

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez TRATAR

**UPORABA ROBOTA ZA IZDELAVO
PROSTORSKIH POVRŠIN**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Janez TRATAR

**UPORABA ROBOTA ZA IZDELAVO
PROSTORSKIH POVRŠIN**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

ROBOT USE FOR MILLING SPATIAL SURFACES

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo v laboratoriju Katedre za mehanske in obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo, Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Bojana Bučarja in recenzentko doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Mentor: prof. dr. Bojan Bučar

Recenzentka: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Janez Tratar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 621.91
KG	robot/rezkanje/aplikacija
AV	TRATAR, Janez
SA	BUČAR, Bojan (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2010
IN	UPORABA ROBOTA ZA IZDELAVO PROSTORSKIH POVRŠIN
TD	Diplomsko delo (univerzitetni program)
OP	VII, 44 str., 4 pregl., 36 sl., 0 pril., 12 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Predstavili smo postopek in praktično uporabo industrijskega 6-osnega robota <i>KUKA KR 150 L150</i> za izdelavo prostorskih površin, natančneje za izdelavo ladijskega trupa. Pri tem smo uporabili programsko opremo <i>SolidWorks</i> in <i>SolidCAM</i> ter <i>KUKA.Sim Pro</i> in <i>KUKA.CAMRob</i>. Za surovino pri rezkanju smo uporabili polistirensko peno, znano tudi pod imenom »stirodur«. Med procesom simulacije rezkanja se je pokazala okornost programske opreme, saj je ta zvrst obdelave še v povojih. Dokazali smo, da je možno z robotom izrezkati poljubne prostorske površine. Predvidevamo, da se bo z izboljšanjem prilagodljivosti programske opreme tovrstna obdelava mehkejših kovin, kompozitov in lesa v prihodnosti še povečala.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 621.91
CX	robot/milling/application
AU	TRATAR, Janez
AA	BUČAR, Bojan (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2010
TI	ROBOT USE FOR MILLING SPATIAL SURFACES
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	VII, 44 p., 4 tab., 36 fig., 0 ann., 12 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AI	We have presented a practical procedure of milling spatial surfaces with 6-axis industrial robot KUKA KR 150 L150 for the production of sail hulls in particular. We used software as SolidWorks, SolidCAM and KUKA.SimPro, KUKA.CAMRob. Polystyrene foam material, also known as "stirodur", was used as stock model. During the milling process, simulation showed the clumsiness of software, since this type of machining is still to be developed. We proved that the robot can mill any kind of spatial surface and assume that by improving the flexibility of the software, the processing of softer metals, composites and wood could increase in future.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD	1
1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	3
1.3 CILJI NALOGE	3
1.4 DELOVNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	4
3 MATERIALI IN METODE	5
3.1. PREDSTAVITEV ROBOTA	5
3.1.1 Koordinatni sistemi in lega robota.....	7
3.1.2 Začetni in nadaljnji zagon	9
3.1.3 Izbirno stikalo obratovalnih programov	11
3.1.4 Delovno, varno območje in območje varnosti.....	12
3.2 ZASNOVA OBDELOVANCA.....	13
3.2.1 Simulacija.....	13
3.2.2 SolidWorks.....	13
3.2.3 KUKA.Sim Pro in KUKA.CAMRob	14
3.2.3 CNC program ali G koda.....	15
3.3 IDEJNA ZASNOVA	16
3.4 RISANJE V PROGRAMU SolidWorks	17
3.5 OBDELAVA V PROGRAMU SolidCAM	23
3.6 Obdelava podatkov v KUKA.Sim.Pro in KUKA.CAMRob.....	31
4 REZKANJE	38
5 REZULTATI IN SKLEPI	40
6 POVZETEK.....	41
7 VIRI	43
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Preglednica elementov na sliki 1.	7
Preglednica 2: Opis delovnega prostora na sliki 4.	10
Preglednica 3: Pregled obratovalnih načinov na sliki 5.	11
Preglednica 4: Preglednica izbire in lastnosti obratovalnih programov.	12

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Primer robotskega sistema. (KUKA Robot Group, 2008)	7
Slika 2: Koordinatna sistema robota.....	8
Slika 3: Prikaz vseh šestih osi in robota KUKA. (KUKA Robot Group, 2008)	9
Slika 4: Primer delovnega območja robota, osi A1. (KUKA Robot Group, 2008).....	10
Slika 5: Izbira vrst obratovanja na ročni učilni napravi. (KUKA Robot Group, 2008)	11
Slika 6: Programsko okolje KUKA.Sim.Pro z elementi.	15
Slika 7: Narisan model jadrnice v programskem okolju <i>SolidWorks</i>	16
Slika 8: Skelet boka plovila.	18
Slika 9: Površina boka jadrnice.	18
Slika 10: Površina nadgradnje.	19
Slika 11: Narisani kvader pred rezanjem s površino boka trupa.	19
Slika 12: Odrezani spodnji del in še ne odrezana nadgradnja.	20
Slika 13: Odrezovanje platforme.	21
Slika 14: Zaokroževanje robov platforme.	21
Slika 15: Preslikava desne polovice prek desne ravnine.	22
Slika 16: Narejen model trupa.	22
Slika 17: Izbira ciljnega modela.	24
Slika 18: Pogovorno okno triosnega rezkanja.	25
Slika 19: Simulacija <i>SolidVerify</i> triosnega rezkanja.....	26
Slika 20: Simulacija <i>HostCAD</i> triosnega rezkanja.	26
Slika 21: Potek petosnega rezkanja trupa v simulaciji <i>SolidVerify</i>	27
Slika 22: Pet osno rezkanje nadgradnje simulirano s <i>SolidVerify</i>	28
Slika 23: Rezkanje platforme v <i>Solid Verify</i>	29
Slika 24: Rezkanje zaobljenih robov, <i>SolidVerify</i>	30
Slika 25: Barvna upodobitev obdelanih površin v simulaciji <i>SolidVerify</i>	30
Slika 26: Robot v osnovni poziciji v programskem okolju <i>KUKA.Sim Pro</i>	31
Slika 27: Pogovorno okno za vnos izhodišča baze.....	32
Slika 28: Pogovorno okno za določitev izhodišča orodij.	33
Slika 29: Izbira orodja in določevanje parametrov.....	34
Slika 30: Izbira strategije rezkanja in zasuka osi.....	35
Slika 31: Pogovorno okno testiranja dosega robota.	35
Slika 32: Simulacija procesa prve G kode.....	36
Slika 33: Shranjevanje in pretvorba v KRL.....	37
Slika 35: Robot na tirnicah pred rezkanjem.	38
Slika 36: Robot, uporabljen pri aplikaciji rezkanja.	41

1 UVOD

1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV

Beseda robot se je prvič pojavila v znanstveno fantastični drami *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*, ki jo je leta 1921 napisal Karel Capek. Sama beseda (*robota*) v češčini pomeni prisilno, težko delo. V drami pa je bila uporabljena za opis elektronskih služabnikov, ki so se po tem, ko so jim dodelili svobodno voljo, uprli lastnikom.

Za začetek industrijske robotike se smatra leto 1954 z vlogo patenta Georgea Devola. Kasneje je George skupaj z Josephom Engelbergerjem ustanovil prvo podjetje za proizvodnjo robotov *Unimation*. Že leta 1961 so v podjetju *General Motors* uspešno postavili prvo robotsko celico za izvlek ulitkov. Temu so sledile še uspešne aplikacije za točkovno varjenje avtomobilskih karoserij.

Prvi antropomorfn robot je leta 1969 na Stanfordski univerzi izumil Victor Scheinman. To je bil prvi šestosni robot, ki je bil sposoben opravljanja zahtevnejših aplikacij varjenja in sestavljanja. Scheinman je kasneje naredil še drugo robotsko roko *MIT*. Načrte je prodal *Unimationu*, ki je s pomočjo *General Motorsa* izdelal robota *PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly)*.

Leta 1973 je podjetje *ASEA* (današnji *ABB*) predstavilo prvi mikroračunalniško krmiljen in popolnoma elektrificiran industrijski robot (*IRB-6*), ki je bil prvi sposoben kontinuiranega gibanja, ki je predpogoj za linijsko varjenje in obdelovalne tehnologije. Prav tako je *KUKA* leta 1973 na trg med prvimi plasirala robota *FAMULUS*, ki je imel šest elektromehanično gnanih osi.

Zaradi zahtev trga in močne konkurence, je do danes obstalo le malo podjetij izven Japonske. Med najbolj znane vsekakor spadata *ABB* in *KUKA*.

Uporaba robotov je s stališča rezkanja zaradi manjše togosti (za faktor 20-50 krat manjša od običajnih strojev za rezkanje) omejena, a je za potrebe obdelovanja lesa in lesnih kompozitov, plastičnih mas in nekaterih barvnih kovin zadostna. Samo rezkanje s šest ali večosnimi roboti je dandanes še precej v povojih. Ponekod je programska oprema nekoliko nedodelana, vendar menimo, da je prihodnost v obdelovanju z roboti zagotovljena. V primerjavi s klasičnimi petosnimi obdelovalnimi centri imamo pri robotu na razpolago več osi (odvisno od tipa robota), kar nam ponuja dodatne možnosti in prednosti pri obdelavi.

V Sloveniji so se prvi veliki premiki začeli z letom 1985, ko je bil v slovensko industrijo uveden prvi robotski manipulator. Bil je sferični robot ameriškega proizvajalca *Unimate*, ki so ga uporabljali za točkovno varjenje. Na univerzi in inštitutih so si kasneje zadali nalogo razvijati in proizvesti lastne robotske mehanizme. Med pomembnejšimi projekti sta bila cilindrični robot *ROKI* in antropomorfni robot *GORO*, ki pa so kasneje zamrli.

Sčasoma je število robotov v slovenskih podjetjih raslo. V avtomobilski industriji so poleg robotov za točkovno varjenje uvedli robote za barvanje z pršenjem, brušenje, montažo ipd., pojavili so se roboti v farmacevtski in prehrambeni industriji, dandanes pa jih srečamo že domala v vsaki večji proizvodnji.

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Rezkanje s pomočjo robota se dokaj redko pojavlja v industriji. Bolj pogoste aplikacije so varjenje, prenašanje težkih bremen, vstavljanje komponent itd.. Uporaba robotov v namene rezkanja se pojavlja predvsem pri hitrem izdelovanju prototipov. Razlogov za neuporabo pri rezkanju je več: dodelani petosni obdelovalni centri (tako z vidika programske, kot tudi strojne opreme), nedodelana programska oprema robotov, manjša togost robota v primerjavi s klasičnimi obdelovalnimi centri ipd. A vseeno imajo roboti tudi prednosti, ki so zanimive pri aplikacijah rezkanja; več osi in s tem veliko večjo fleksibilnost in možnosti obdelave, nižjo ceno v primerjavi z klasičnimi obdelovalnimi centri, so manjši za enako obdelovalno površino kot primerljivi petosni obdelovalni centri ipd. Na podlagi teh dejstev smo se odločili, da izpeljemo aplikacijo rezkanja z robotom *KUKA KR 150 L150* in s tem pokažemo prednosti, ki jih nudi tovrstna tehnika obdelave.

1.3 CILJI NALOGE

Za nalogo smo si zadali izrezkati model trupa jadrnice narisane v programu *SolidWorks* in tako praktično prikazati uporabnost robota za izdelavo prostorskih površin.

1.4 DELOVNE HIPOTEZE

Z robotom je moč izrezkati poljubne konture, katerih kakovost izdelave je primerljiva z izdelanimi na petosnikih, s tem da imamo več obdelovalnih osi in tako tudi možnosti obdelave. Prav tako je sama robotska strojna oprema cenejša in bolj prilagodljiva.

2 PREGLED OBJAV

Objav na področju rezkanja z roboti sicer ni tako malo, a v veliki večini obravnavajo izboljšave v matematičnih modelih in programski opremi, kar pa ni predmet te diplomske naloge. Uporaba tehnike rezkanja je največja pri hitrem izdelovanju prototipov (*rapid prototyping*), zlasti pri avtomobilski in navtični industriji, a konkretnih objav na to temo skorajda ni.

Y.H. Chen in Y.N. Hu (1999) sta v članku *Implementation of a Robot System for Sculptured Surface Cutting* obravnavala rezkanje z robotom v primerjavi s konvencionalnimi stroji. Ugotovila sta, da se v veliki večini delovne operacije robota ne razlikujejo od operacij na ostalih obdelovalnih strojih. Kot pišeta, se konvencionalni CNC stroji za obdelavo soočajo z dvema izzivoma. Prvi je, kako uspešno zmanjšati čas proizvodnje in tudi stroške, ki pri produkciji nastanejo. Drugi izziv pa je, kako povečati fleksibilnost maloserijske proizvodnje in kako ekonomsko učinkovito ustvariti raznolikost proizvodov. Kot rešitev za te izzive sta predstavila robotsko obdelavo, saj je hitra in zelo prilagodljiva. Poudarila sta predvsem izdelavo prototipov, še posebej kompleksnejših in večjih, pri tem, da roboti zasedajo približno 40 % manj prostora kot običajni CNC stroji. Kot večjo pomanjkljivost obdelave z robotom sta avtorja omenila manjšo togost, ki je posledica kombinacije členjenosti in dolžine robota. Razvoj programske opreme je v razmahu, saj podjetja vedno bolj prepoznavajo prednosti robotske obdelave, še posebno pri izdelavi prototipov.

3 MATERIALI IN METODE

Uporabljene naprave in programska oprema:

- Robot *KR 150 L150/3*.
- Robotsko krmilje.
- Agregat *ELTE TMA 6 17/4 V 350 HZ 100/335 Kw 4,0*.
- Konusno vpenjalo *LEITZ HSK- F63*.
- Programska oprema (*Solidworks* in *SolidCAM*, *KUKA.SimPro* in *KUKA.CAMRob*).
- Ravni rezkar *LEITZ*.
- Polkrožni rezkar *LEITZ*.
- Obdelovalna miza s prijemali (narejena na Katedri za mehanske in Obdelovalne tehnologije, na oddelku za lesarstvo).
- Tirnice/ zunanja os (robot samo pritrjen)

3.1. PREDSTAVITEV ROBOTA

Lastnosti robota oziroma robotskega manipulatorja (po standardu *ISO 8373*) so:

- Je povratnozančno voden.
- Reprogramibilnost.
- Večnamenskost.
- Je fiksni ali mobilni.
- Programibilnost v treh ali več prostorskih stopnjah.

