

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž BOŠTJANČIČ

**ZASNOVA STRUŽNEGA APARATA ZA CNC OBDELOVALNI
STROJ**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Tomaž BOŠTJANČIČ

ZASNOVA STRUŽNEGA APARATA ZA CNC OBDELOVALNI STROJ

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**DESIGN OF THE LATHE AGGREGATE FOR CNC CULTIVATION
MACHINE**

GRADUATION THESIS
Higher Professional Studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Zasnova stroja je bila izvedena v laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije lesa na Oddelku za lesarstvo.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela določil prof. dr. Bojana BUČARJA, za recenzentko pa doc. dr. Dominiko GORNIK BUČAR.

Mentor: izr. prof. dr. Bojan Bučar

Recenzentka: doc. dr. Dominika Gornik Bučar

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Tomaž Boštjančič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Vs
DK UDK 674.05
KG CNC/zasnova/stružnica/programiranje
AV BOŠTJANČIČ, Tomaž
SA Bučar, Bojan (mentor)/Gornik Bučar, Dominika (recenzentka)
KZ S1-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI 2011
IN ZASNOVA STRUŽNEGA APARATA ZA CNC OBDELOVALNI STROJ
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP X, 56 str., 48 sl., 12 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete so izdelali 3-osni CNC rezkalni stroj mostne izvedbe. Naloga opisuje izvedbo dodatne 4. osi v kombinaciji s struženjem. Kot prvo dodatno operacijo lahko stroj izvaja CNC struženje, kot drugo 4-osno rezkanje. Glavno gred poganja 2-polni asinhronski elektromotor za struženje in servo motor za pozicioniranje prek enostavnega menjalnika. Pred asinhronskim motorjem je frekvenčni pretvornik za regulacijo vrtiljajev. Med servo motorjem in pogonsko jermenico je planetni reduktor za zmanjšanje vrtilne hitrosti in povečanje navora. Konstantna pritisna sila na konjičku za vpenjanje je zagotovljena s pomočjo pnevmatskega pritisknega valja. Uporabljeni modelirni program je SolidWorks, kjer je aparat zmodeliran in načrtovan. SolidWorks se uporablja tudi za modeliranje izdelkov, ki jih kasneje obdelamo na stroju. Kot CAM programsko orodje je uporabljen program SolidCAM, ki je nadgradnja SolidWorksa. Kontrolni program stroja je Mach3. Ugotovili smo, da je relativno enostavno in z nizkimi stroški nadgraditi CNC rezkalni stroj in mu z dodano osjo povečati uporabnost.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 674.05
CX CNC/design/lathe/programming
AU BOŠTJANČIČ, Tomaž
AA Bučar, Bojan (supervisor)/Gornik Bučar, Dominika (reviewer)
PP S1-1000 LJUBLJANA, Rožna dolina, c. VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2011
TI DESIGN OF THE LATHE AGGREGATE FOR CNC CULTIVATION MACHINE
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO X, 56 p., 48 fig., 12 ref.
LA sl
AL sl/en
AB At the Department of Wood Science and Technology of the Biotechnical Faculty, a 3-axis CNC wood router has been constructed. The thesis describes an implementation of an additional, 4th axis, in combination with a turning operation. The first additional operation enabling this is CNC turning, and the 2nd is 4-axis routing. Main shaft is driven by a 2-pole asynchronous electric motor used for turning, and a servo motor with a simple gearbox for positioning. The asynchronous motor is driven by a frequency converter regulating the speed of the motor. Between the servo motor and the drive belt, there is a planetary reduction unit for speed reduction/torque increase. Constant axial force on the mounting chuck is provided by a pneumatic cylinder. The entire machine has been modelled/blueprinted using the SolidWorks CAD package, which is also used for modelling the objects that are to be produced using the machine. The CAM program used is SolidCAM, which is available as an upgrade of SolidWorks. The CNC control programme used by the machine is Mach3. We have found that it is possible to extend the capabilities of a CNC machine with some additional operations relatively simply and without much expense.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 OBSTOJEČI SISTEMI	2
1.3 CILJ NALOGE	3
1.4 HIPOTEZE.....	4
2 OBSTOJEČE STANJE IN PREGLED OPERACIJ.....	5
2.2 PREGLED OPERACIJE REZKANJA	6
2.3 PREGLED OPERACIJE STRUŽENJA	6
2.4 PREGLED ZDRUŽENIH OPERACIJ REZKANJA IN STRUŽENJA	8
3 IZVEDBA STRUŽNEGA AGREGATA.....	10
3.1 KONSTRUKCIJA STRUŽNEGA AGREGATA.....	10
3.1.1 Prestavni sistem.....	10
3.1.2 Prenos vrtilnega momenta.....	15
3.1.3 Napenjanje jermenov	16
3.1.4 Izvedba uležajenja.....	17
3.1.5 Obdelovalna orodja.....	19
3.2 KONSTRUKCIJA KONJIČKA	21
3.2.1 Vpenjanje obdelovanca.....	22
3.3 PRITRDITEV STRUŽNEGA AGREGATA IN KONJIČKA	22
3.4 POGON STRUŽNEGA AGREGATA	24
3.4.1 Elektromotor za struženje	24

