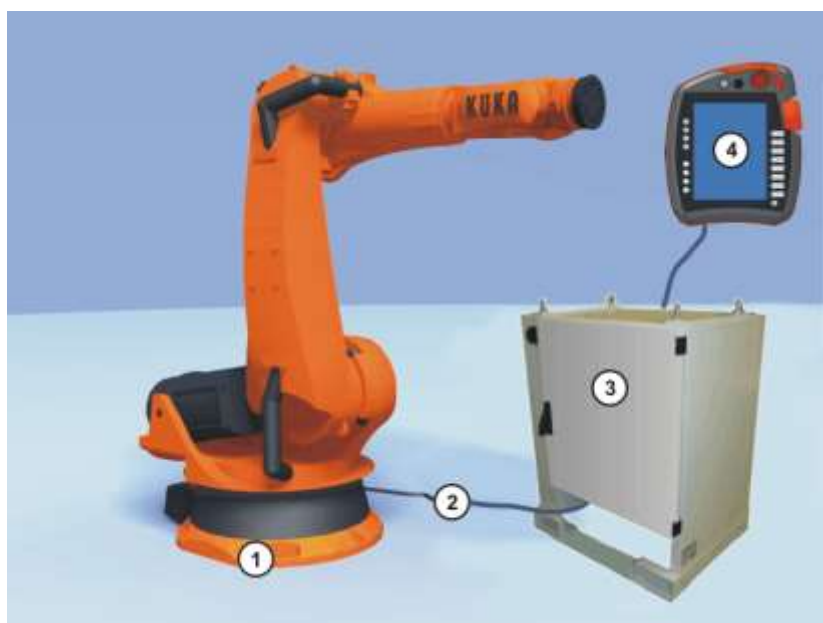
- mehanskega dela, kamor spadajo segmenti, motorji in zavore;
- informacijskega dela, ki zajema računalnik, krmilnik in sistem vodenja;
- senzorjev, kot so sile, pospeški, umetni vid, hitrost, pomik.



Slika 16: Zgradba robotskega sistema

5.8.1 Komponente industrijskega robota

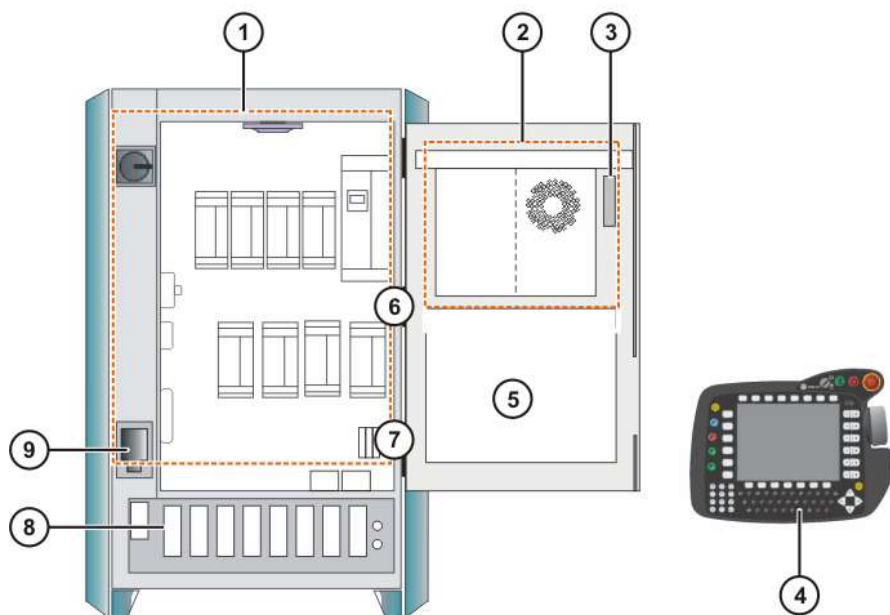
- Manipulator (1)
- Povezovalni vodniki (2)
- Robotsko krmilje (3)
- Ročna naprava za programiranje (4)
- Programska oprema
- Pribor



Slika 17: Prikaz robotskih komponent

5.8.2 Robotsko krmilje

- močnostni del (1)
- krmilni računalnik (2)
- priključek učne enote (3)
- učna enota (4)
- namenski prostor aplikacije (5)
- varnostna logika (6)
- KCP-kartica za priključek (7)
- priključne sponke (8)
- servisna vtičnica (9)



Slika 18: Shema robotskega krmilja

6 PROGRAMIRANJE ROBOTA

Industrijske robote lahko programiramo na različne načine.

ON-LINE programiranje:

On-line programiranje je postopek, pri katerem uporabljamo teachboxe, s katerimi programiramo robote. Programer mora biti prisoten ob robotu. Program pišemo tako, da robot izvaja gibe po naših ukazih.

Prednosti on-line programiranja:

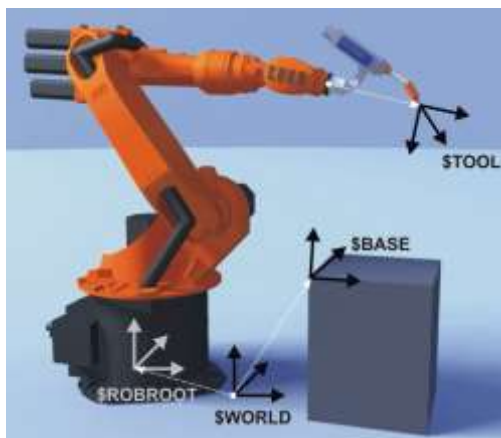
- lahka dostopnost;
- delo in programiranje v realnem okolju.