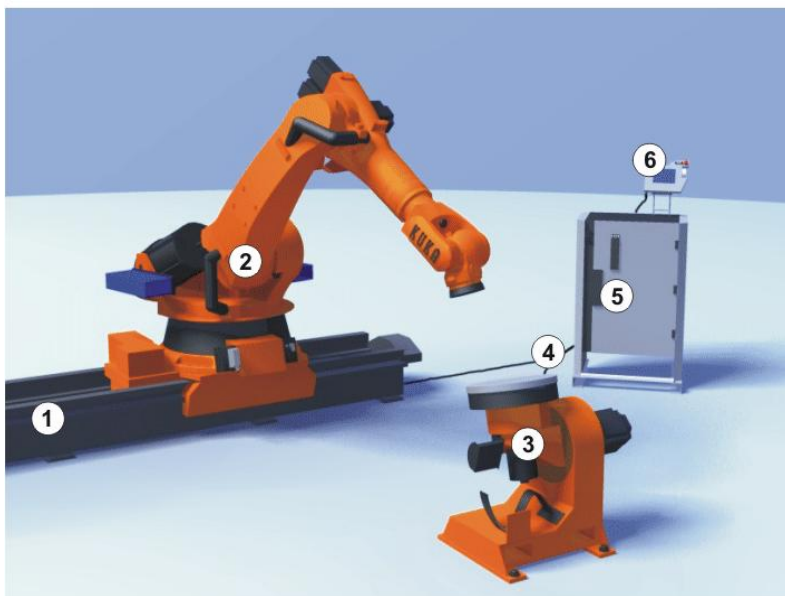
Za operacijo rezkanja smo uporabili robota *KUKA KR 150-L150* (v nadaljevanju robot), ki je predviden za uporabo v industrijske namene. Je šestosni industrijski antropomorfni robot z nosilnostjo 150 kilogramov. Beseda antropomorfen pomeni podoben človeku, v tem primeru človeški roki.

Robot je predviden za izvajanje nekaj industrijskih aplikacije med katere spadajo vse oblike varjenja (MIG, MAG, točkovno in lasersko), manipulacija z izdelki, embalažo, sestavljanje izdelkov, nanašanje lepil ipd. in za aplikacije rezkanja. Robot se lahko pritrdi na tla ali strop. Prav tako ga je mogoče pritrditi na zunanjo os (»tirnice«) in s tem še povečati doseg in s tem možnosti obdelave.

Vsi gibljivi deli so pokriti in zaščiteni pred morebitnimi tujki. Osi so gnane z brezkrtačnimi servomotorji, z zaščito proti preobremenitvi, ki skorajda ne potrebujejo sprotnega vzdrževanja. Prva menjava lubrikanta (olja) je predvidena šele po najmanj 20 000 urah obratovanja. Predvidena življenjska doba je 10 do 15 let.

Sestava robota je enostavna in število elementov v robotu je močno omejeno, prav tako je mogoče robota hitro zamenjati z drugim, brez velikih programskih popravkov. To vse omogoča robotu da je hiter, zanesljiv in predvsem nezahteven z vidika vzdrževanja. Potrebuje zelo malo prostora in je lahko blizu obdelovancu, seveda odvisno od geometrije obdelovanca.

Vsak robot je opremljen z kontrolerjem, katerega elektronika se nahaja v omarici. Sam robot je povezan s energetske in informacijske omarice. Lahko ga krmilimo z ročno učilno napravo, oziroma njegovo delovanje programiramo v navideznem okolju.



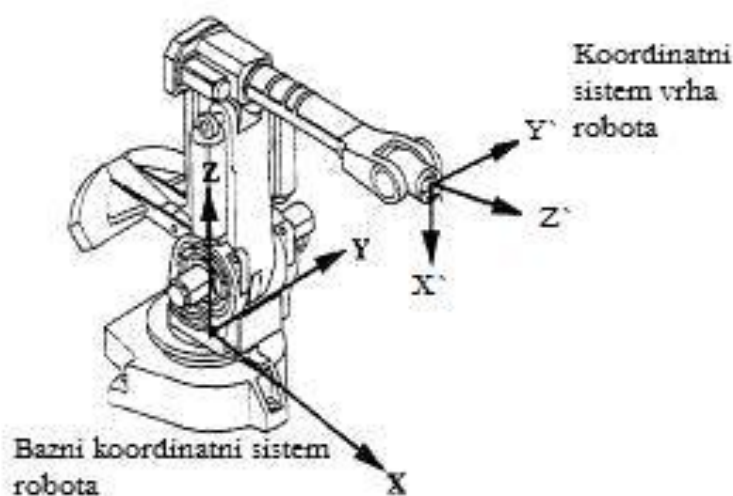
Slika 1: Primer robotskega sistema. (KUKA Robot Group, 2008)

Preglednica 1: Preglednica elementov na sliki 1.

Številka	Element
1	Linearna enota (zunanja os)
2	Robot
3	Pozicioner
4	Povezovalni vodniki
5	Robotsko krmilje
6	Ročna naprava za programiranje

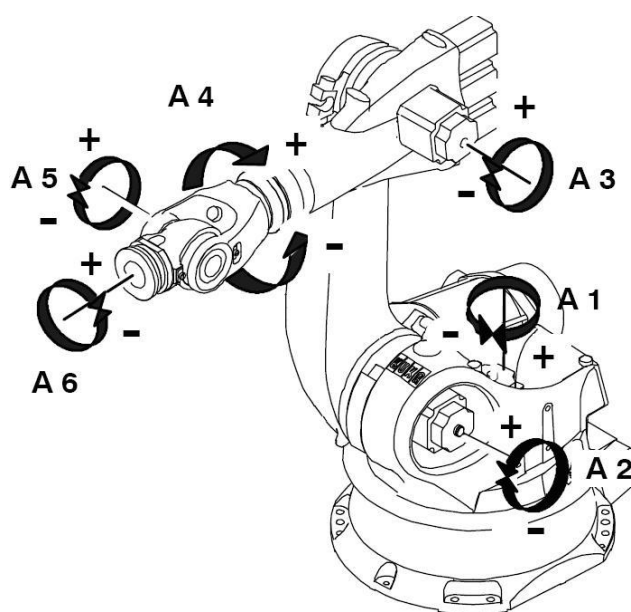
3.1.1 Koordinatni sistemi in lega robota

Našemu robotu pripada šest prostorskih stopenj (DOF). Koti zasukov v rotacijskih sklepih predstavljajo notranji prostor spremenljivk. Število spremenljivk je enako številu prostorskih stopenj in številu sklepov robota (slika 3). Lego lahko tako povsem opišemo z notranjimi spremenljivkami sklepov. Poznavanje le-teh je nujno potrebno za uspešno regulacijo robota.



Slika 2: Koordinatna sistema robota.

Na sliki 2 sta označena osnovni ali bazni koordinatni sistem (X, Y, Z) in koordinatni sistem vrha robota (X', Y', Z'). Osnovni koordinatni sistem je največkrat tudi zunanji ali referenčni koordinatni sistem. Nalogo robotu podajamo v zunanjem koordinatnem sistemu, kar pomeni, da podamo lego koordinatnega sistema vrha robota glede na osnovni referenčni koordinatni sistem. Razsežnost zunanjega prostora je enaka številu zunanjih koordinat in je v splošnem enaka šest. Pozicijo vrha robota izrazimo s tremi komponentami vektorja, ki je povezan z izhodiščem osnovnega koordinatnega sistema in izhodiščem koordinatnega sistema na vrhu robota. Orientacijo telesa v prostoru tako lahko podamo najlažje s tremi koti med posameznimi pari osi koordinatnega sistema vrha robota in baznega koordinatnega sistema. Računanje notranjih spremenljivk robota poteka s preračunavanjem homogenih transformacijskih matrik.



Slika 3: Prikaz vseh šestih osi in robota KUKA. (KUKA Robot Group, 2008)

3.1.2 Začetni in nadaljnji zagon

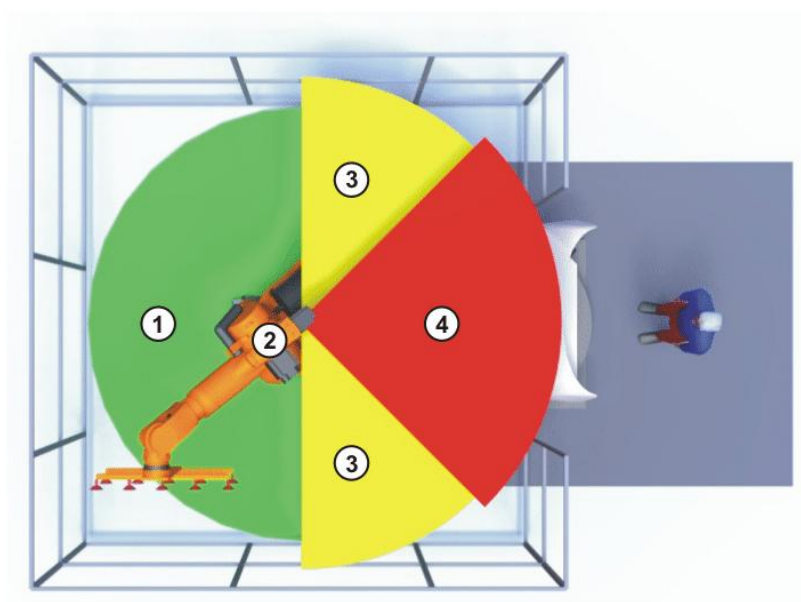
Pred prvim zagonom je potrebno priprave in naprave preveriti, ali je vse pripravljeno na varno obratovanje in če se lahko zaznajo morebitne poškodbe. Pri preverjanju je potrebno upoštevati vse državne in regionalne predpise o varstvu pri delu. Preverimo tudi vse tokokroge.

Pred začetnim in nadaljnjim zagonom je potrebno narediti splošno kontrolo:

- Zahtevane varnostne naprave so pravilno nameščene in delujejo.
- Povezovalni kabli so pravilno priključeni in stikala zapahnjena.
- Ali je robotski sistem v skladu z navedbami in dokumentacijo pravilno postavljen in pritrjen.
- Na robotskem sistemu ni tujkov ali defektnih, razrahljanih, nepritrjenih komponent.
- Priključne vrednosti robotskega sistema so skladne s krajevno omrežno napetostjo in obliko omrežja.
- Zaščitni prevodnik in vod za izravnavo potenciala sta zadostno opremljena in pravilno priključena.

Preveriti varnostno vezje:

- Ugotoviti, ali zasilni stop na ročni učilni napravi pravilno deluje.
- Če robot obratuje v testnem načinu, preverimo delovanje naprave za potrditev.
- V avtomatskem načinu obratovanja preverimo zaščito upravljalca.
- Preverimo, ali so kvalifikacijski vhodi zaprti.



Slika 4: Primer delovnega območja robota, osi A1. (KUKA Robot Group, 2008)

Preglednica 2: Opis delovnega prostora na sliki 4.

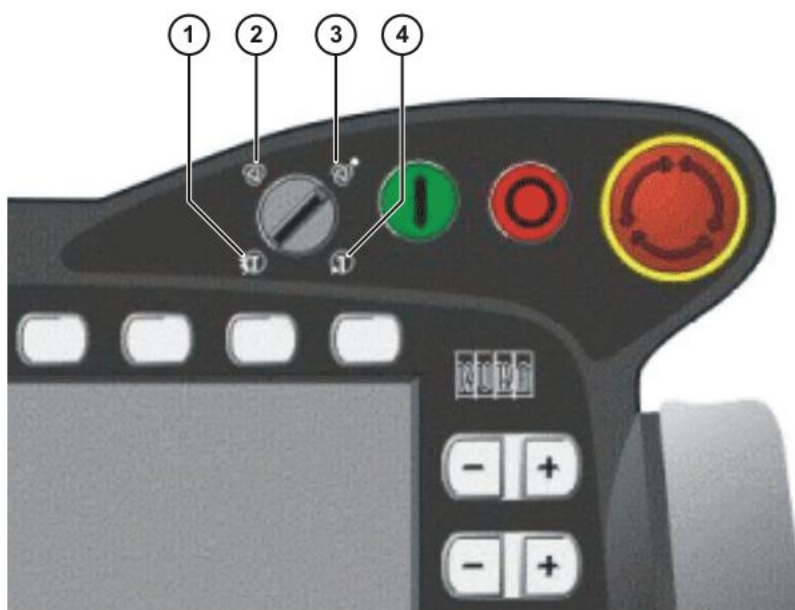
Številka	Opis delovnega prostora
1	Delovno območje
2	Robot
3	Pot zaustavitve
4	Varno območje

3.1.3 Izbirno stikalo obratovalnih programov

Robotski sistem lahko obratuje s sledečimi obratovalnimi programi
(slika 5, preglednica 3):

Preglednica 3: Pregled obratovalnih načinov na sliki 5.

Številka	Obratovalni program
1	<i>T2</i> (Ročno visoka hitrost)
2	<i>AUT</i> (Avtomatika)
3	<i>AUT EXT</i> (Avtomatika eksterno)
4	<i>T1</i> (Ročno znižana hitrost)



Slika 5: Izbira vrst obratovanja na ročni učilni napravi. (KUKA Robot Group, 2008)

Preglednica 4: Preglednica izbire in lastnosti obratovalnih programov.

Obratovalni način	Uporaba	Hitrosti
<i>T1</i>	Za testno obratovanje, programiranje in učenje	- Verifikacija programa: programirana hitrost, maksimalno 250 mm/s - Ročno obratovanje: hitrost ročnega postopka, maksimalno 250 mm/s
<i>T2</i>	Za testno obratovanje	- Verifikacija programa: programirana hitrost
<i>AUT</i>	Za robotske sisteme brez nadrejenega krmilja Možno samo pri zaprtem varnostnem krogu	- Programsko obratovanje: programirana hitrost - Ročno obratovanje: Ni možno
<i>AUT EXT</i>	Za robotske sisteme z nadrejenim krmiljem, npr. SPS Možno samo pri zaprtem varnostnem krogu	- Programsko obratovanje: programirana hitrost - Ročno obratovanje: Ni možno

3.1.4 Delovno, varno območje in območje varnosti

Delovna območja je potrebno omejiti na zahtevano minimalno mero, potrebno jih je zavarovati z zaščitnimi napravami. Zaščitne naprave (npr. zaščitna vrata, ograja) se morajo nahajati v varnem območju. Pri aktiviranju varnostne opreme robot in dodatne osi zavirajo in se ustavijo znotraj območja nevarnosti. Območje nevarnosti obsega delovno območje in poti zaustavitve robota in dodatnih osi.