3.4.1.1	Izbira elektromotorja	24
3.4.2	Frekvenčni pretvornik	25
3.4.2.1	Uporabljen frekvenčni pretvornik	25
3.4.3	Elektromotor za pozicioniranje	26
3.4.3.1	Izbira servo-motorja	26
3.4.4	Reduktor	27
3.4.4.1	Izbira reduktorja	27
3.4.5	Nastavljanje servo pogona	28
4	PROGRAMSKA OPREMA	30
4.1	PROGRAMI CAD	30
4.1.1	SolidWorks	31
4.2	CAM PROGRAMI	33
4.2.1	Proces obdelave	34
4.2.1.1	Groba obdelava	34
4.2.1.2	Polkončna obdelava	34
4.2.1.3	Končna obdelava	35
4.2.1.4	Rezkanje profilov (<i>Contour</i>)	35
4.2.2	SolidCAM	35
4.2.3	Postprocesor	35
4.3	KONTROLNI PROGRAMI	36
4.3.1	Mach3	36
4.3.1.1	Čarovniki	37
5	OD IDEJE DO IZDELKA	39
5.1	RISANJE MODELA	39
5.2	NASTAVLJANJE IN PRIPRAVA OPERACIJ V CAM PROGRAMU	40
5.2.1	Koordinatni sistem	41
5.2.2	Velikost surovca (<i>Material Boundary</i>)	41
5.2.3	Vpenjalna glava	42
5.2.4	Postprocesor	42
5.2.5	Model (<i>Target Model</i>)	42
5.2.6	Značilnosti orodij	42

5.2.7	Nastavitev operacije struženja	42
5.2.8	Nastavitev operacije rezkanja	44
5.3	IZDELOVANJE G-KODE V CAM PROGRAMU	46
5.4	UVOZ G-KODE V KONTROLNI PROGRAM IN DELOVANJE PROGRAMA	47
5.5	IZDELAVA IZDELKA	48
5.5.1	Priprava valja	48
5.5.2	Struženje valja	49
5.5.3	Rezkanje napisa	50
5.6	PREDSTAVITEV IZDELKOV	51
6	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	54
7	POVZETEK.....	55
8	VIRI	56
 ZAHVALA		

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Stružnica proizvajalca Sahos, model Galaxy	2
Slika 2: Stružnica proizvajalca Sahos, model Galaxy, stružne glave	2
Slika 3: Stružnica Wema Conquest	3
Slika 4: 3-osni CNC rezkalni stroj	5
Slika 5: Operacija rezkanja	6
Slika 6: Operacija struženja	7
Slika 7: Primer montaže stružnega agregata na obstoječi CNC rezkalni stroj	8
Slika 8: Primeri izdelkov, ki bodo lahko izdelani na našem stroju	9
Slika 9: Princip delovanja enostavnega menjalnika	10
Slika 10: Obdelana utorna gred	11
Slika 11: Obdelana utorna puša	12
Slika 12: Pomični obroč	13
Slika 13: Fiksiranje s plastičnim distančnikom	13
Slika 14: Prerez prosto vrteče se zobate jermenice	14
Slika 15: Sestavljena prosto vrteča se jermenica	15
Slika 16: Pritrditev zobnika na gred s pomočjo konične puše	16
Slika 17: Spodnja stran pritrditvene plošče, napenjanje jermenov	17
Slika 18: Načini razporeditev ramenskih ležajev	17
Slika 19: Prerez osi predležajenja	18
Slika 20: Sestavljen stružni agregat	19
Slika 21: Nož za struženje	20
Slika 22: Rezkalno orodje	20
Slika 23: Konjiček	21
Slika 24: Vpenjalni mehanizem	22
Slika 25: Utorna plošča	23
Slika 26: Sestavljen agregat in voziček	24
Slika 27: Elektromotor Tiba	25
Slika 28: Frekvenčni pretvornik Omron V1000	26
Slika 29: Servo motor Mitsubishi HC-MFS43	27
Slika 30: Planetni reduktor Vogel MPR	28
Slika 31: Senzor merjenja kotnih stopinj	29
Slika 32: Kontrolni program Mach3	37
Slika 33: Risanje valja z besedilom	39
Slika 34: Izbira Mill-Turn načina obdelave	40
Slika 35: Nastavljanje programa	41
Slika 36: Nastavljanje operacije struženja	43
Slika 37: Simulacija struženja	44
Slika 38: Izbira profilnega rezkanja	44
Slika 39: Nastavljanje operacije rezkanja	45
Slika 40: Simulacija rezkanja	46
Slika 41: Izdelava G-kode	47
Slika 42: Delovanje programa Mach3	48
Slika 43: Vpeta prizma	49
Slika 44: Struženje valja	50