Slabosti on-line programiranja:

- počasni gibi robota med programiranjem;
- veliko preračunavanja;
- izguba med programiranjem je draga.

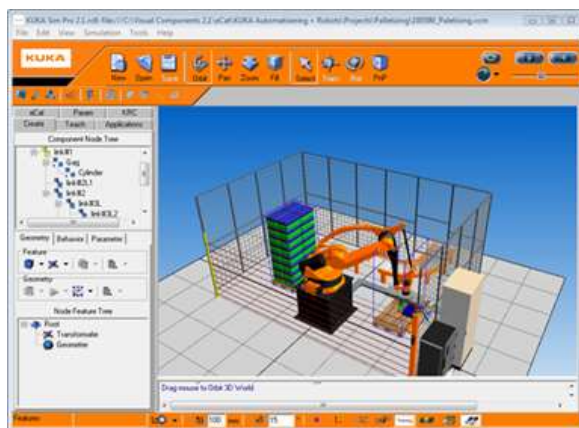
Izbiramo lahko različne koordinatne sisteme glede na aplikacijo robota:

- bazni koordinatni sistem robota;
- zunanji koordinatni sistem;
- koordinatni sistem obdelovanca;
- koordinatni sistem vrha orodja.

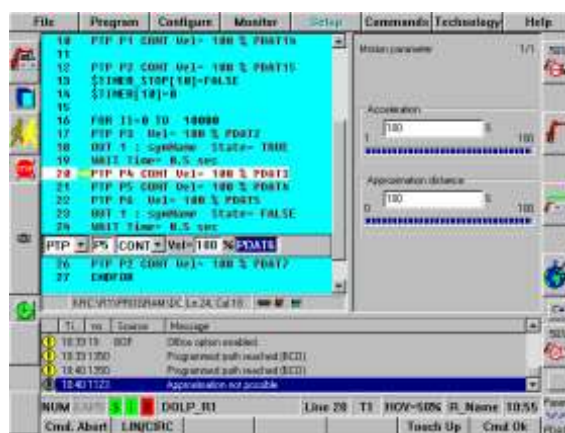


Slika 19: Prikaz koordinatnih sistemov robota

OFF-LINE programiranje oziroma indirektno programiranje se izvaja na posebnem računalniku, kjer programiramo simulacijskega robota. Poznamo programsko orodje KUKA office lite v kombinaciji s KUKA sim pro. Ta način programiranja se uporablja v industriji, da ne ustavljamo proizvodne linije, ampak da najprej programiramo in preizkusimo simulacijo na računalniku, šele nato ustavimo proizvodnjo in prenesemo program na robota.



Slika 20: KUKA Sim Pro



Slika 21: KUKA Office Lite

Pri robotski obdelavi pa ne moremo uporabiti tega načina programiranja zaradi prevelikega števila programskih vrstic, zato uporabimo postprocesorska orodja. V našem primeru smo uporabili programsko orodje Robotmaster.

6.1 ROBOTSKA GIBANJA

V osnovi poznamo tri gibe, ki jih uporabljamo za pomik robota.

GIBANJE POINT TO POINT – PTP

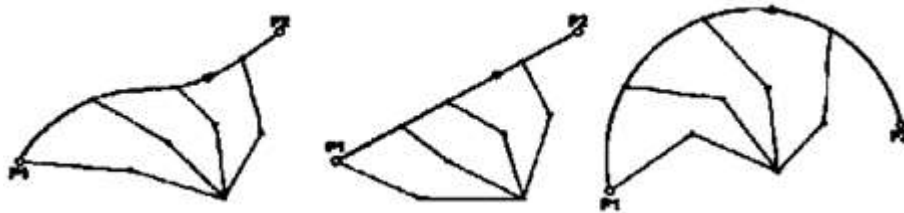
- Orodje se giblje po najhitrejši in najkrajši preračunani poti.

LINEARNO GIBANJE – LIN

- Orodje se giblje linearno zvezno v ravnini.

KROŽNO GIBANJE– CIRC

- Orodje se giblje po definirani krožnici v krogu.