3.2 ZASNOVA OBDELOVANCA

Za skice in oblikovanje ladijskega trupa smo uporabljali programsko opremo *SolidWorks* in *KUKA.sim.Pro*. Oba programa sta ključnega pomena pri sami zasnovi in simulaciji izdelave prostorskih površin, v našem primeru trupa jadrnice.

3.2.1 Simulacija

Simulacijski programi realnim pogojem ne ustrezajo v celoti. Programe, ki so izdelani v simulacijskih programih, je predhodno potrebno preizkusiti na napravi tudi v obratovalnem programu z znižano ročno hitrostjo (*SSTEP T1*; preglednica 4). Po potrebi program lahko tudi predelamo. Simulacijo rezkanja smo opravili v programu *KUKA.Sim.Pro*.

3.2.2 SolidWorks

Program *SolidWorks* je sestavljen iz 3D modelirnika, modula za sestavljanje in modula za izdelavo tehniške dokumentacije. Kot dodatek k programu smo uporabili tudi *SolidCAM*, s katerim smo izbrali način obdelave, ter orodja za izdelavo obdelovanca. S pomočjo orodja *SolidCAM* smo generirali takoimenovano G kodo, ki je potrebna za nadaljnje simulacije in tudi samo rezkanje.

Za izdelavo modela v programskem okolju *SolidWorks* imamo na voljo 2D skico, prav tako pa imamo možnost risanja z 3D skico. Sama skica je risana na ravnini in sestoji iz točk, črt, krogov in krivulj. Risanje je možno na treh osnovnih ravninah, katerim pa lahko dodamo poljubno mnogo vzporednih ravnin, vzporednih ravnin skozi točko in ravnin skozi tri točke. Prav tako lahko definiramo povezave z definiranjem atributov, kot npr.: dotik, vzporednost, pravokotnost, koncentričnost... Dimenzije risb se lahko spreminja neodvisno, lahko pa tudi v razmerju s parametri znotraj ali zunaj risbe. V okolju *SolidWorks* parametrska narava pomeni to, da dimenzije in povezave določajo geometrijo in ne obratno. Med risanjem, lahko spremljamo zgodovino narisane, se lahko vrnemo na določeno stopnjo risbe in ji kaj dodamo oziroma spremenimo. Lahko tudi povrnemo stanje pred spremembami ali zamenjamo vrstni red operacij.

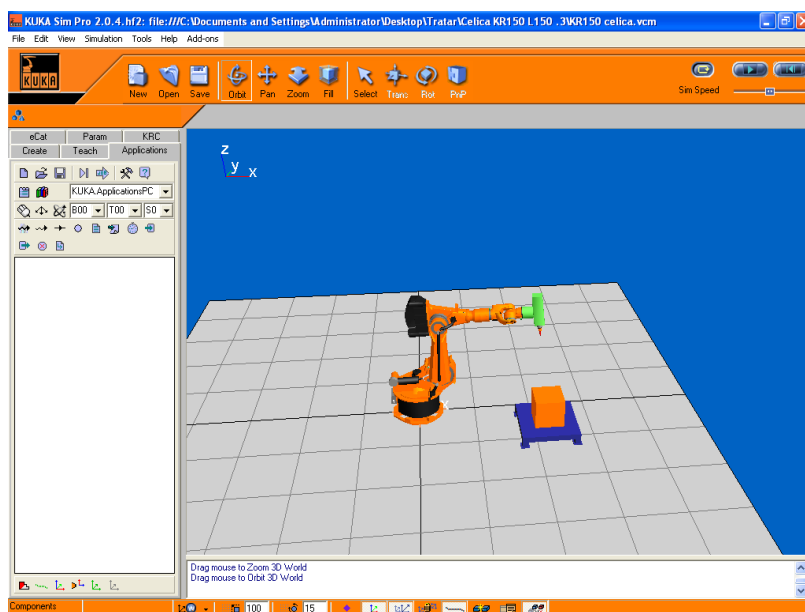
Kose med seboj sestavljamo z funkcijo »mates« (sestaviti, združiti, postaviti). Med sestavljenimi kosi prav tako lahko definiramo različna stanja, kot npr.: dotik, vzporednost, koncentričnost... Sestavljamo lahko tudi z naprednimi vrstami spajanja, ki nam omogočajo sestave prestavnih razmerij, ležajev... Ti nam nato lahko pokažejo kakšno naj bi bilo delovanje sklopa v realnosti. Prav tako pa nam program omogoča tudi nekatere simulacije trdnosti, tokov ipd.

3.2.3 KUKA.Sim Pro in KUKA.CAMRob

Programsko okolje *KUKA.Sim.Pro* je proizvod podjetja *KUKA* in je namenjeno virtualnemu programiranju robotov in postavitvi okolja (robotske celice). Programu je priložena obsežna knjižnica z različnimi elementi, kot npr.: roboti, motorji, prijemala, mize, tekoči trakovi, zunanje osi..., ki se poljubno dodajajo virtualnemu okolju. Lahko pa tudi sami oblikujemo orodja po lastnih željah, različna prijemala, pištole za varjenje in ostale kinematične strukture. Simulacija nam omogoča da preverimo, ali so vse točke v dosegu izbranega robota, zaznavo vseh trčenj in bližnjih srečanj orodja ali robota in nam tako omogoči zgraditi varno robotsko celico za praktično uporabo.

CAMRob je paket v samem simulatorju, ki omogoča izvedbo gibov in predhodno procesiranje vseh postopkov v kombinaciji z programom *KUKA.Sim.Pro* (slika 6).

Program je razdeljen na dva dela in sicer *KUKA.CAMRob PC*, ki v simulacijskem računalniku in *KUKA.CAMRob KRC*, ki je v robotskem kontrolerju. Program procesira CAM podatke in jih preoblikuje v KRL kodo, ki se jo kasneje uporabi v robotskem kontrolerju. Tako lahko z robotom izvajamo več aplikacij, ki smo jih predhodno zapisali v CAM programu: poliranje, rezkanje mehkejših materialov (les, plastika, aluminij...), v našem primeru rezkanje ladijskega trupa.



Slika 6: Programsko okolje KUKA.Sim.Pro z elementi.

3.2.3 CNC program ali G koda

Je zaporedje programskih ukazov, ki v našem primeru robotu določajo postopek izvajanja delovnih operacij za proces rezkanja izdelka, dotično ladijskega trupa. Postopek obdelave je v CNC programu opisan s krmilnimi ukazi, in sicer:

Geometrijskimi- določajo relativni položaj med orodjem in obdelovancem.

Tehnološkimi- določitev podajalne in rezalne hitrosti, definicije orodij.

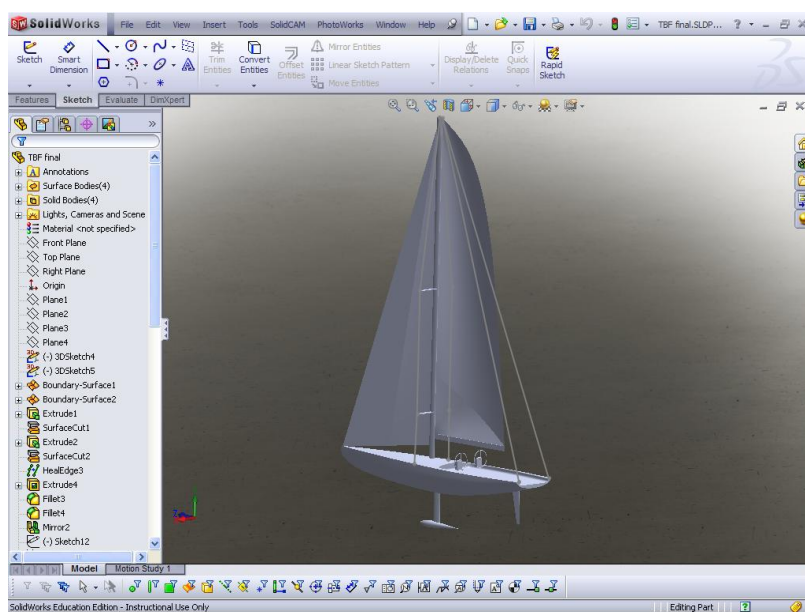
Z pomožnimi funkcijami- določajo vklop/izklop vretena, smer vrtenja, hlajenje...

Celoten postopek izvajanja operacij izdelave na robotu poteka povsem avtomatično. Sam robot ne zaznava okolja in ovir na obdelovalni poti. Programiranje je torej postopek izdelave opisanega zaporedja ukazov na podlagi vnaprej narejene risbe obdelovanca, v našem primeru v programskem okolju *SolidWorks*. V programskem jeziku imenujemo CNC program tudi G-koda, saj je v večini program napisan kot zaporedje G ukazov (G0, G1, G2).

3.3 IDEJNA ZASNOVA

Z odločitvijo, da bi uporabili robota za aplikacijo rezkanja in s tem predstavili prednosti takšne obdelave, se je odprlo veliko idej kaj naj bi ta predmet bil. Z robotom je namreč možno izrezkati skorajda vse, večja omejitev je le zmogljivost programske opreme. Po razmišljanju smo prišli do ideje, da bi rezkali trup jadrnice (slika 7). Za zgled so služile slike jadrnic *America`s cup-a*.

Ideja je bila narediti dve polovici trupa iz penastega polistirenskega materiala (*stirodur*). Trup smo naredili iz mehkega materiala iz več razlogov. *Stirodur* nudi zelo enostavno in hitro rezkanje, saj je dokaj mehak in enostaven za obdelavo. Prvo rezkanje trupa iz stirodura tudi omogoči, da vnesemo morebitne popravke ali izboljšave na modelu, ki bi izboljšale površino, skrajšale čas obdelave ipd..



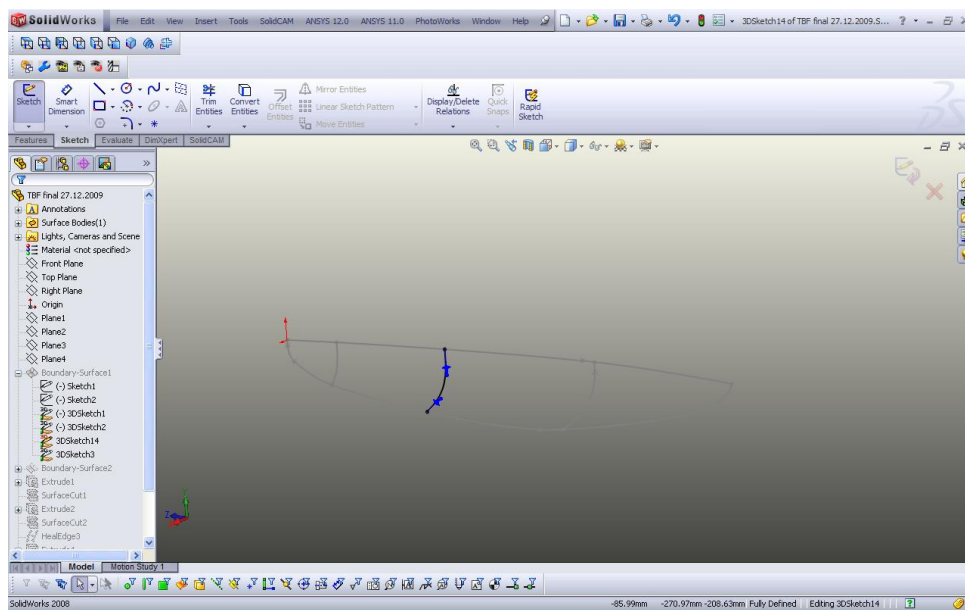
Slika 7: Narisan model jadrnice v programskem okolju *SolidWorks*.

3.4 RISANJE V PROGRAMU SOLIDWORKS

Na podlagi slik jadrnic znane regate *America`s Cup* smo v programskem okolju *SolidWorks* narisali trup, ki nam je služil kot osnova za rezkanje. Ponavadi risanje poteka tako, da najprej narišemo dvodimenzionalno (2D) skico, kateri potem dodamo željeno tretjo dimenzijo. Temu sledi dodajanje izvrtin, izrezovanje ipd. Tokrat pa je bil zaradi ukrivljenih površin potreben nekoliko drugačen pristop.

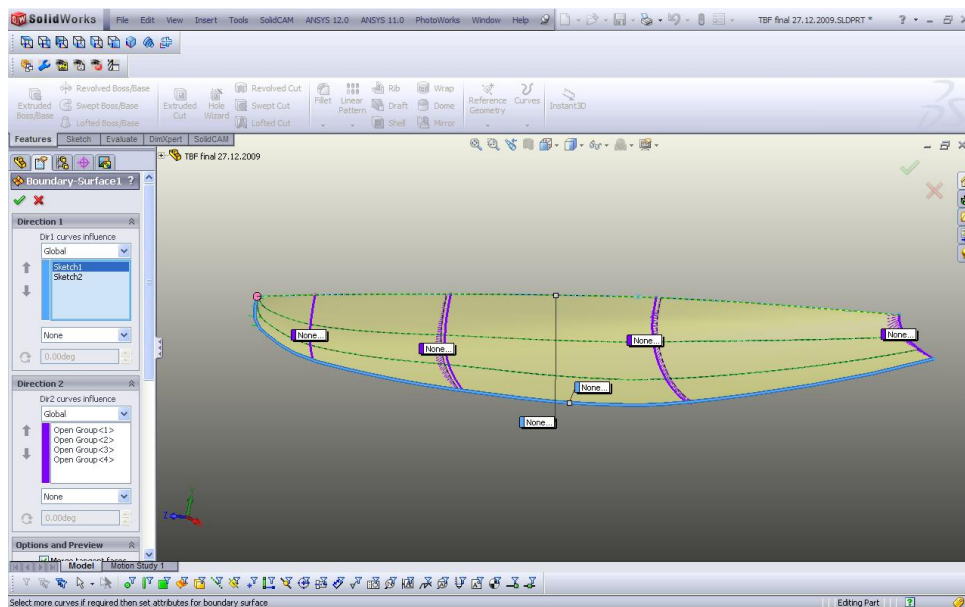
Začeli smo tako, da smo na dve osnovni ravnini narisali projekciji trupa jadrnice. S tem smo dobili osnovne oblike, na podlagi katerih smo kasneje izrisali trup. Na desno (»*Right plane*«) ravnino smo narisali projekcijo bočne strani trupa in tako dobili stranski pogled. Na gornjo ravnino (»*Top plane*«) pa smo skicirali projekcijo palube oziroma ravnino, ki je mejna med dnem in nadgradnjo. Ti dve skici se stikata v izhodiščni točki (»*Origin*«) na premcu (slika 8).