Slika 45: Rezkanje napisa	51
Slika 46: Dvojni navoj	52
Slika 47: Zaviti valj in »dvojni kelih«	52
Slika 48: Napis Rojc	53

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Pojem CNC strojev je v svetu poznan že dolgo časa. CNC tehnologija se je razširila iz kovinarske v lesno stroko, kjer doživlja razcvet, saj skoraj ne vidimo več podjetja, ki ne bi imelo CNC strojev.

CNC stroj lahko ovrednotimo glede njegove namembnosti oz. glede na to kolikšno število operacij je zmožen opravljati. Lahko ga tudi ovrednotimo glede na vrsto del, ki jih je zmožen opravljati, npr. rezkanje, struženje, brušenje, lakiranje, rezanje ...

V zadnjem času se lahko srečamo s kombiniranimi CNC stroji, kar pomeni, da je lahko več operacij združenih na enem stroju ali pa celo združitev operacij. Teh strojev je relativno malo, vendar verjamem, da se bo njihovo število v prihodnosti bistveno povečalo. Razlogov za njihovo uveljavljanje pa je več. Če narava izdelka zahteva dve posamezni obdelovalni operaciji potrebujemo normalno dva različna stroja, kar pomeni precejšen strošek pri nakupu teh strojev. Stroški pa se pojavijo tudi pri medfaznem transportu izdelkov. Če pa bi bila mogoča zamenjava dveh različnih strojev z enim samim, ki bi zmožel operacije obeh, bi privarčevali pri nakupu samih strojev, medfaznih transportih in številu delavcev. Torej, razlogov za razmišljanje o združitvi CNC tehnologij je več. Obstajajo tudi proizvajalci, ki že ponujajo to vrsto tehnologije.

V laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije je bil izdelan 3-osni CNC rezkalni stroj. Želja je bila, da se funkcionalnost in uporabnost stroja razširi z dodatkom stružnega agregata. Tako bi praktično dobili dva stroja v enem z relativno nizkimi stroški.

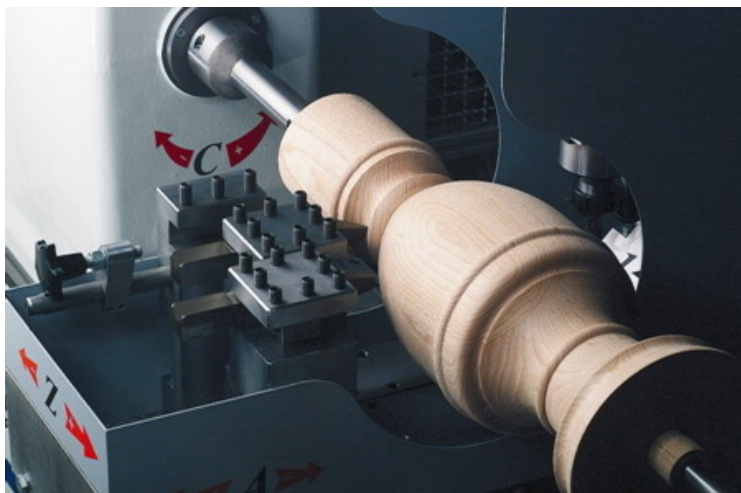
1.2 OBSTOJEČI SISTEMI

Stroji, s katerimi lahko izdelujemo podobne produkte, že obstajajo. Še več, pojem CNC stružnic je znan že kar nekaj časa. Vendar so CNC stružnice z možnostjo rezkanja na tržišče prišle v bližnji preteklosti.

Enega tovrstnih strojev ponuja podjetje Sahos iz Češke pod komercialnim imenom Galaxy. Stroj omogoča tako CNC struženje kot rezkanje po celi struženi površini obdelovanca. Ima vgrajen rezkalni agregat in servo-motor za pozicioniranje struženega elementa. Premore tudi avtomatsko vstavljanje obdelovancev in seveda tudi odstavljanje.



Slika 1: Stružnica proizvajalca Sahos, model Galaxy (Sahos, 2010)



Slika 2: Stružnica proizvajalca Sahos, model Galaxy, stružne glave (Sahos, 2010)

Podobno kot Sahos, ponuja tudi proizvajalec Wema CNC stružnico pod komercialnim imenom Conquest. Ta stružnica ponuja 4 osi. Osnovne tri so enake kot pri stružnici Galaxy, četrta pa ponuja nagib rezila pri struženju mrtvih kotov, ki jih sicer ne bi uspeli obdelati. Stroj omogoča avtomatsko vpenjanje in odstavljanje obdelovancev.