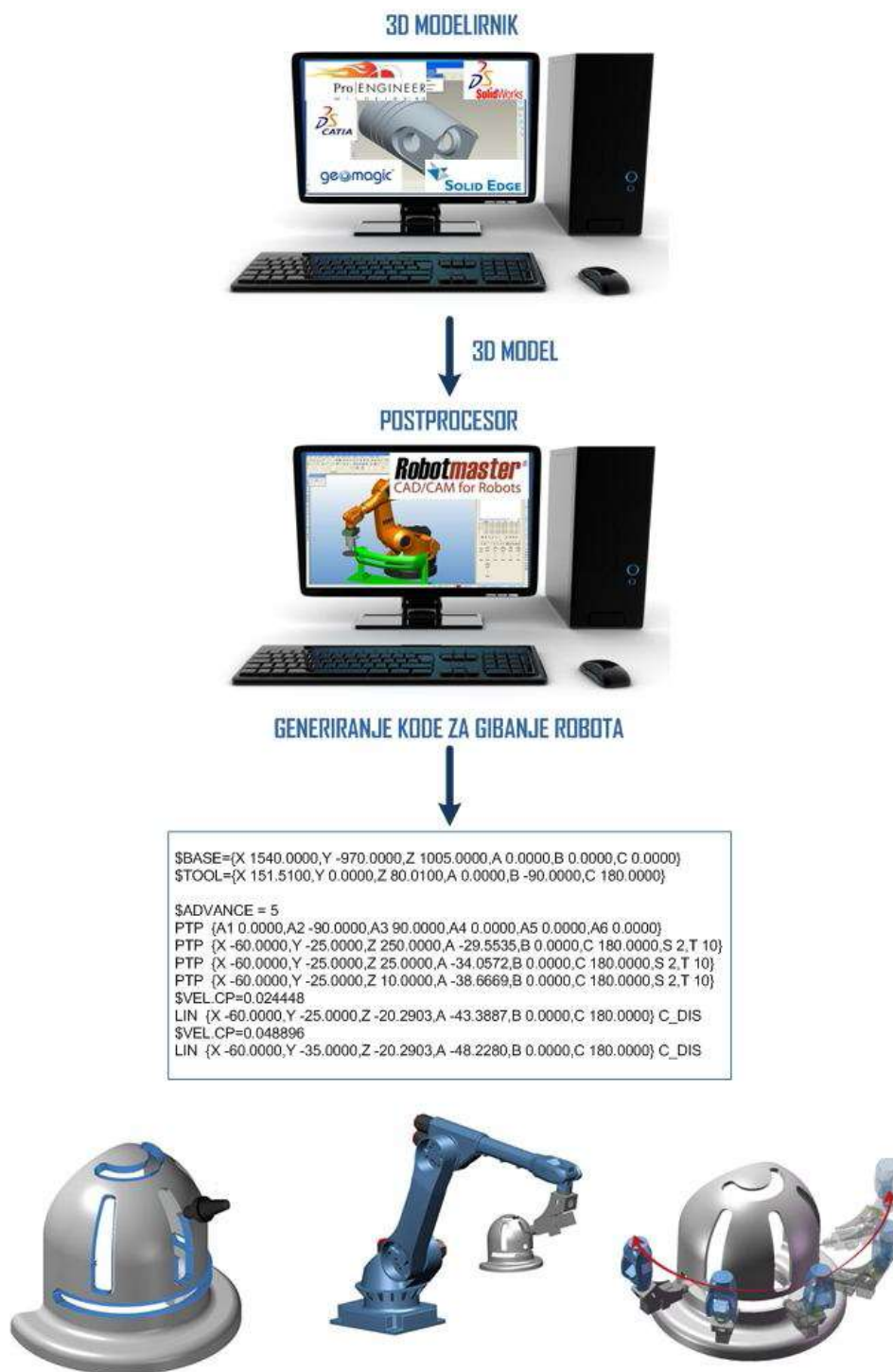
Slika 22: Robotska gibanja

6.2 POSTPROCESOR

Postprocesor je program, ki nam na podlagi izrisanega 3D-modela in nastavitev obdelave omogoča generiranje robotske kode.

6.2.1 Postprocesor Robotmaster

Robotmaster je programska oprema za CAD/CAM-programiranje robotov. Brez CAD/CAM-programiranja numerično krmiljenih obdelovalnih strojev si ne moremo predstavljati sodobne proizvodnje. Veliko robotov se še vedno programira ročno. Robotmaster omogoča programiranje robotov na osnovi CAD-modela na podoben način kot programiramo CNC-stroje. Robotmaster je primeren za programiranje robotskih aplikaciji, kot so rezkanje, obrezovanje, peskanje, poliranje, razlaganje, varjenje, brušenje in barvanje. Zaradi zahtev po zmanjševanju stroškov roboti postopoma nadomeščajo proizvodne stroje, kot so npr. CNC-obdelovalni stroji. Roboti so z razvojem napredovali v natančnosti in togosti, zato se vedno več uporabljajo tudi za aplikacije, kot je rezkanje. Z uporabo robotov lahko izdelujemo kakovostnejše izdelke po nižji ceni. Robotmaster v enotnem okolju povezuje programiranje, simulacijo in generiranje kode. Deluje znotraj Mastercam programskega orodja. Pot orodja, generirana v Mastercamu, je osnova za Robotmaster, ki izvede optimiziran robotski program, ki ne potrebuje dodatnega »offline« programiranja. Programiranje robotov je bolj prilagodljivo in hitrejše kot programiranje CNC-strojev.