Sledilo je multipliciranje prednjih ravnin (»*Front plane*«) in sicer smo naredili štiri vzporedne ravnine. Zadnja ravnina leži na dveh točkah, ki sta končni točki projekcij skic na desni in gornji ravnini. Na te ravnine smo potem s pomočjo funkcije nariši na ravnino (»*Sketch on plane*«) narisali prereze trupa. Na zadnjo ravnino smo z enako funkcijo povezali tudi že prej omenjeni točki na krmi in narisali zadnji prerez, ki hkrati služi kot krma in konec trupa plovila.



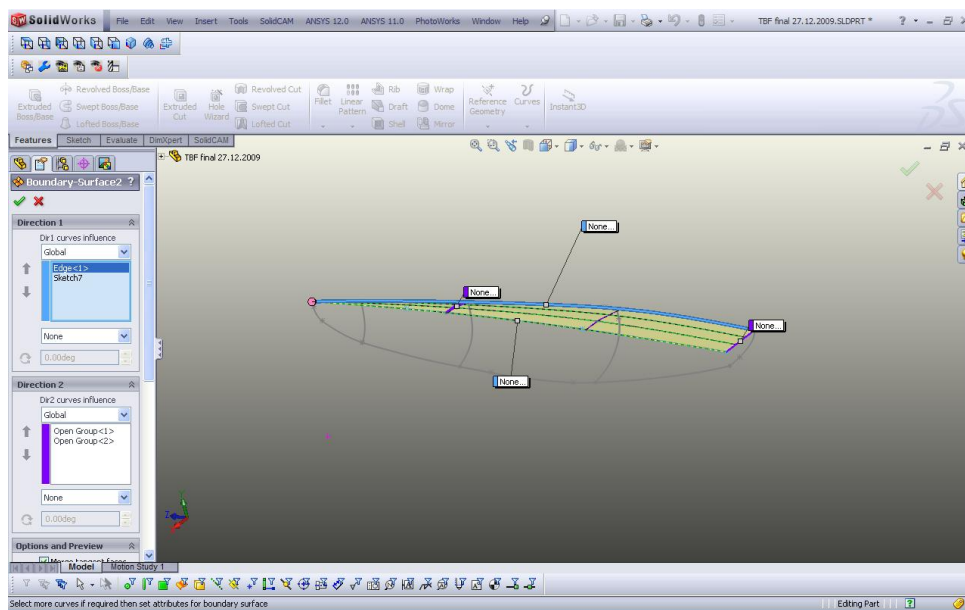
Slika 8: Skelet boka plovila.

Z funkcijo mejne-površine (»Boundary-Surface«) smo povezali vse dosedaj narisane krivulje in ustvarili površino, ki predstavlja bok trupa (slika 9).



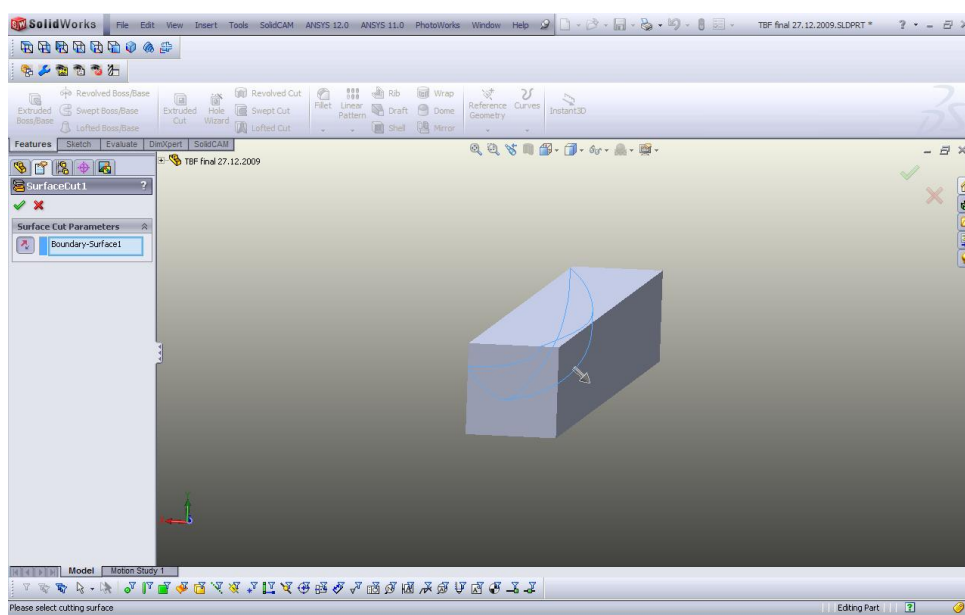
Slika 9: Površina boka jadrnice.

Tudi nadgradnjo smo narisali s pomočjo prereзов na že obstoječih multipliciranih ravninah in čeznje razpeli površino. Dobili smo zunanje površine desne polovice jadrnice (slika 10).



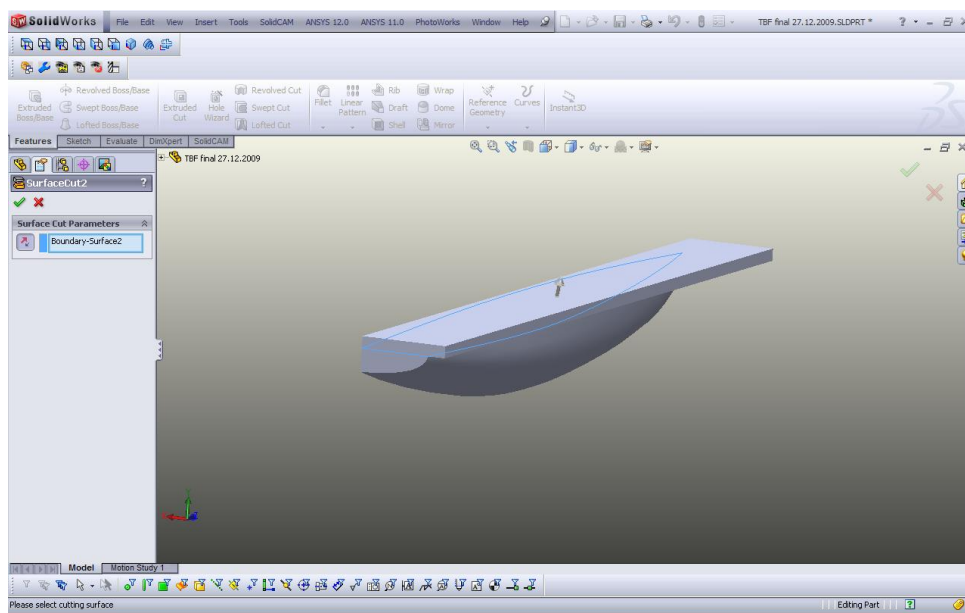
Slika 10: Površina nadgradnje.

Ker za nadaljnje delo in operacije ki so potrebne za rezkanje potrebujemo poln model, (»Solid model«) same površine, čeprav tvorijo zunanjo obliko, niso zadostne. Tako smo uporabili zadnjo prerezno ravnino na krmi in nanjo narisali pravokotnik, ki je zajemal najprej spodnji (trup) del trupa. Pravokotniku smo nato dodali tretjo dimenzijo, tako da smo dobili kvader s pravo dolžino plovila, kar se vidi na sliki 11.



Slika 11: Narisani kvader pred rezanjem s površino boka trupa.

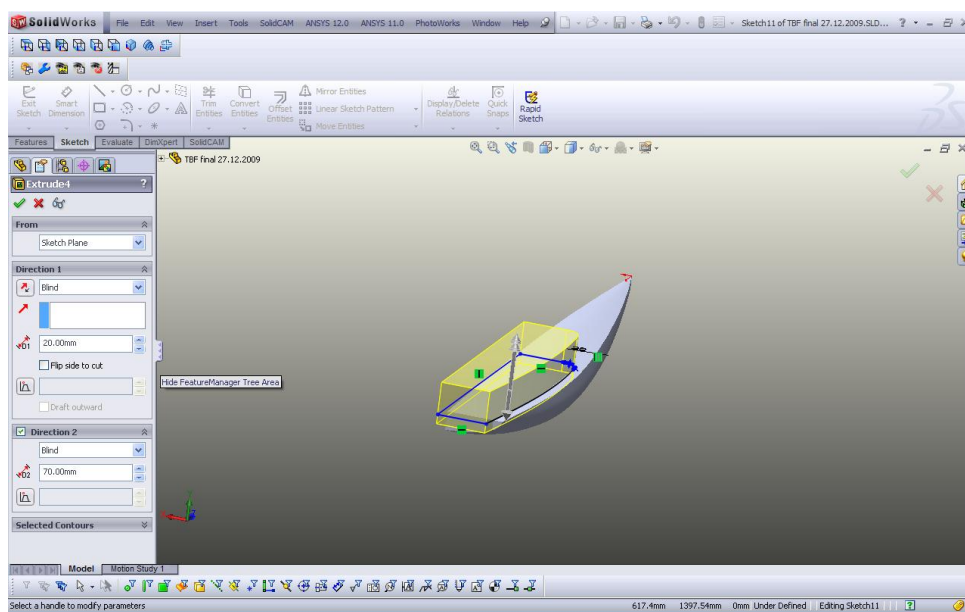
Tako smo pridobili tridimenzionalno telo, ki pa ga je potrebno še oblikovati v trup jadrnice. Za oblikovanje smo uporabili funkcijo »Cut With Surface« (reži z površino) in sicer smo že prej omenjeni kvader odrezali s spodnjo površino trupa. Po enakem postopku smo nato naredili še nadgradnjo (slika 12).



Slika 12: Odrezani spodnji del in še ne odrezana nadgradnja.

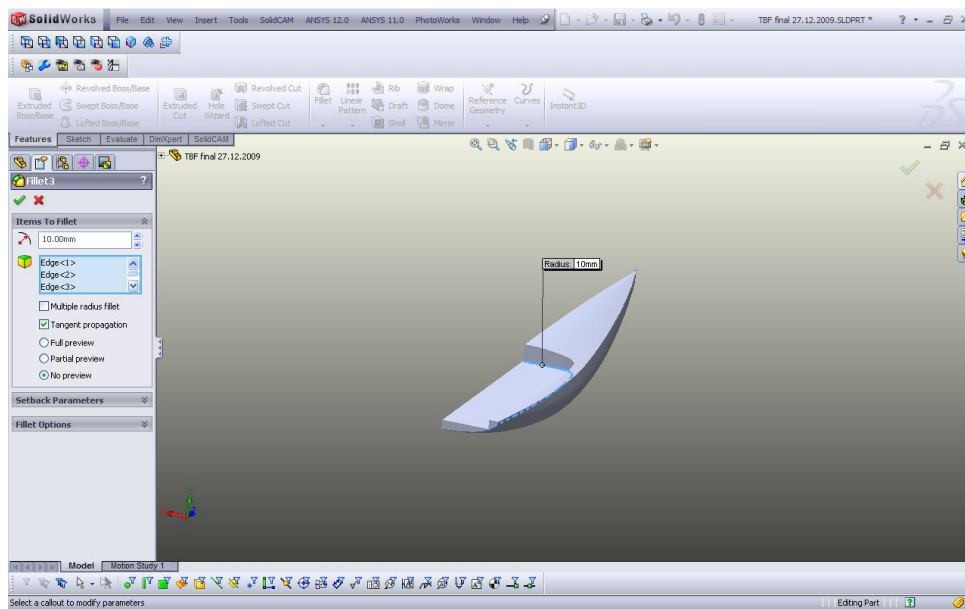
Uporabljene površine smo nato skrili, da pri nadaljnjem risanju ne bi bile moteče. Nastalo je polno telo z obliko desne polovice trupa jadrnice.

Sledila je izdelava platforme za posadko. Na gornjo ravnino smo skicirali desno polovico platforme. Sledil je postopek izrezovanja s funkcijo »Extruded cut« (ekstrudirano rezanje, slika 13).



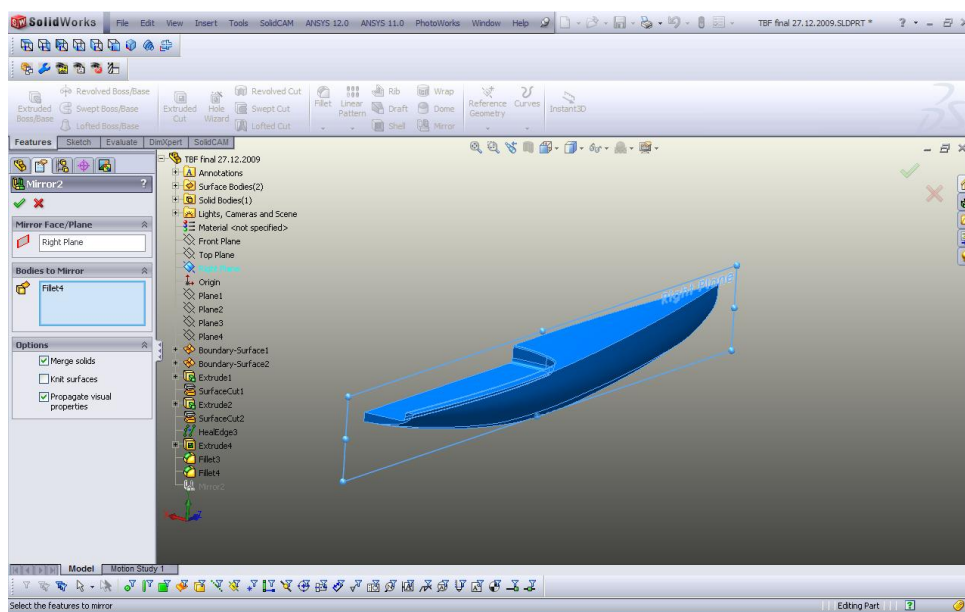
Slika 13: Odrezovanje platforme.