Slika 3: Stružnica Wema Conquest (Wema, 2010)

Na tržišču poleg teh dveh proizvajalcev obstajajo še številni drugi (CNC Auto-Motion Columnmaster CNC Lathe, Techno CNC Wood Lathe, Holytek–Back Knife Lathe ...).

1.3 CILJ NALOGE

Izdelati CNC stružni agregat, ki ga bo mogoče namestiti na obstoječi CNC rezkalni stroj mostne izvedbe z minimalnimi stroški izdelave in optimalno izkoriščenostjo prostora. Ta dodatek stroju pa mora biti seveda skladen z obstoječim krmilim sistemom rezkalnega stroja. Bil naj bi tudi snemljiv in tako bi dobili dva stroja v enem. Poleg vrtenja obdelovanca za struženje naj bi agregat zmožal tudi natančno pozicioniranje, kar bi pomenilo, da lahko struženi element naknadno še rezkamo po vsej struženi površini.

Najenostavnejša rešitev bi seveda bil nakup velikega servo-motorja, ki bi zagotavljal tako zadostno moč kot veliko število obratov in možnost pozicioniranja. Takšna rešitev je resda najenostavnejša, vendar je tudi zelo draga. Zato smo se odločili za kombinacijo trifaznega dvopolnega asinhronskega elektromotorja, ki služi za samo struženje in pa manjšega servomotorja, ki služi za natančno pozicioniranje.

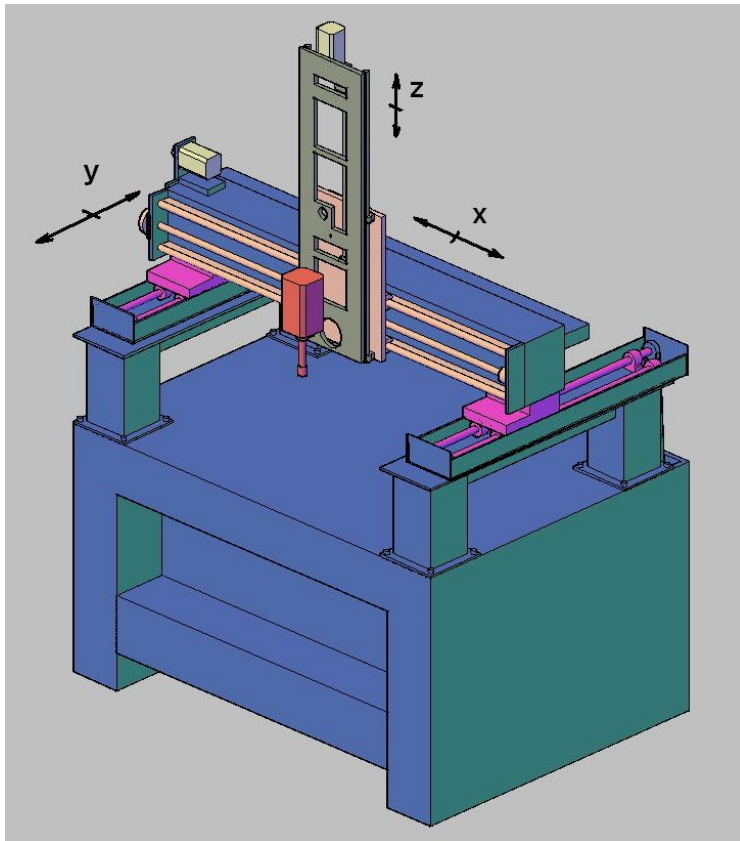
1.4 HIPOTEZE

Na obstoječo konstrukcijo CNC rezkalnega stroja je možno dodati primerno zasnovan stružni agregat in dodatno krmiljeno rotacijsko os. Na ta način se močno poveča uporabnost stroja in dodatno izkoristi možnosti obstoječega krmilnega sistema.

2 OBSTOJEČE STANJE IN PREGLED OPERACIJ

2.1 OBSTOJEČI 3-OSNI CNC REZKALNI STROJ

Na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije je bil izdelan triosni CNC rezkalni stroj za raziskovalne namene. Konstrukcija stroja s svojo mostno izvedbo omogoča namestitvev agregata, ki nam bo omogočal izvajanje dodatne operacije. Rezkalni agregat je nameščen nad delovno mizo, kar pomeni, da je miza prosta vseh vodil in tako imamo prostor za postavitev vpenjalnega sistema in za strožni agregat.