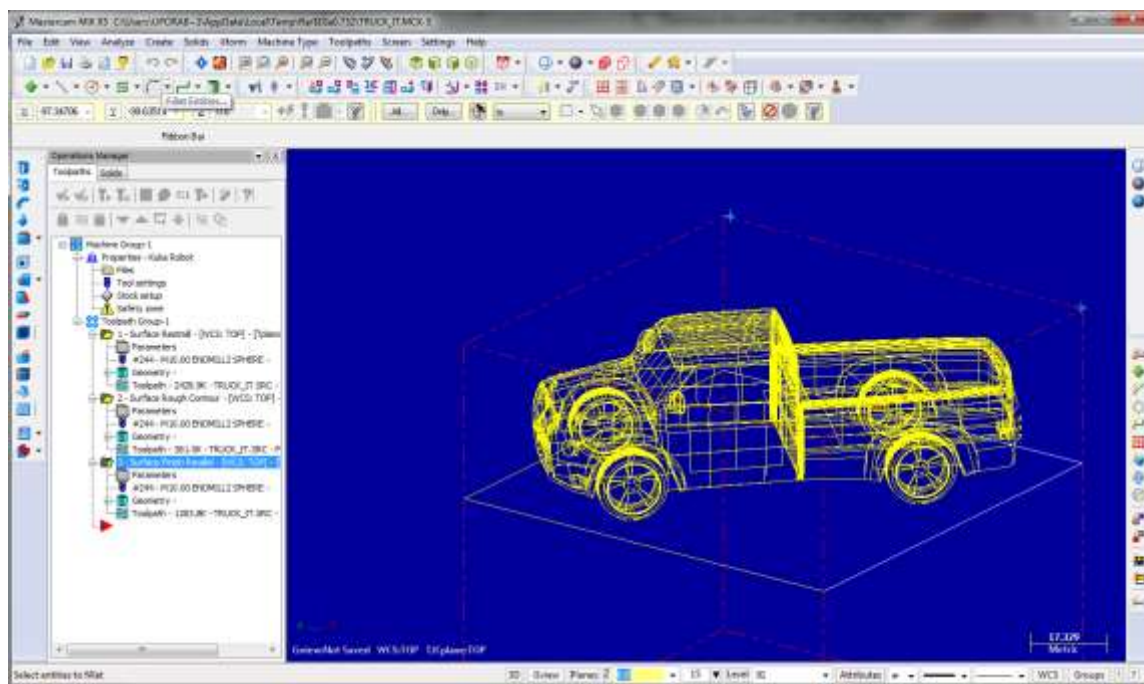
Slika 23: Postproces

6.2.2 Priprava postprocesa

Na začetku namestimo Mastercam, nato najnovejšo posodobitev, sledi pa namestitev Robotmaster programske opreme.

S pomočjo programskih orodij za modeliranje, kot so Catia, Proengineer, SolidWorks, SolidEdge, Geomagic ipd., pripravimo in modeliramo 3D-model. Nato ga zaženemo z Mastercam programskim orodjem, kjer nastavimo parametre obdelave.

Zavedati pa se moramo določenih omejitev, kot sta natančnost in togost robota. Poleg tega nam programska oprema omogoča tudi optimizacijo gibanja robota. Tako lahko naprej izračunamo singularne točke, omejitve osi, delovno območje in kolizijo. Kljub vsemu pa moramo upoštevati še veliko drugih dejavnikov. Upoštevati moramo togost vpenjalne mize, izbiro primerne materiala in njegove lastnosti, izbiro primerne rezkarja ter hitrost odzemanja materiala.



Slika 24: Program Mastercam

7 PODROČJA UPORABE TEHNOLOGIJE

Robotsko odzemanje materiala se čedalje bolj razvija v industriji. V nadaljevanju so našteje trenutno najbolj razširjene panoge:

- prototipni modeli v avtomobilski, navtični in letalski industriji;
- kompleksni pramodi in direktni kalupi za izdelavo kompozitnih izdelkov;
- umetniške skulpture in kipi v povezavi z optičnim 3D-skenerjem ali računalniškim modelom;
- opaži iz betona ter livarski modeli;
- arhitekturne makete;
- konceptni modeli;
- lesna industrija;
- geodezija ...

Po našem mnenju bi se lahko ta panoga uporabljala največ v prototipni industriji, saj nam omogoča hitrejše napredke pri izdelavi prototipov, kar je tudi bolj ekonomično. Pri raziskovanju različnih zgodovinskih odkritjih nam robotsko odzemanje materiala predstavlja hitrejše izdelovanje kopij raznih kipov, stebrov in drugih arheoloških najdb.



Slika 25: Izdelava prototipa

8 OBDELOVALNI MATERIALI

Trenutno najbolj uporabljeni materiali so:

- EPS;
- MDF;
- vezane plošče;
- masivni les (kuhana bukev);
- epoksidne paste;
- poliuretan;
- novilon;
- kotern;
- polietilen;
- polikarbonati;
- pogojno aluminij.



Slika 26: Različni materiali

9 PRIPRAVA DELOVNEGA OKOLJA ROBOTA - NIVELIRANJE VPENJALNE MIZE

Pred začetkom rezkanja smo morali urediti delovno okolje, da smo dosegli čim večjo natančnost. Zato smo nivelirali delovno mizo. Odstopanja smo merili z vodno tehtnico, ki nam je omogočila veliko natančnost. Delo je bilo dolgotrajno, vendar vredno truda, saj miza sedaj odstopa iz ravnine samo za 0,025 mm na 2-metrski razdalji. Potrebno je bilo tudi nastaviti pozicijo mize, in sicer vzporedno glede na lego tirnice robota. Uporabili smo merilno uro, ki smo jo namestili na frezalo. Nato smo robota vodili ob robu mize in opazovali odstopanja. Mizo smo izravnavali toliko časa, da smo prišli do odstopanja zgolj 0,20 mm.