Nastala je oblika z ostrimi robovi, zato smo jih s funkcijo zaokroži (»*Fillet*«) zaoblili, tako notranje, kakor tudi gornje robove v stiku z nadgradnjo (slika 14).



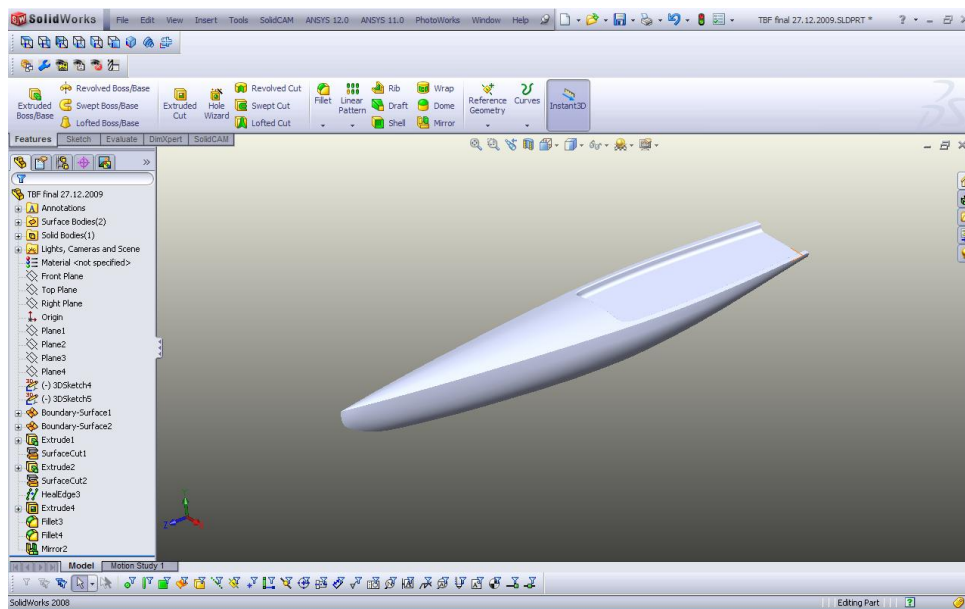
Slika 14: Zaokroževanje robov platforme.

S tem je izdelava risbe desne polovice trupa končana. Da bi pridobili risbo celotnega trupa je bilo potrebno desno polovico še preslikati prek desne ravnine (slika 15).



Slika 15: Preslikava desne polovice prek desne ravnine.

Narisano tridimenzionalno telo je tako pripravljeno na nadaljnjo programsko obdelavo (slika 16).



Slika 16: Narejen model trupa.

Ker bomo trup rezkali v dveh polovicah, smo trup shranili kot dve ločeni polovici, torej levo in desno.

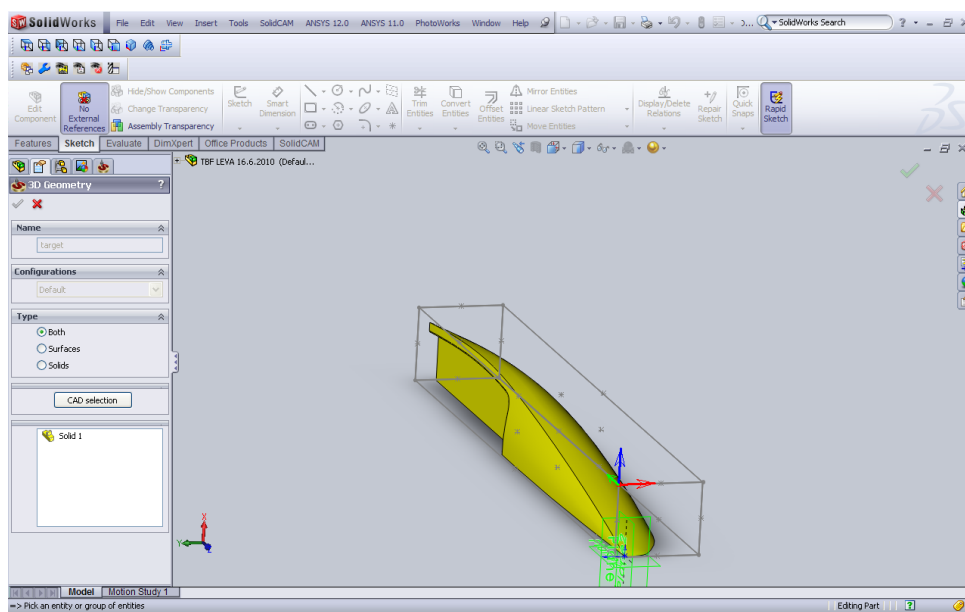
Za boljši končni izgled pa smo s pomočjo že znanih funkcij dorisali tudi kobilici in krmila ter jambor z jadri, ki pa so zgolj estetskega pomena, saj v nadaljnjem delu z CAM programom upoštevamo le trup.

3.5 OBDELAVA V PROGRAMU SOLIDCAM

Narejeno polovico modela smo nato uvozili v *SolidCAM*, kjer je bila izvršena navidezna obdelava.

Postopek se začne z izbiro obdelovanca, kjer smo najprej določili surovec (»*Stock model*«). Surovec predstavlja klado z določenimi nadmerami iz katere smo v nadaljnjih postopkih izrezkali narisani model. V naslednjem koraku smo določili ciljni model (»*Target model*«). S tem programom določimo obliko, katero je potrebno izrezkati iz vnaprej izbrane klade. Za orientacijo je bilo potrebno določiti tudi koordinatno izhodišče. Njegova orientacija in lega sta še posebej pomembna za trisosno rezkanje ali 3D rezkanje, ki je tudi prvi korak pri obdelavi klade v končni model.

Izhodišče smo postavili v kot klade s stranico, s katero je bok trupa usmerjen navzgor, drugega pa v kot in na stranico, ki je nad nadgradnjo (slika 17). Koordinatna izhodišča lahko tudi kasneje poljubno postavljamo in dodajamo.



Slika 17: Izbira ciljnega modela.

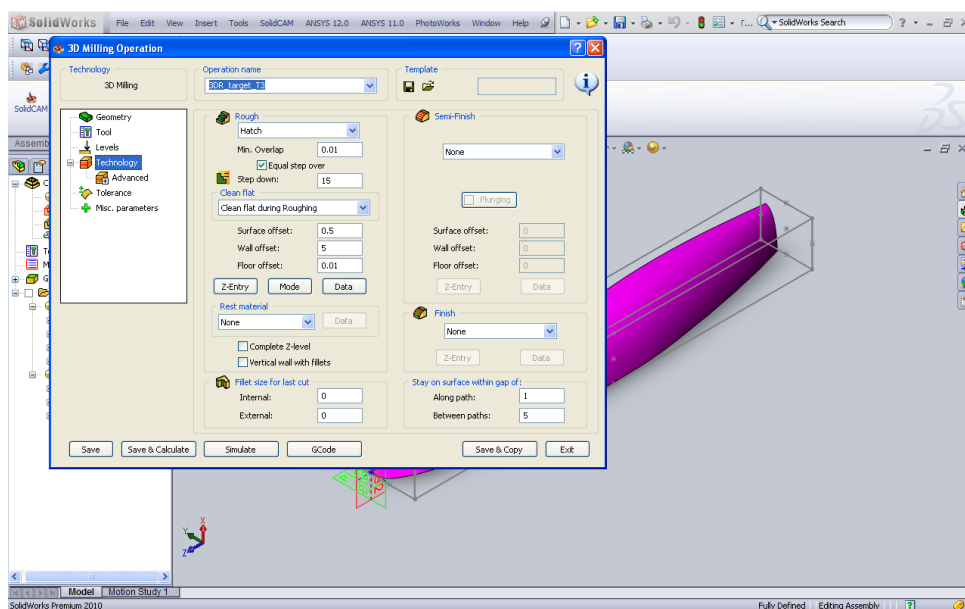
Na koncu postopka smo še izbrali postprocesor KUKA_BF_LES-5x, ki nam omogoča prikaz in nadaljnjo obdelavo izračunanih podatkov. S tem je bil predpriprava zaključena, sledile so obdelovalne tehnike.

Obdelavo klade začnemo z 3D oziroma triosnim rezkanjem (»3D Milling«). Na začetku smo določili delovno območje, ki je obsegalo stranico klade, pri kateri je bok trupa obrnjen navzgor. Izbrali smo tudi prvi koordinatni sistem, ki je bil pravokoten na to delovno območje. Sledila je izbira orodja.

Za to vrsto obdelovanja smo izbrali ravno rezkalno orodje. Vse karakteristike orodja, ki smo ga uporabili pri dejanskem rezkanju, smo določili iz dokumentacije in jih vpisali v izbirna okna. Izbirali smo lahko tudi med vpenjali različnih vrst in velikosti. Določitev dimenzij orodja in vpenjala je pomembna, saj nam pri simulaciji rezkanja lahko poda podatke o trkih obdelovalnih elementov s samim obdelovancem. Višine obdelave določimo na obdelovancu, ki mora biti pravilna, saj nam bo v nasprotnem primeru orodje nezadostno obdelalo ali lahko celo zašlo v obdelovalno klado.

Naslednja izbira je bila tehnologija obdelave (slika 18). Tu smo izbrali šrafuro (»Hatch«) in določili vse parametre obdelave, odmike od samega obdelovanca ter globino

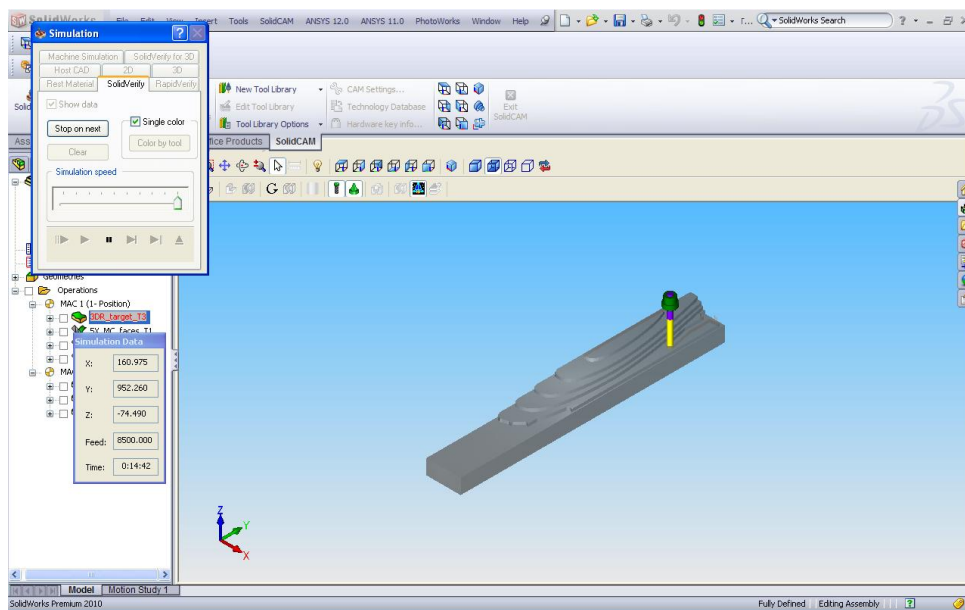
posameznega odvzema. Za odmike od površine modela smo privzeli 0.5 mm in za stene/stranice 5 mm. Operacijo smo shranili in jo preračunali.



Slika 18: Pogovorno okno triosnega rezkanja.

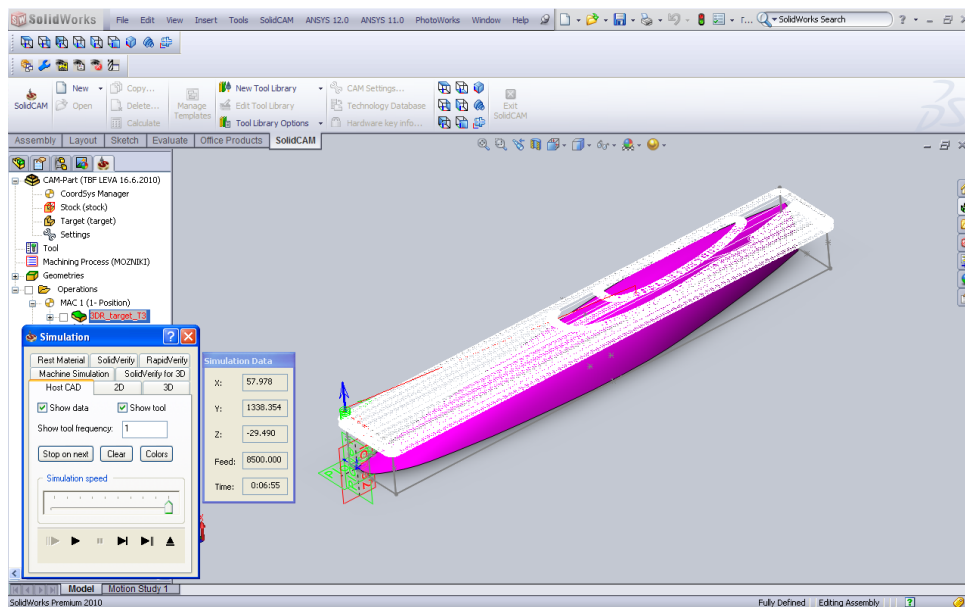
Izpeljali smo tudi več simulacij. Najpogosteje smo uporabili simulaciji *SolidVerify* (slika 19) in *HostCAD* (slika 20).

Prva nam omogoča, da preverimo kolizije orodja in vpenjala z obdelovalno klado, ter nam prikaže obdelovanec po koncu obdelovalne faze. Simulacija se tudi posodablja z vsako naslednjo operacijo, tako da pridobimo podatke, ki so ažurni za nadaljnjo fazo obdelave. Z barvno analizo si lahko ogledamo, koliko materiala je potrebno še odstraniti, oziroma ali nam orodje zahaja v obdelovanec.



Slika 19: Simulacija SolidVerify triosnega rezkanja.