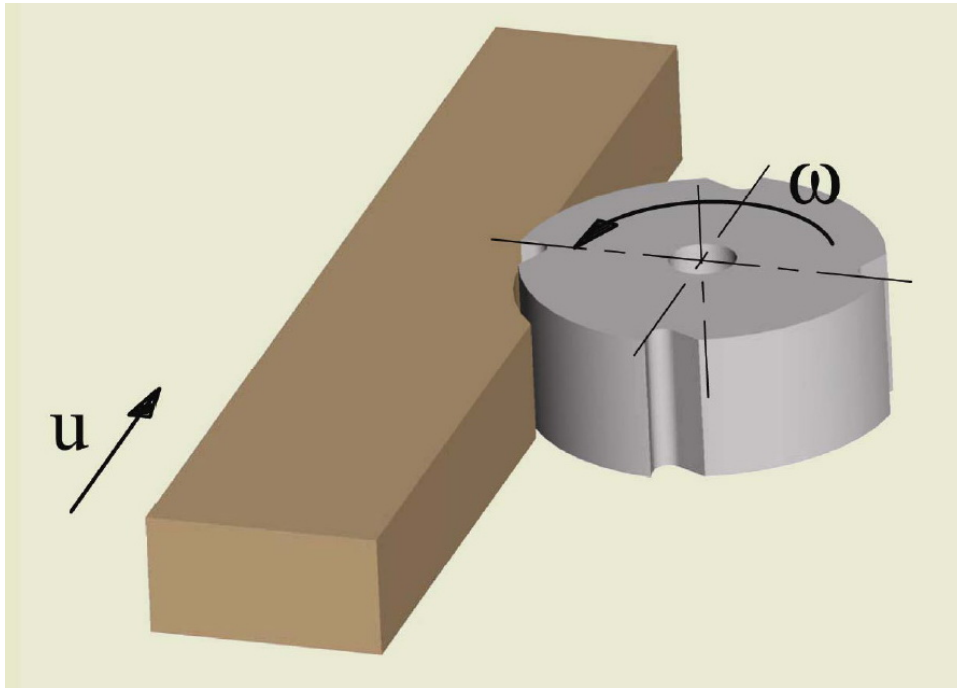


Slika 4: 3-osni CNC rezkalni stroj

Na sliki je prikazan triosni CNC rezkalni stroj Katedre za mehanske obdelovalne tehnologije. Manjka sicer vpenjalna naprava za obdelovance, vendar se jasno vidi princip medsebojnega delovanja vodil, ki tvorijo skupaj tri osnovne obdelovalne osi.

2.2 PREGLED OPERACIJE REZKANJA

Rezkanje je v lesnoobdelovalni industriji izredno pogosta operacija. Z rezkanjem lahko izdelujemo razne profile (okenske, okrasne, za polnila masivnih omar...), zaokrožene robove, utore, brazde...



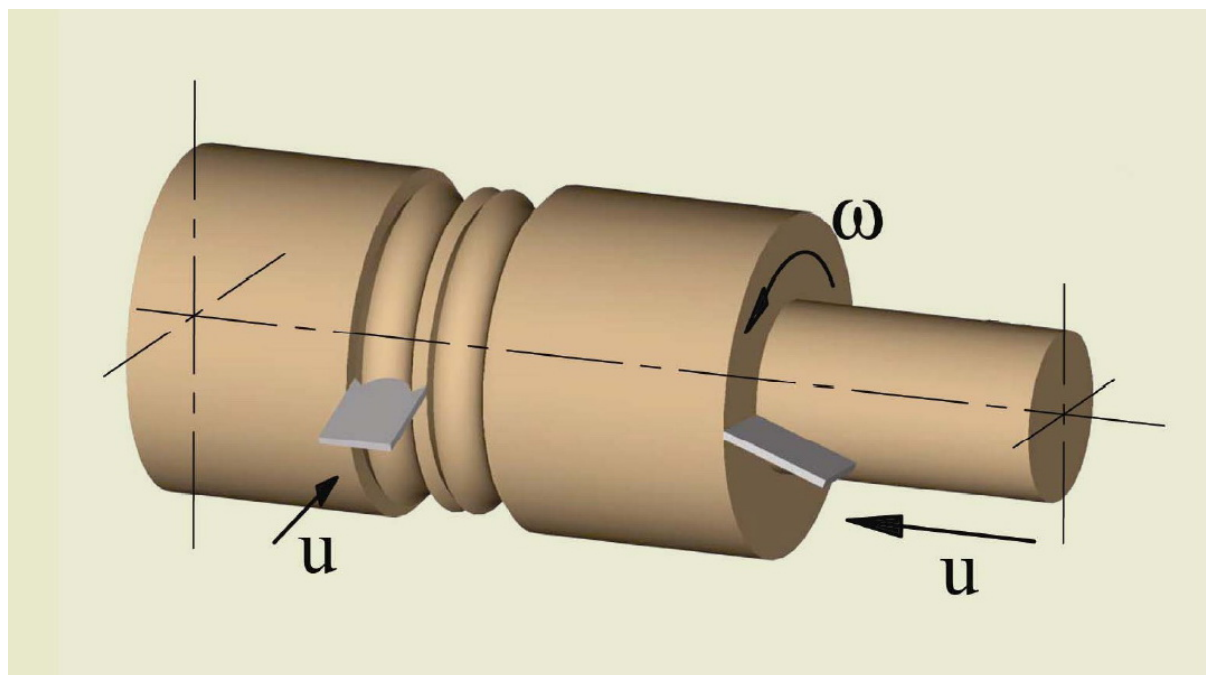
Slika 5: Operacija rezkanja (Predavanja Mehanske obdelave lesa, 2008)