Slika 27: Vodna tehtnica



Slika 28: Merilna ura

10 PRAKTIČNA RAZISKAVA TEHNOLOGIJE

10.1 UPORABA ČELNEGA IN RADIUSNEGA REZKARJA

Material smo poskušali obdelovati z različnima rezkarjema in primerjali obdelave. Radiusni rezkar je boljši za odrezovanje neravnih površin. Oblika, ki jo odrezuje, je polkrožna. Čelni rezkar nam zagotavlja ravno odrezovanje in s tem doseganje pravokotnih oblik.



Slika 29: Čelni in radiusni rezkar

S slike je razvidno, da s čelnim rezkarjem odrezujemo večje ravne površine, utore, luknje in prave kote. Za neravne površine je bolje uporabljati radiusni rezkar, saj je dostopnejši in z njim naredimo lepše prehode. Za obdelavo testnih obdelovancev smo uporabili čelni rezkar, saj z njim naredimo bolj ravne reze. Pri izdelavi 3D-modelov pa smo uporabili radiusni rezkar. Obdelave izvedemo vedno najprej v grobem režimu z večjimi premeri rezkarjev, nato pa še v finem režimu z manjšimi premeri rezkarjev.

10.2 VPLIV ŠTEVILA VRTLJAJEV FREZALA NA KVALITETO ODREZOVANJA

Izbrali smo tri različne materiale: les, stiropor in plastiko. Na njih smo rezkali s tremi različnimi števili vrtljajev: 2500, 5000 in 10000 vrtljajev na minuto. Opazovali smo razlike pri kakovosti rezkanja.

10.2.1 Les

Glede na rezultate ugotavljamo, da moramo za les uporabljati največje število vrtljajev, saj le tako dosegamo kakovostno rezkanje. Pri hitrosti pomika 0,1 m/s je prišlo do cepljenja lesa. To smo zmanjšali s povečanjem števila vrtljajev. Les je tako najmanj primeren material za rezkanje.

Tabela 8: Les

Les		
Hitrost pomika	0,1 m/s	Št. primera
Štev. vrtljajev	2500	6
	5000	7
	10000	8



Slika 30: Testiranje števila vrtljajev rezkarja na lesu

10.2.2 Plastika

Pri plastiki smo uporabili hitrost 0,005 m/s, saj so se že pri hitrosti 0.01 m/s pojavile prevelike sile, ki so skoraj izpele obdelovanec. Zato smo se odločili za manjšo hitrost, saj je pomembna varnost. Na plastični obdelovanec smo enako testirali vpliv hitrosti frezala glede na isto hitrost pomika robota: 2500, 5000, in 10000 vrtljajev na minuto. Kakovost pri rezkanju je najboljša pri 2500 vrtljajih na minuto, kar nas je zelo presenetilo.

Tabela 9: Plastika

Plastika		
Hitrost pomika	0,1 m/s	Št. primera
Štev. vrtljajev	2500	1
	5000	2
	10000	3



Slika 31: Testiranje števila vrtljajev na plastiki

10.2.3 Stiropor velike gostote

Stiropor je zelo mehak material, vendar zato nič manj ugoden za rezkanje. Težava, ki se je pojavljala pri tem materialu, je vpenjanje, saj je prišlo do stisnjenja materiala, kar pa smo odpravili z vpenjanjem čez večjo površino obdelovanca. Pri 1250 in 2500 obratih na minuto je prišlo do prevelikega razmerja med številom obratov rezkarja in pomikom robota, zato ni prišlo do čistega odrezovanja. To težavo smo odpravili s povečanjem števila obratov na 5000 in nato na 10000 obratov na minuto.

Tabela 10: Stiropor

Stiropor		
Hitrost pomika	0,1 m/s	Št. primera
Štev. vrtljajev	1250	1
	2500	2
	5000	3
	10000	4












Slika 32: Testiranje števila vrtljajev rezkarja na stiroporu

10.3 HITROST POMIKA ROBOTA VPLIVA NA KAKOVOST ODREZOVANJA

Za primer smo vzeli tri različne hitrosti pomika robota: 0.01, 0.05 in 0.1 m/s ter pri 2500 obratih na minuto. Vsak rez smo opravili z globino 4 mm, kar je maksimalna globina odzemanja. Pri lesu smo lahko odrezovali s hitrostjo 0,1 m/s, pri plastiki z 0,05 m/s, pri stiroporu pa smo zaradi premajhne trdote lahko odrezovali samo z 0,01m/s.

Tabela 11: Hitrosti pomika

Hitrost pomika/material	Les	Plastika	Stiropor
0,01 m/s			
0,05 m/s			
0,1 m/s			

10.4 REZKANJE GLEDE NA POZICIJO OBDELOVANCA

Za naslednje raziskovanje smo preučili, kako se kakovost rezkanja razlikuje glede na pozicijo obdelovanca na mizi. Izbrali smo si sedem primerov, ki smo jih razporedili po mizi. Obdelovanec smo projektirali v programu ProEngineer. Zaradi najboljših možnosti opazovanja rezkanja smo narisali piramido z utorom na vrhu.