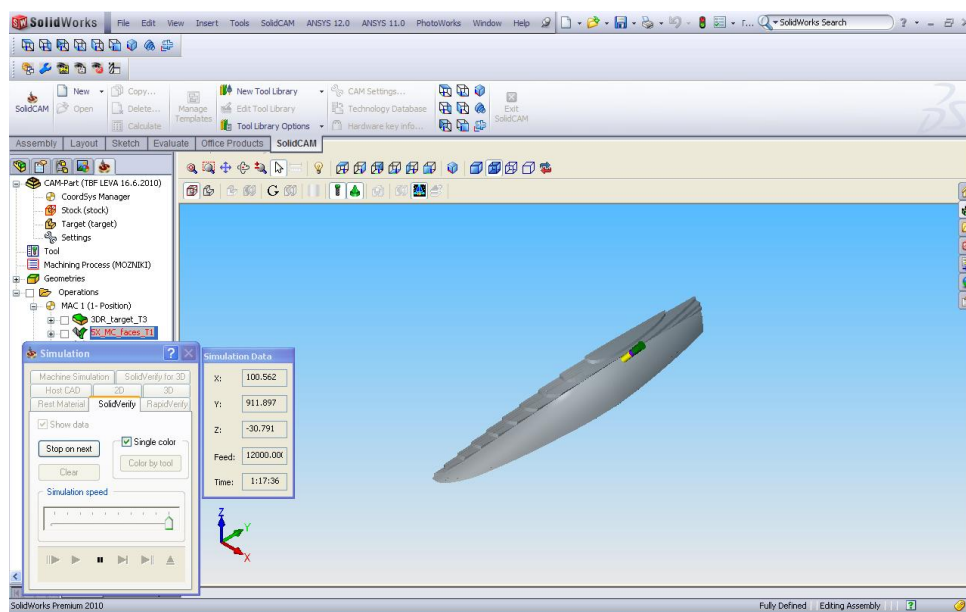
HostCAD simulacija pa nam pokaže trajektorije premera orodja in vse druge hode (vhod, izhod, prosti prehodi ipd.). Simulacije smo izvedli po vsaki fazi obdelave.



Slika 20: Simulacija HostCAD triosnega rezkanja.

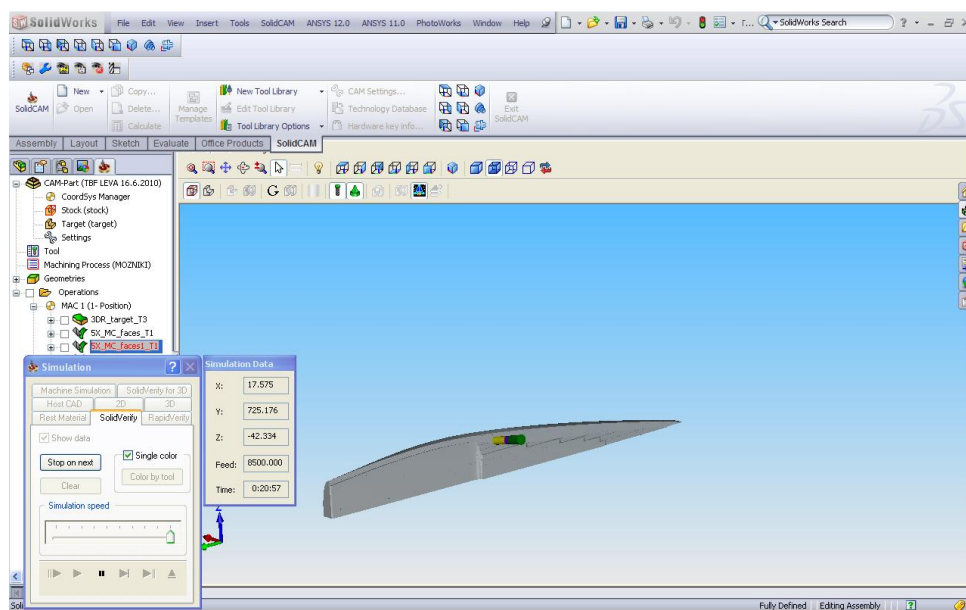
Za naslednjo stopnjo obdelave smo izbrali petosno operacijo rezkanja z imenom: rezkaj znotraj dveh mejnih krivulj (»Morph between two boundary curves«). Koordinatni sistem smo uporabili enak kot v prvem primeru, prav tako je ostalo enako tudi orodje.

Petosno rezkanje nam ponuja veliko več svobode pri sami izvedbi. Možnih je tudi veliko več nastavitev orodja, strategije, vhodov in izhodov rezkanja ter kontroliranja kolizij in obdelane površine. Izbrali smo površino boka in začetno ter končno krivuljo rezkanja, katerima bo trajektorija rezkarja sledila, v tem primeru po dolgem. Toleranco rezkanja smo omejili na 0.09 mm in aktivirali preverjanje kolizij orodja in prijemala z obdelovancem (slika 21).



Slika 21: Potek petosnega rezkanja trupa v simulaciji *SolidVerify*.

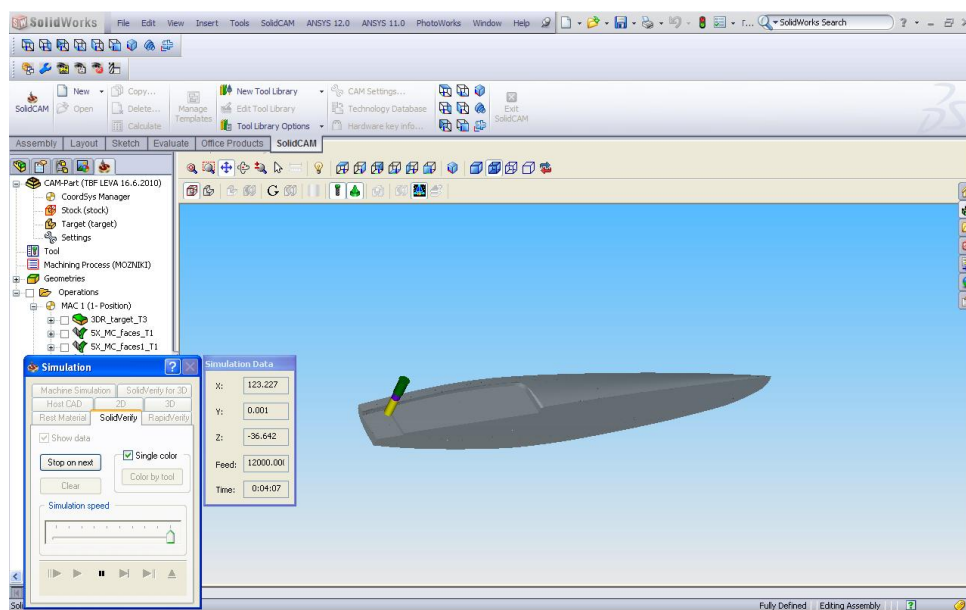
Za nadgradnjo smo uporabili enako petosno operacijo z enakimi parametri. Za obdelavo smo izbrali površino nadgradnje in drugo začetno ter končno krivuljo (slika 22).



Slika 22: Pet osno rezkanje nadgradnje simulirano s SolidVerify.

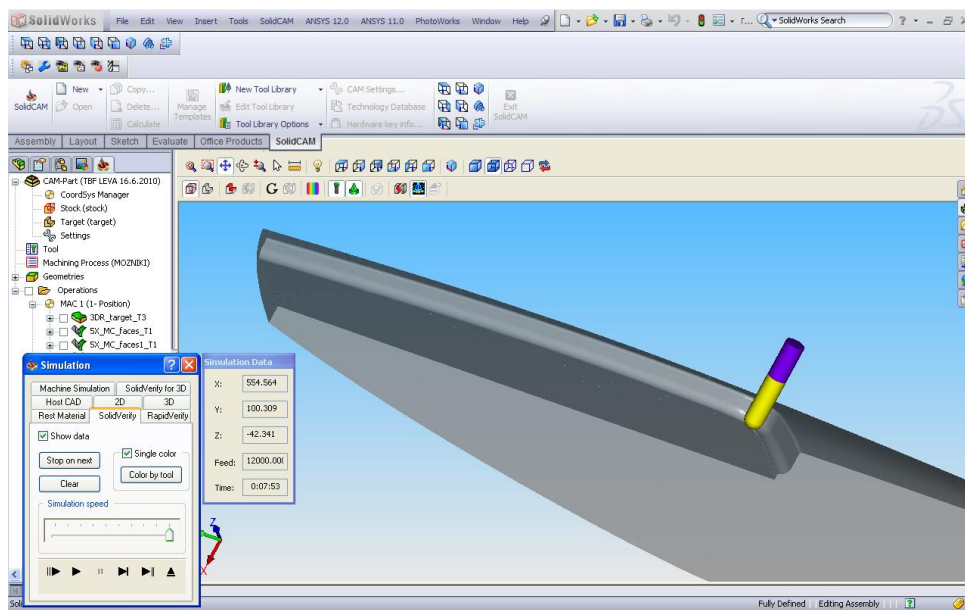
Krmo smo izdelali z »*Parallel to surface*«, prav tako petosno operacijo rezkanja. Uporabili smo enako orodje in koordinatno izhodišče. Za površino obdelave smo izbrali krmo, za robove pa robne površine v stiku.

Za rezkanje platforme smo uporabili operacijo HSM rezkanja (»*Hatch roughing*«), uporabili smo koordinatno izhodišče, ki je pravokotno na platformo in je locirano v kotu. Orodje je bilo enako kot pri predhodnih operacijah. Najglobljo globino rezkanja smo ročno določili na modelu, prav tako pa smo nastavili odmike od sten, površin na 0.5 mm, tla pa na točne dimenzije. Toleranco rezkanja smo nastavili na 0.05 mm in pomik navzdol na 8 mm. Rezkanje je bilo izvedeno v »*Hatch*« tehniki (slika 23).



Slika 23: Rezkanje platforme v *Solid Verify*.

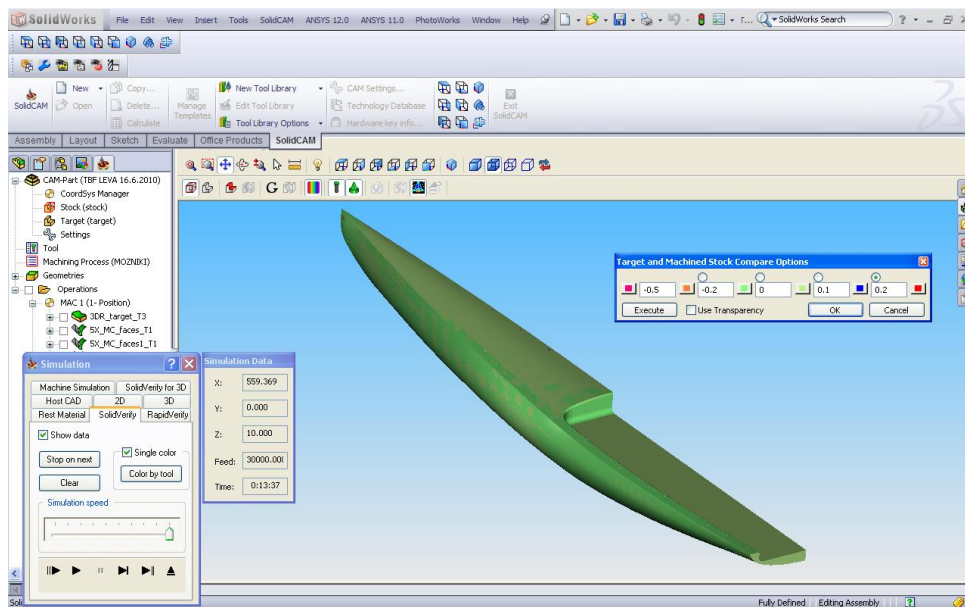
Ker ima platforma zaokrožene robove, smo s pomočjo *HSS (High Speed Surfacing)*, »*Morph between two boundary curves*«, izvedli to operacijo z polkrožnim rezkarjem. Povečali smo toleranco rezkanja, saj je bila rezalna površina rezkarja sedaj manjša. Višino valov med potmi smo nastavili na 0.013 mm, saj smo želeli imeti kakovostno površino. Koordinatno izhodišče smo uporabili enako, saj je *HSS* rezkanje v principu napredno 3D rezkanje (slika 24).



Slika 24: Rezkanje zaobljenih robov, SolidVerify.

Za konec smo še izvedli analizo končne obdelane površine (slika 25).

Desno polovico smo programsko izdelali po popolnoma enakem postopku.

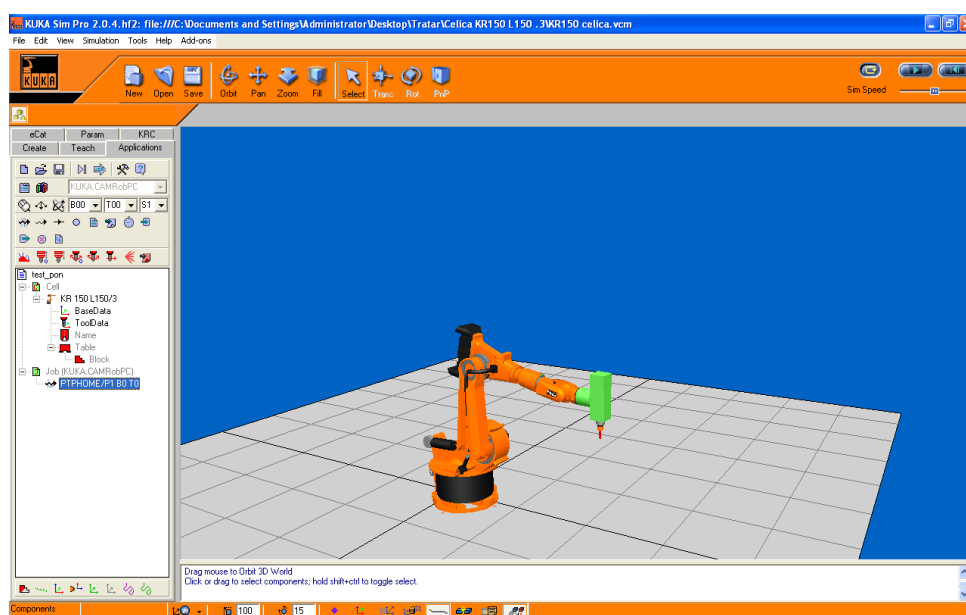


Slika 25: Barvna upodobitev obdelanih površin v simulaciji SolidVerify.