CNC rezkanje je nekakšen nadomestek miznega in nadmiznega rezkanja. Bistvena razlika pa je v hitrosti nastavljanja stroja, hitrosti dela, varnosti in raznolikosti del, ki jih lahko opravljamo. Vse te lastnosti govorijo seveda v prid CNC rezkalnega stroja.

2.3 PREGLED OPERACIJE STRUŽENJA

Mirno lahko rečemo, da je struženje manj uporabljena obdelovalna operacija v lesnoobdelovalni industriji, saj je dandanes uporaba struženih elementov močno omejena tako s strani uporabnosti kot trendovsko. Stružene izdelke lahko najdemo kot noge (stolov, miz, omar...), ograjne stebre, okrasne izdelke, razne valje...

Obdelovanec, ki je navadno kvadratnega ali mnogokotnega preseka, centrično vpnemo med pogonsko os in t. i. konjička. Obdelovanje se začne, ko pričnemo z vrtenjem obdelovanca in hkrati pričnemo vanj potiskati nož. Razlika v medsebojnih tehnologijah je v tem, kako potiskamo nož v obdelovanec.



Slika 6: Operacija struženja (Predavanja Mehanske obdelave lesa, 2008)

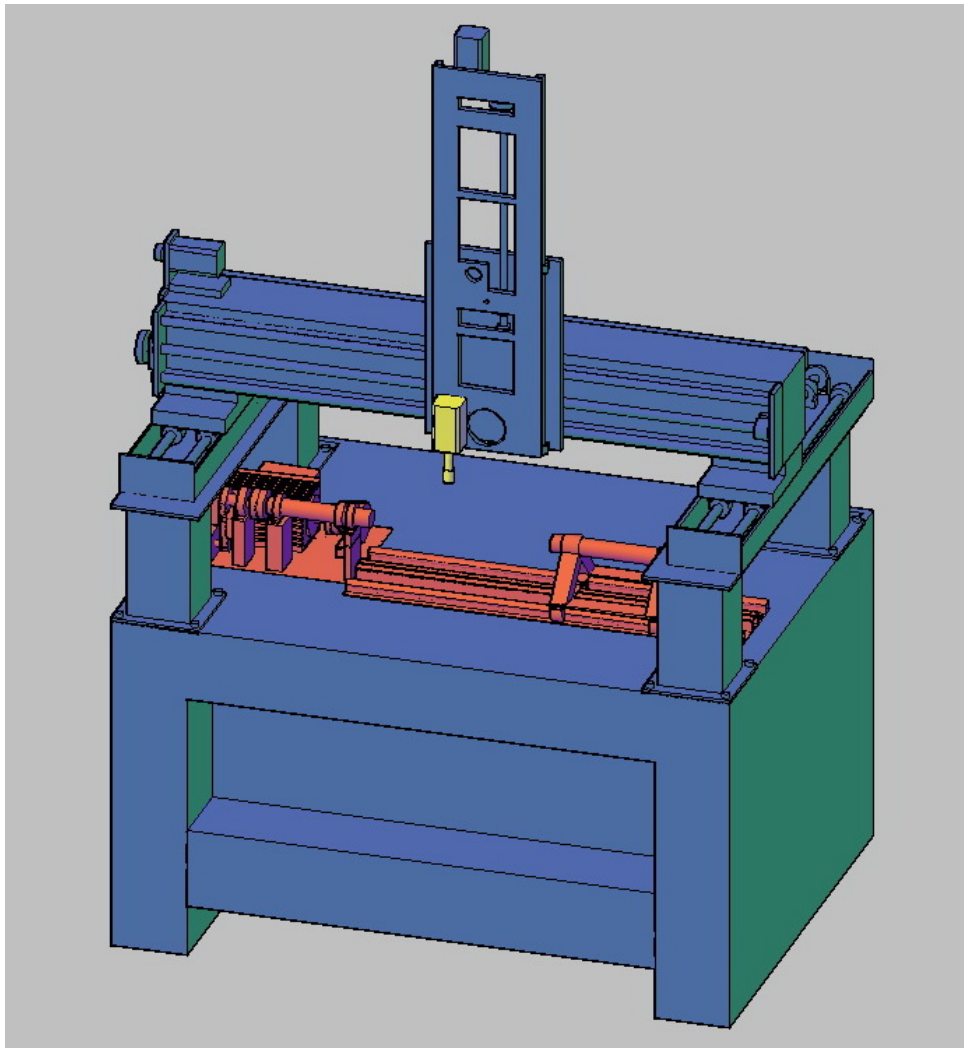
Pri obrtniškem načinu struženja je nož voden ob prislonu. Ta način je primeren za majhne obrtnike, saj je zelo zamuden in je težko doseči dva enaka izdelka.