Slika 33: 3D-model obdelovanca za testiranje

Iz tabele je razvidno, da je najboljša pozicija obdelovanca L4, saj se pri njej največkrat pojavi najmanjše odstopanje od želene vrednosti.

L1 (X 1303, Y -1078, Z 711)

L2 (X 1843, Y -1079, Z 711)

L3 (X 1648, Y -717, Z 711)

L4 (X 1303, Y -329, Z 711)

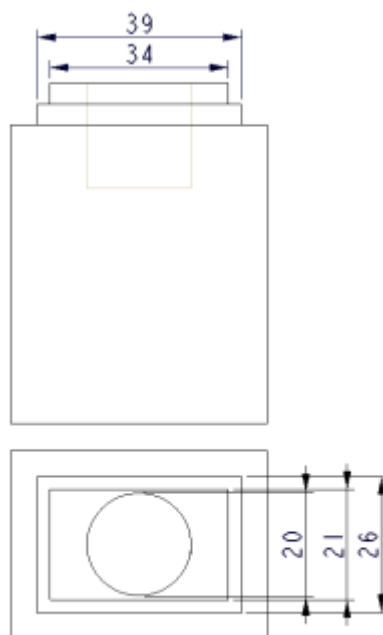
L5 (X 1404, Y 431, Z 711)

L6 (X 1941, Y 428, Z 711)

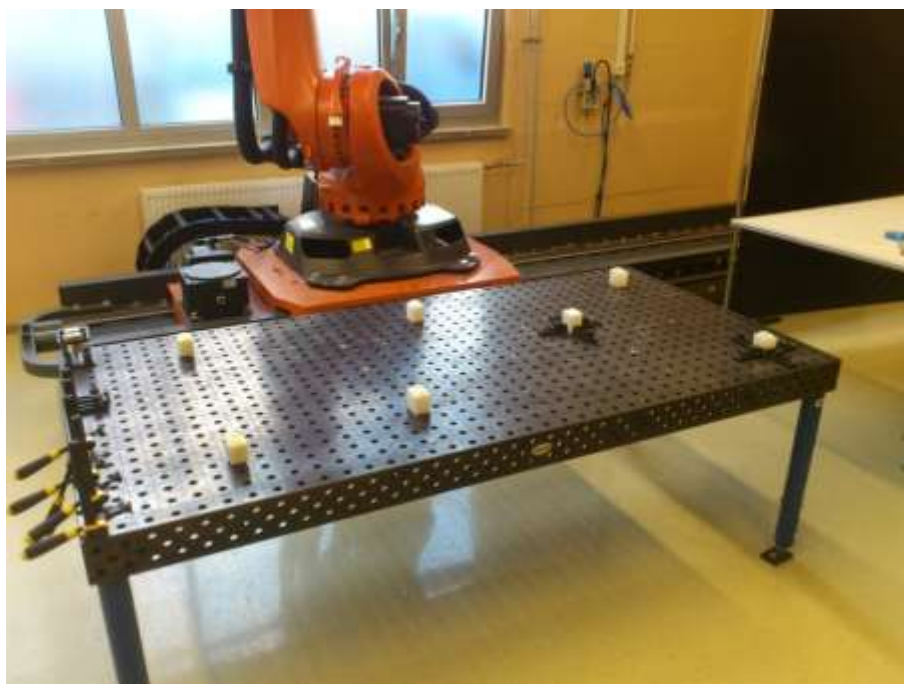
L7 (X 1554, Y 23, Z 711)

Tabela 12: Mere obdelovancev

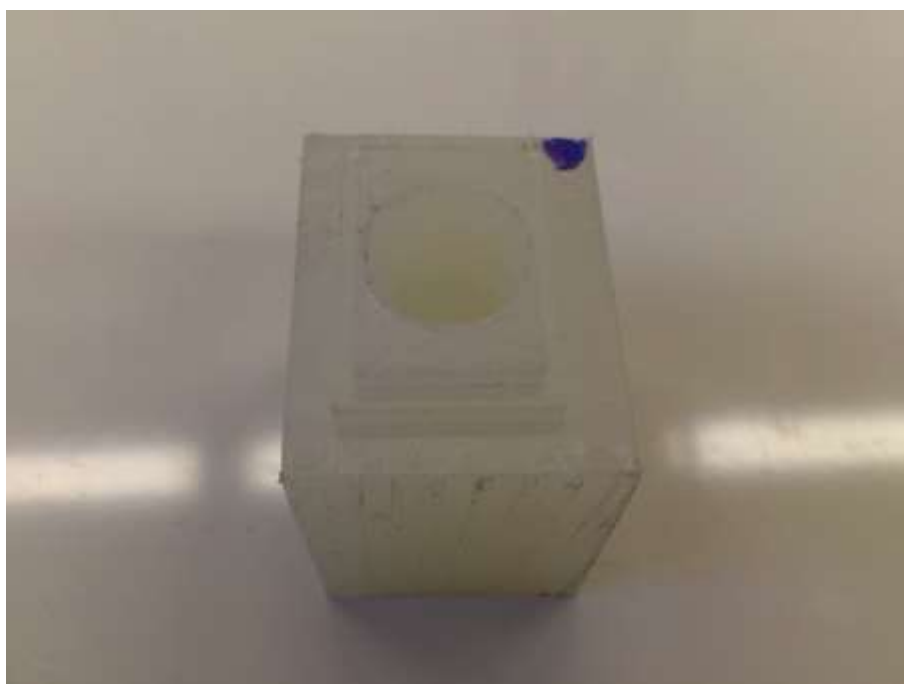
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	X
1	21,63	21,70	21,61	21,47	21,17	21,61	21,08	21,00
2	25,91	25,78	25,79	25,94	26,47	26,51	26,40	26,00
3	33,98	33,98	34,02	34,00	34,13	34,05	34,03	34,00
4	39,43	39,05	39,19	39,09	39,42	39,06	39,35	39,00
5	20,10	20,25	20,74	20,10	20,25	20,33	20,12	20,00