3.6 OBDELAVA PODATKOV V KUKA.SIM.PRO IN KUKA.CAMROB

Preden smo se lotili praktičnega rezkanja, je bilo potrebno G-kodo in obdelavo še preizkusiti v simulatorju.

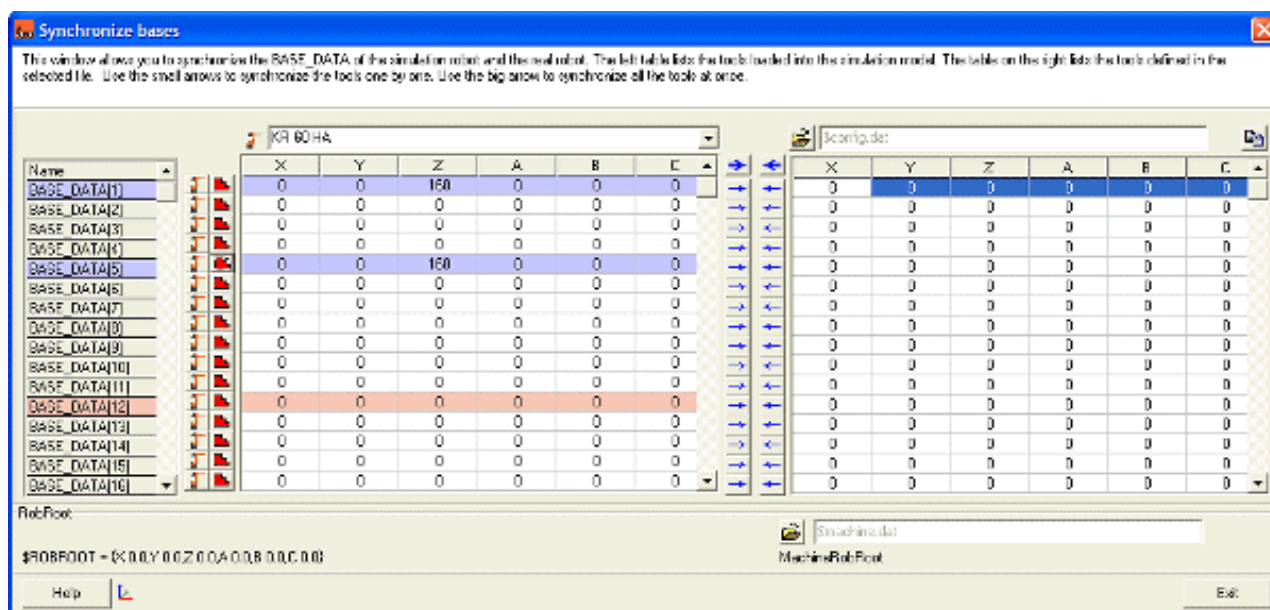
Delo na simulatorju se začne s postavitvijo sveta robota. Izberemo pravilnega robota, v našem primeru *KUKA KR 150 L 150/3*, in ga postavimo v svet (slika 26). Za delovanje robota vstavimo tudi obdelovalno mizo in obdelovanec, ki ju združimo s funkcijo: priključi in obratuj (»*Plug and play*«). Z enako funkcijo na vrh robota priključimo tudi obdelovalni agregat in vpenjalo z orodjem. Vse priključke izberemo v parametrskem načinu. Ta nam omogoča, da agregatu, prijemalu in samemu orodju določimo realne dimenzije.



Slika 26: Robot v osnovni poziciji v programskem okolju *KUKA.Sim Pro*.

Pred dodajanjem G kode in začetkom dela je potrebno še dodeliti žeton (»*Assign token*«). Žetoni so majhen delec informacij, ki so dodani k različnim komponentam na postavitvi, zahtevan s strani delovne mape (»*Jobmap*« programa *KUKA.CAMRob PC*).

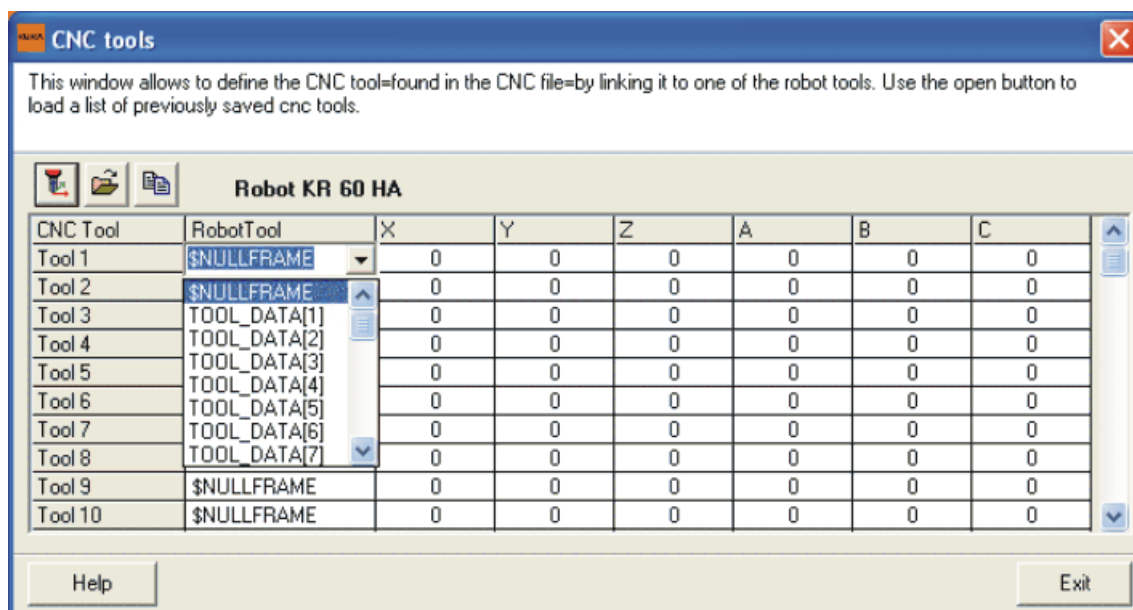
Določili smo tudi bazo (»*Base Data*«), ki nam pove izhodišče naše G kode (slika 27). Baza, ki smo jo določili ima koordinate $X=1200$, $Y=-800$ in $Z=800$. Rotacij (A, B, C) nismo uporabili. Koordinatni sistem baze se nanaša na osnovni koordinatni sistem robota.



Slika 27: Pogovorno okno za vnos izhodišča baze.

Prav tako smo določili koordinati izhodišča obeh orodij, tako ravnega, kakor tudi polkrožnega rezkarja (slika 28). Le-ti se nanašata na gornji koordinatni sistem robota, izračunali pa smo ju iz danih podatkov orodij, prijemala in motorja ter vmesnika med motorjem in robotom. V program lahko shranimo podatke mnogih orodij, ki jih kasneje med uporabo enostavno prikličemo.

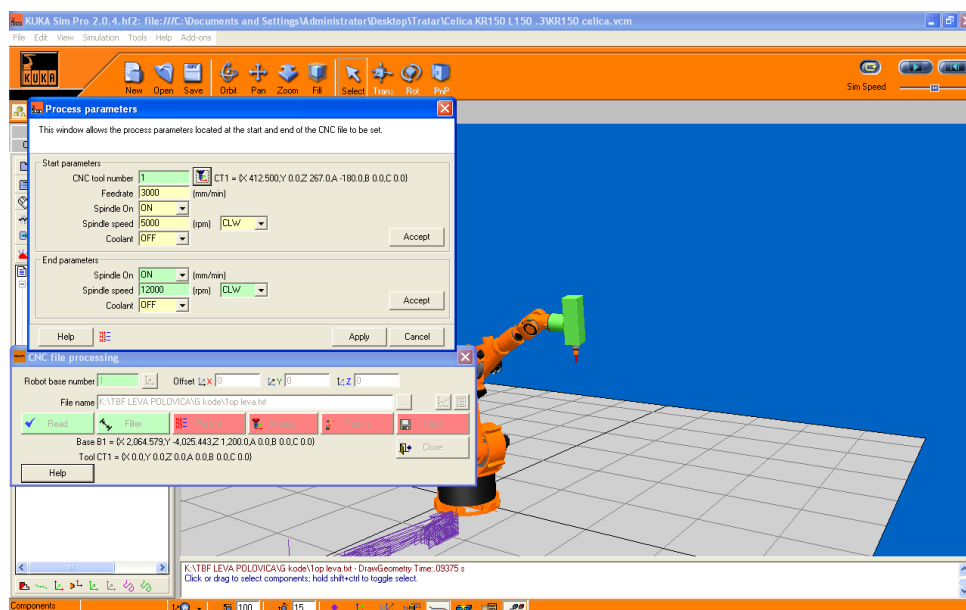
Za popolno določitev izhodišča orodja so nam na voljo tri osnovne koordinate (X, Y, Z) in tri rotacije (A, B, C). Izhodišče orodja se nanaša na vrhnji koordinatni sistem robota. V procesnih parametrih smo določili obe orodji (ravni in polkrožni rezkar). Koordinate izhodišča ravnega rezkarja so $X=492$, $Y=0$, $Z=267.5$ in rotacija $A=-180$. Izhodišče polkrožnega rezkarja, ki je bil enake dolžine, pa se nahaja v koordinatah $X=492$, $Y=0$, $Z=267.5$ in rotacija $A=-180$.



Slika 28: Pogovorno okno za določitev izhodišča orodij.

Ko smo to opravili, smo iniciirali delovno datoteko. Robot je bil v osnovni poziciji, potrebno ga je bilo premakniti v novo točko, ki je začetna točka za prehod na delo z G kodami.

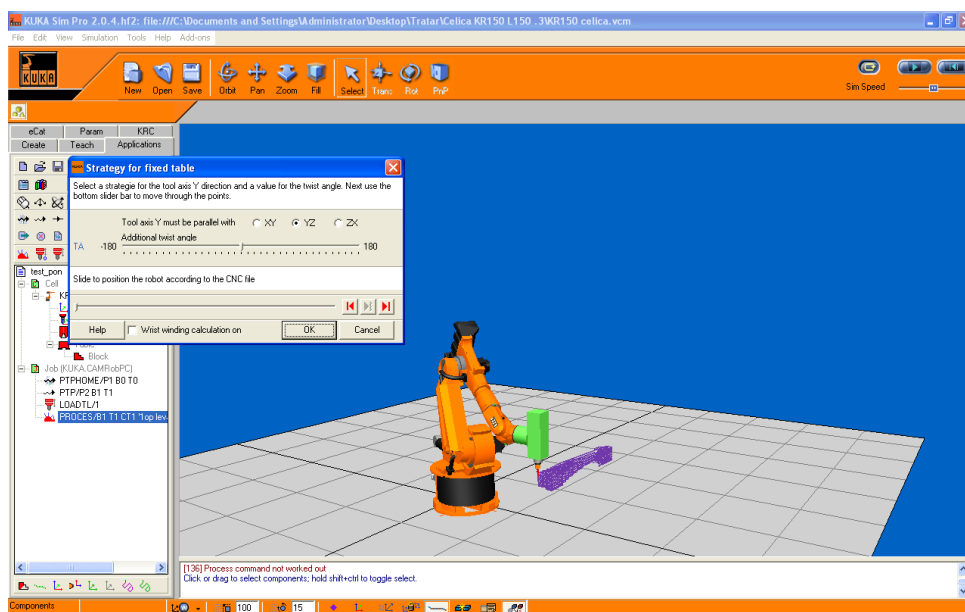
Po premiku robota, smo uvozili prvo kodo. V simulatorju se nam pojavi zelena G koda, ki je v obliki trupa, saj nam poda trajektorijo konice rezkarja (koordinatni sistem orodja). Odprlo se je pogovorno okno, kjer smo določili parametre, kot so podajalna hitrost, ki je znašala 8500 mm/min in hitrost vrtenja 12000 1/min (slika 29).



Slika 29: Izbira orodja in določevanje parametrov.

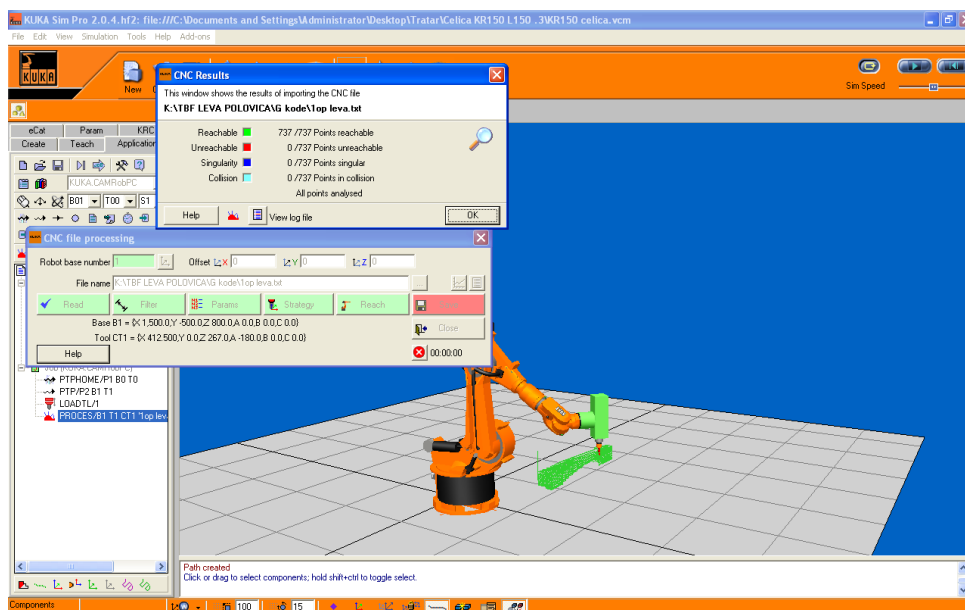
Naš naslednji zelo pomembni korak je bil izbira strategije s katero lahko izbiramo paralelnost Y osi orodja z osmi XY, YZ ali ZX (slika 30). Prav tako lahko določimo dodatni zasuk osi. Ti dve izbiri nam omogočata, da se pri nadaljnjem delu ognemo singularnostim robota, morebitnim kolizijam in nedosegljivim točkam.

Prav v tem delu programa se opazi, da je programska oprema še nekoliko okorela, saj nam je ta korak delal nemalo preglavic, singularnosti in kolizij ter točk ki so bile nedosegljive, saj se pojavijo v zahtevnejših in daljših G kodah. Odprava teh težav je mogoča s premikom izhodišča baze in uporabo paralelnosti osi Y orodja, ter dodatnega zasuka osi, saj zaenkrat program še ne ponuja kake druge rešitve.