Kopirno struženje je idealno za velikoserijsko proizvodnjo. Nož je voden po šabloni, ki jo prej ročno izdelamo. Slaba stran tega struženja je zamudna menjava oblike končnega obdelovanca, saj moramo izdelati novo šablono.

CNC struženje zajema vse prednosti zgornjih dveh in ima pri tem le eno pomanjkljivost, ceno. Dandanes je v sodobnem podjetništvu izjemnega pomena hitra in učinkovita prilagodljivost ter vsestranskost proizvodnje. Vse to ponuja struženje s CNC tehnologijo.

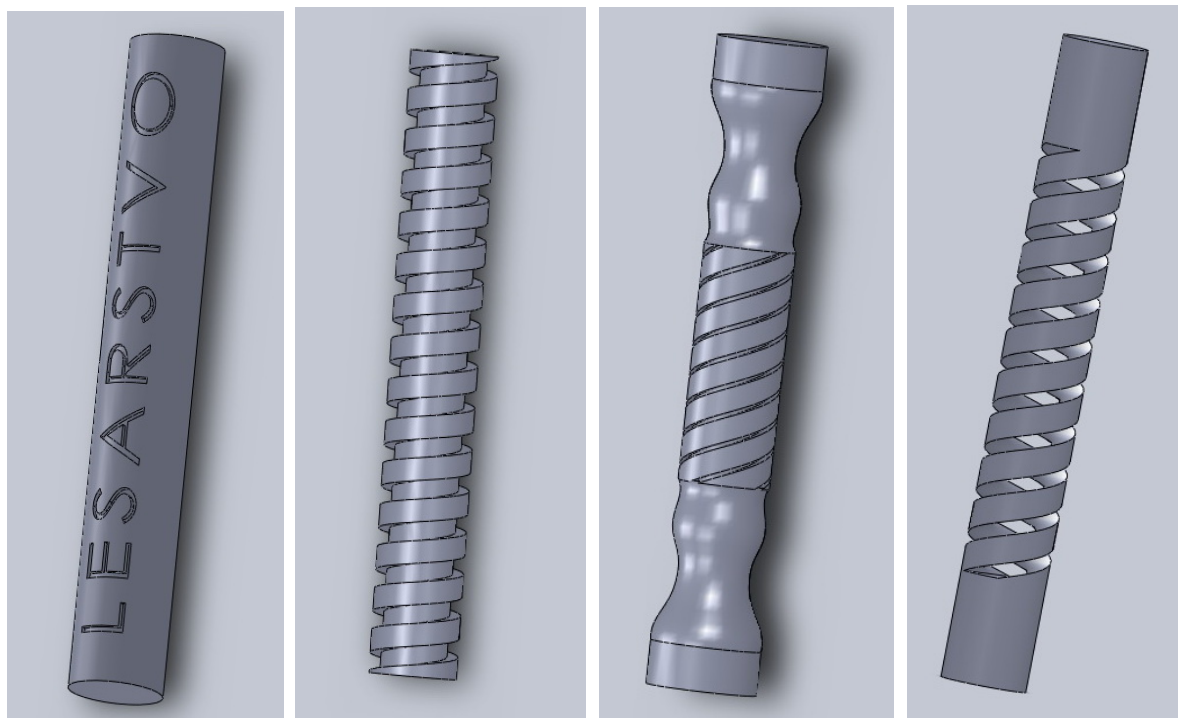
2.4 PREGLED ZDRUŽENIH OPERACIJ REZKANJA IN STRUŽENJA

Združenje operacij si lahko najlažje predstavljamo tako, da stružni nož zamenjamo z rezkalnim agregatom, na katerem je vpeto rezkalno orodje. Ker pa tudi s tem ne moremo početi kaj dosti, moramo zagotoviti kontrolirano vrtenje stružne osi. Od tod poseben stružni agregat z vgrajenim servomotorjem.



Slika 7: Primer montaže stružnega agregata na obstoječi CNC rezkalni stroj

Na tem stroju lahko izdelujemo enake elemente kot na CNC stružnici, le da lahko že stružene elemente (valje, razne profile, okrogline ...) rezkamo. Rezanje pa s pomočjo servomotorja lahko izvajamo kontrolirano po vsej površini, torej po vseh 360 ° okrogline. S takšnim strojem lahko izdelujemo razne stebre ograj, navoje, lesene vijake, okrasne valje ...