Slika 34: Delovni načrt piramide za testiranje



Slika 35: Postavitev obdelovanca po mizi



Slika 36: Obdelovanec

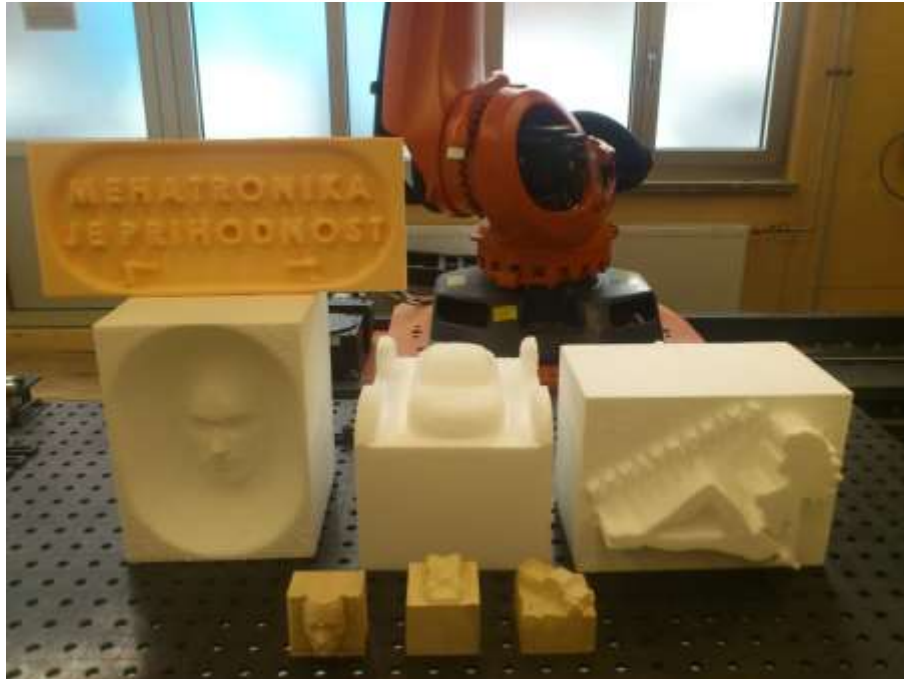


Slika 37: Najprimernejša pozicija za obdelovanje

Na sliki 35 vidimo optimalno pozicijo obdelave na delovni mizi. Upoštevati pa moramo, da je optimalna obdelava lahko pozicionirana v drugi točki v delovnem prostoru. Naša raziskava je bila osredotočena samo na delovno mizo.

11 IZDELKI

Na izdelkih, ki smo jih izdelali, smo se učili in spoznavali prednosti in slabosti robotskega odzemanja materiala. Najprej smo začeli z manjšimi obdelovanci iz lesa. Ko pa smo zadevo že bolj obvladali, smo prešli na večje obdelovance in različne materiale.



Slika 38: Izdelki

Na sliki vidimo obdelovance iz različnih materialov. Na podlagi spoznanj smo znanje uporabili za njihovo izdelavo.

12 ANALIZA EKONOMIČNOSTI

Preučili smo osnovno analizo ekonomičnosti. Naša raziskava temelji na razliki med ceno CNC-obdelovalnega stroja ter robota za odzemanje materiala. Uporabili smo povprečne vrednosti. Upoštevati moramo več dejavnikov, ki vplivajo na analizo. S CNC-obdelovalnimi stroji je rezkanje natančnejše, vendar smo omejeni s prostorom. Za tehnologijo odzemanja materiala z robotom je prednost večji delovni prostor, saj lahko obdelujemo zelo velike obdelovance zaradi dodatne tirnice pri kompromisu, da obdelava ne dosega natančnosti CNC-strojev. Celotna investicija v robotsko rezkanje je približno 90.000 €, kar je veliko manj kot pri CNC-obdelovalnih strojih, ki v povprečju dosegajo ceno od 150.000 € do 200.000 €. Za podjetja, ki potrebujejo večji delovni prostor obdelave pri manjši natančnosti, je ta investicija pravilna in ekonomsko upravičena.