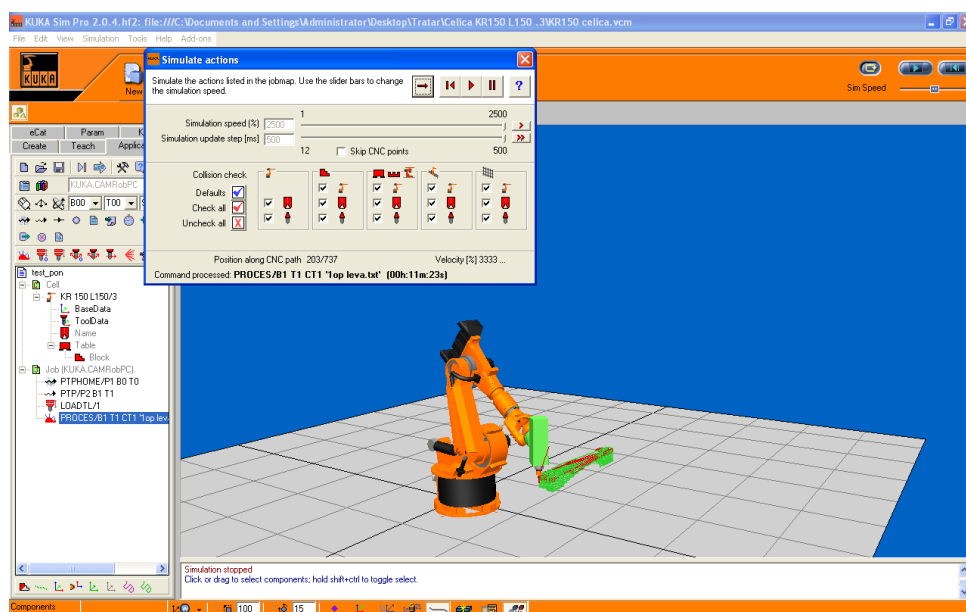
Slika 30: Izbira strategije rezkanja in zasuka osi.

Sam potek rezkanja posamezne G kode smo testirali z dosegom (»Reach«), kar je bil tudi naš naslednji korak (slika 31). Ko je bil test uspešen in so bile vse točke dosegljive, smo procese shranili.



Slika 31: Pogovorno okno testiranja dosegov robota.

Po vsakem dodanem procesu smo izvedli tudi simulacijo celotnega dela, ki nam je pokazala, kakšni so prehodi med procesi in ali obstajajo napake v obliki kolizij, nedosegljivosti in singularnosti (slika 32). Vse morebitne napake smo odpravili z dodajanjem novih točk, preko katerih se je gibal robot med posameznimi procesi G kod in z izbiro strategije robota. Simulacija nam je podala tudi čas trajanja posameznega procesa, ki je bil odvisen od dolžine G kode in parametrov zapisanih v njej.



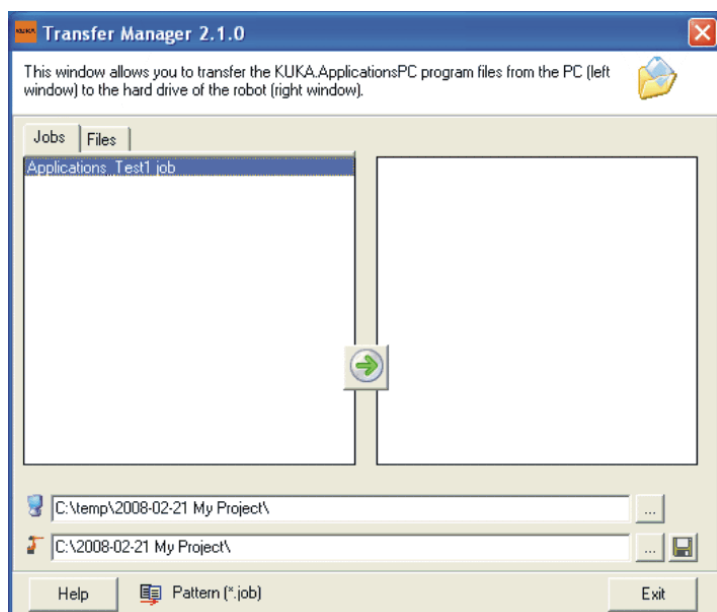
Slika 32: Simulacija procesa prve G kode.

Po enakem principu smo dodali vseh šest G kod, le v zadnji smo izbrali drugo orodje in sicer polkrožni rezkar.

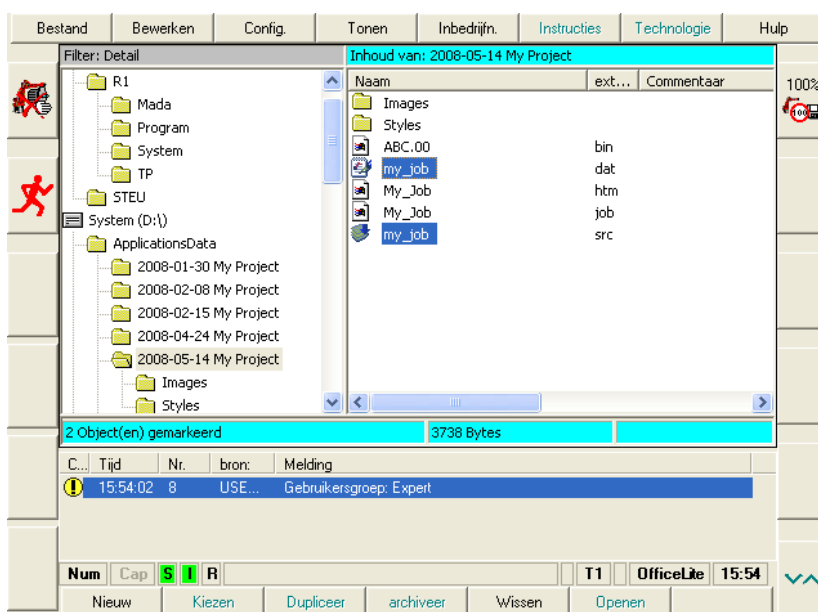
V delovno mapo lahko dodajamo različne ukaze, kot so: ustavitev rezkarja in njegov zagon ter hitrost, ustavitev in zagon robota, spreminjamo podajalno hitrost, dodajamo hladilno tekočino, obtežbo na robotu ipd.

Za menjavo orodja smo robota in agregat ustavili in ju kasneje zopet zagnali. Prav tako smo morali v celoten proces uvesti še začetni zagon in končno ustavitev agregata.

Za konec smo delovno mapo shranili in ustvarili KRL kodo (slika 33), katero smo kasneje prenesli na krmilnik in pričeli z rezkanjem (slika 34).



Slika 33: Shranjevanje in pretvorba v KRL.



Slika 34: Prikaz celotne prenesene datoteke na krmilniku robota.

4 REZKANJE

Ko smo opravili vse delo s simulatorjem, smo celotno datoteko prenesli na krmilnik robota. S tem je bilo delo s programsko opremo končano. Sledila je priprava in obdelava obdelovanca.



Slika 35: Robot na tirnicah pred rezkanjem.

Pred postopkom rezkanja smo še pripravili zaščitno opremo (slika 35). Postavili smo zaščitno ograjo, ki bi preprečila, da bi se kdo znašel v delovnem območju robota in v območju varne zaustavitve robota. Ročno učilno napravo smo pripravili na doseg, v primeru, da bi bilo potrebno robota nemudoma izključiti. Prav tako smo pripravili gasilna sredstva za primer požara.

Za prvo rezkanje smo uporabili plošče stirodura, ki smo jih predhodno zlepili in kladi obrezali na dolžino 1360mm, debelino 151mm in višino 177mm. Na strani obeh klad s stranico 1360 mm * 151mm smo nato s PVAc lepilom prilepili enako velik kos vezane plošče, z lesenimi zatiči (v nadaljevanju podstavek). Po koncu utrjevanja lepila smo eno izmed obeh klad s podstavkom pozicionirali na obdelovalni mizi. Ko smo postorili vse priprave, smo zagnali robota in pričeli z obdelavo leve polovice ladijskega trupa.

Med samim postopkom rezkanja leve polovice smo robota ustavili pred zadnjo fazo in ravni rezkar zamenjali s polkrožnim.

Podajalna hitrost je znašala 8500 mm/min. Obdelovanec je bil končan v 243 minutah.

Sledil je enak postopek z desno polovico trupa. Podajalna hitrost je pri tej obdelavi znašala 8500 mm/min, obdelovanec pa je bil izdelan po 242 minutah.

Ko smo z obdelovalne mize odvzeli še desno polovico, smo obe polovici trupa ločili od podstavka in ju zlepili. S tem je bil praktičen eksperimentalni del te diplomske naloge končan.

5 REZULTATI IN SKLEPI

Na podlagi opazovanja in same operacije rezkanja lahko strnemo naslednje sklepe:

1. Samo rezkanje je s stališča današnje programske opreme možno, vendar se zaradi nepopolnosti programske opreme pojavljajo težave v smislu singularnosti robota, počasnosti in togosti programske opreme, točkastem pomiku pri velikih radijih ipd.
2. Zaradi manjše togosti robota je smiselno rezkanje materialov z nekoliko manjšimi specifičnimi rezalnimi silami, kot so različne poliuretanske pene, kompoziti, les in barvne kovine.
3. Robotsko rezkanje je zelo uporabno pri hitri izdelavi kompliciranih prostorskih površin, prototip lahko izdelamo v enem kosu, saj smo manj omejeni z dimenzijami v primerjavi z konvencionalnimi CNC stroji.

6 POVZETEK

V industriji se dandanes roboti in njihove aplikacije uporabljajo v različne namene. Prednjačijo aplikacije za premikanje, zbiranje in sestavljanje različnih elementov, aplikacije poliranja, lakiranja in nanašanja lepil. Predvsem v proizvodnji vozil lahko zasledimo aplikacije varjenja, tako točkovnega, kot tudi linijskega ipd.



Slika 36: Robot, uporabljen pri aplikaciji rezkanja.

Robot se v industriji uporablja najpogosteje v okoljih, ki so za človeka neugodna ali celo nevarna. Prav tako se robotske aplikacije zaenkrat uporablja v namene, pri katerih velika natančnost ni tako pomembna, zahtevana pa je ponovljivost (slika 36).

Le redko pa se pojavljajo aplikacije rezkanja prototipov ali drugih elementov. Vzrok za to lahko iščemo pri še nedodelani programski opremi in manjši togosti robota. Vendar pa je rezkanje z robotom z določenimi omejitvami izvedljivo, kar smo s to diplomsko nalogo tudi dokazali.

Največja težava se zdi veliko število potrebne programske opreme in njihova prilagodljivost za samo aplikacijo rezkanja. Za izdelavo trupa smo uporabili kar tri različne programe. Prav tako je rezkanje z robotom zaradi manjše togosti smiselno le za mehkejše materiale, kot so različne poliuretanske pene in plastike, les ter mehkejše kovine.

V prihodnjih letih se bo programska oprema brez dvoma razvijala in bo predvidena ter optimizirana tudi za aplikacije rezkanja. Sama uporaba robotskih celic z aplikacijo rezkanja v lesni industriji se zdi smiselna, saj je tehnologija v primerjavi z večosnimi obdelovalnimi centri dokaj poceni, zmožnost izdelovanja prostorskih površin je velika in tudi prilagodljivost bo z izboljšanjem programske opreme odlična.

7 VIRI

- Bajd T. 2006. Osnove robotike. 7. izdaja. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: 106 str.
- Bates C. 2006. Move over machine tools here come robots. American Machinist
<http://www.americanmachinist.com/304/Technologies/ShopOperations/Article/False/13386/> (20. sept. 2009)
- Chen Y. H., Hu Y. N. 1999. Implementation of a Robot System for Sculptured Surface Cutting. Part 1. Rough Machining. Advanced Manufacturing Technology, 15: 624–629
- Chen Y. H., Hu Y. N. 1999. Implementation of a Robot System for Sculptured Surface Cutting. Part 2. Finish Machining. Advanced Manufacturing Technology, 15: 624–629
- Dorović A. 2008 Učbenik za CNC tehnologijo.
<http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/cncstr.htm> (1. jan. 2010)
- Hägele M., Nilsson K., Pires J. N. 2008. Industrial Robotics. V: Springer Handbook of Robotics. Sicilino, Khatib (eds.). Bia: 963-986
- KUKA Robot Group. 2008. KUKA System Software 5.2, 5.3, 5.4. Navodila za uporabo in programiranje za končnega uporabnika. Augsburg. KUKA Roboter GmbH
- KUKA Robot Group. 2008. Varnost. Za robotski sistem KUKA EU. Augsburg. KUKA Roboter GmbH
- KUKA Robot Group. 2008. Varnostna navodila in navodila za namestitvev. Augsburg. KUKA Roboter GmbH

Park J. W., Jung G. L., Cha S. J. 2009. Near Net-Shape Five-axis Face Milling of Marine Propellers. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 10, 4: 5-12

SolidCAM. Priročnik SolidCAM 2009, 2009

<http://www.solidcam.si/pdf/Priro%C4%8Dnik%20SolidCAM%202009%20HSM.pdf>

(14. avg. 2009)

Webb G., Morel M. K. 2005. Robots: The Lower Cost, More Flexible Process

Improvement Alternative to CNC Machine Tools. Robotics Online

http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/Robots:-The-Lower-Cost-More-Flexible-Process-Improvement-Alternative-to-CNC-Machine-Tools/content_id/1074 (20. sept. 2009)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof.dr. Bojanu Bučarju za pomoč pri izvedbi in zasnovi diplomske naloge. Za recenzijo se zahvaljujem doc. dr. Dominiki Gornik Bučar.

Za pomoč pri izvajanju eksperimentalnega dela naloge in iskanju literature se zahvaljujem dr. Bojanu Gospodariču, dr. Miranu Merharju in dipl. inž. Dragu Vidicu.

Za pomoč pri oblikovanju diplomske naloge se zahvaljujem prof.slov. in soc., bibliot. Darji Vranjek.

Zahvala gre tudi družini in dekletu ter vsem ostalim, ki so mi bili v oporo in pomoč v času izdelave diplomske naloge.