Tabela 13: Analiza ekonomičnosti

Robot KUKA KR 150 R2700	46.244 €
Linearna os KUKA KL 1500-3	27.764 €
Rezkalna enota s frekvenčnikom	12.210 €
SKUPAJ	86.218 €
CNC stroj	150.000–200.000 €

13 UGOTOVITVE

Ob koncu raziskovalne naloge smo prišli do naslednjih ugotovitev:

Tabela 14: Teze

Teza	Potrditev	Utemeljitev
Vrtljaji frezala vplivajo na kakovost odrezovanja.		Opazili smo bistveno razliko, saj se je pri večjih vrtljajih kakovost povečala.
Hitrost pomika robota vpliva na kakovost odrezovanja.		S povečanjem hitrosti pomika robota se je kakovost odrezovanja zmanjšala.
Tehnologija odvzemanja materiala z robotom je ekonomsko upravičena.		Odvzemanja materiala z robotom je po naših izračunih ekonomsko upravičeno, saj doseže bistveno manjšo ceno od podobnih CNC-strojev.
Robotska obdelava poteka enakomerno in enako natančno v celotnem delovnem prostoru robota.		Pri preizkusu s sedmimi različnimi pozicijami obdelovanja je prišlo do precejšnjih odstopanj.

Kot lahko vidimo na zgornji tabeli, smo potrdili tri teze. Ugotovili smo, da vrtljaji frezala in hitrost pomika vplivajo na kakovost odrezovanja in da je tehnologija odvzemanja materiala ekonomsko upravičena. Že na podlagi teoretičnih raziskav smo vnaprej sklepali, da nam robotska obdelava ne omogoča enakomerne natančnosti obdelave zaradi neenakomerne gibljivosti in elastičnosti mehanizma v delovnem prostoru.

14 ZAKLJUČEK

Preučili smo tehnologijo odzemanja materiala z robotom. Pri tem smo se srečevali z različnimi problemi. Ugotovili smo, da elastičnost robota dejansko vpliva na obdelavo, problematiko pa nam predstavlja tudi njegova gibljivost. Ugotovili smo, da je tehnologija na veliko področjih uporabna, pri obdelavah, kjer potrebujemo minimalna odstopanja (orodja za avtomobilsko industrijo), pa je tehnologija odzemanja materiala z robotom neuporabna, zato je še vedno boljše uporabljati CNC-stroje, saj dosegajo večjo natančnost. Poleg tega pa smo omejeni s trdoto materiala. Večja kot je trdota, večje so nenatančnosti. Omeniti je potrebno, da je gibljivost robota pomembna predvsem pri 5-osni obdelavi.

Prišli smo do nekaterih rezultatov, ki so nas presenetili, ampak prav to je bil namen naše raziskave. Pri raziskovanju smo morali uporabiti vse naše znanje, ki smo ga pridobili v našem izobraževanju in ga še dodatno nadgraditi. Spoznali smo moč ekipnega dela, saj smo si naloge vedno porazdelili in tako najučinkoviteje prišli do zaključka. Videli smo, koliko truda, volje in časa je potrebno vložiti v tovrstno delo.

15 ZAHVALA

Največje zahvale za uspeh naše raziskovalne naloge sta deležna naša mentorja, g. Matej Veber in g. Andro Glamnik, ki sta nas po pravi poti vodila skozi projekt in do uspeha. Vlivala sta nam motivacijo, ko smo se srečevali s težavami. Njuno obsežno strokovno znanje nam je pomagalo v problematičnih situacijah. Zahvaliti se moramo tudi Brigiti Renner, prof., za lektoriranje našega raziskovalnega dela. Zahvala gre tudi vsem ostalim strokovnim delavcem Srednje šole za strojništvo, mehatroniko in medije, ki so tako ali drugače prispevali k nastanku naše raziskovalne naloge.

16 VIRI

- [1] GLAMNIK, A. in VEBER, M.: Nadaljevalni seminar robotika, 2012.
- [2] GLAMNIK, A in VEBER, M. Robotika. Ljubljana: Munus 2, 2012.
- [3] KR C4 PROFINET 2.0, dokumentacija, KUKA Roboter GmbH, 2011.
- [4] MASTERCAM X Vodič po programu / [prevedel Primož Kržič]. – Ljubljana : A-CAM, 2005.
- [5] Mehatronika. Ljubljana: Založba Pasadena, 2009.
- [6] VEBER, M. , Tehnologija odvzemanja materialov- definicija problema; individualno razskovalno delo, Maribor, december 2012.
- [7] Odsesavanje Nederman (online). 2011 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.nederman.com/>
- [8] Področja uporabe robotskega rezkanja (online). 2008-2011 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.3d-studio.si/storitve/3d-robotsko-rezanje-velikih-formatov>
- [9] Programsko orodje Mastercam (online). 2013 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.mastercam.com/>
- [10] Rezkar HSD (online). 2012 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu: <http://www.hsdusa.com/>
- [11] Robot KUKA KR 150 R2700 (online). 2013 (citirano 22. 12. 2012). Dostopno na naslovu: <http://www.kuka-robotics.com>

[12] Tirnica KUKA KL 1500-3 (online). 2013 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu:
<http://www.kuka-robotics.com/germany/de/products/>

[13] Varnostni skener SICK S3000 (online). 2013 (citirano 5. 1. 2013). Dostopno na naslovu:
<http://www.sick.com/group/EN/home/Pages/Homepage1.aspx>