Slika 8: Primeri izdelkov, ki bodo lahko izdelani na našem stroju

3 IZVEDBA STRUŽNEGA AGREGATA

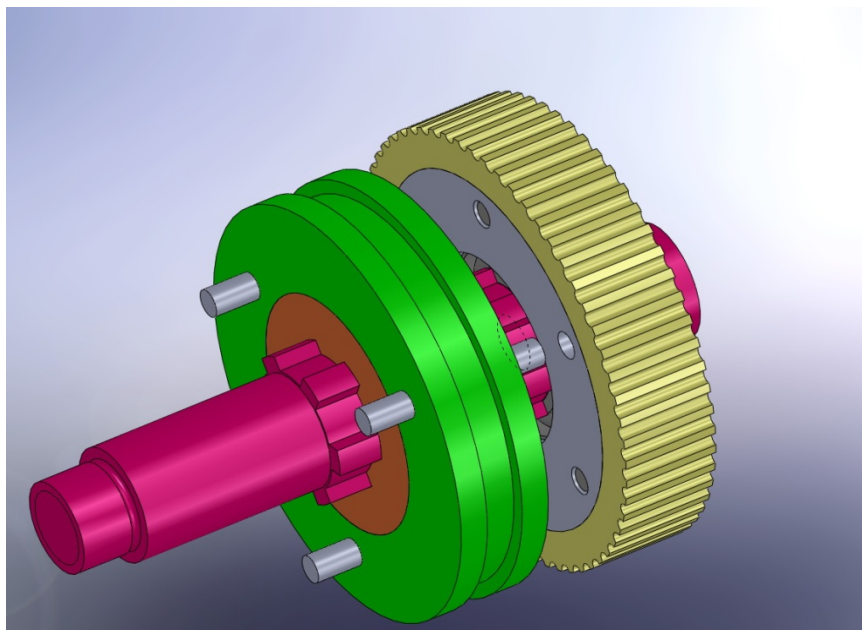
Ko smo se odločili za kombinacijo dveh različnih vrst motorjev, je nastalo vprašanje, kako in s čim povezati omenjena elektromotorja med seboj, da bosta tvorila uporabno celoto. Ta celota pa se mora skladati z obstoječim CNC strojem.

3.1 KONSTRUKCIJA STRUŽNEGA AGREGATA

Stružni agregat je bil v celoti zmodeliran v računalniškemu programu SolidWorks v laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije na Oddelku za lesarstvo. Kasneje so bili tudi vsi načrti za izdelavo delov izdelani v tem programu. Skice, ki so spodaj prikazane, so ravno tako vzete iz programa SolidWorks.

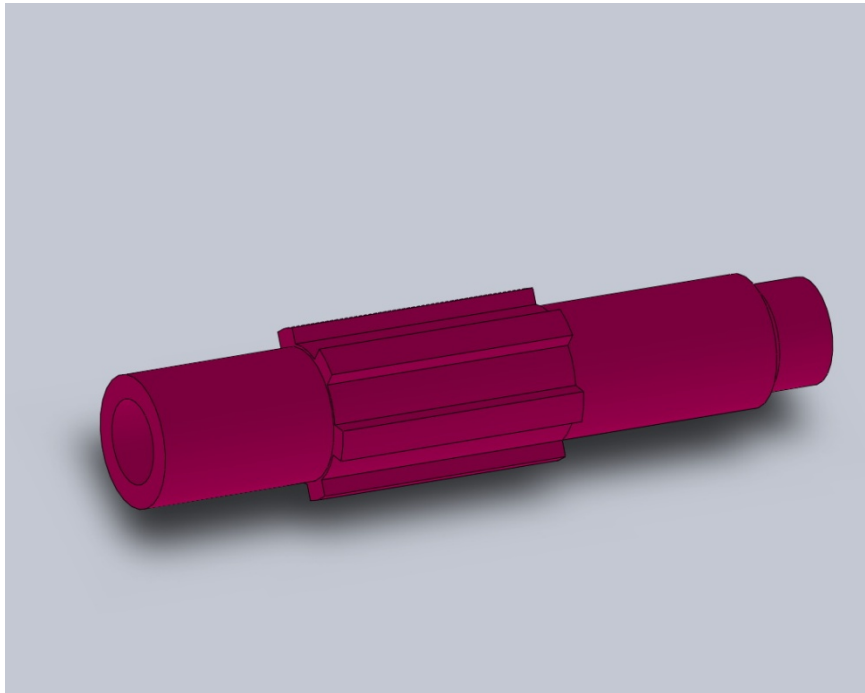
3.1.1 Prestavni sistem

Prestavljanje med navadnim in servo-motorjem je izvedeno s pomično utorno pušo, ki potuje po utorni gredi. Na tej puši je pričvrščen poseben obroč z mozniki, ki potuje skupaj z njo po utorni gredi.



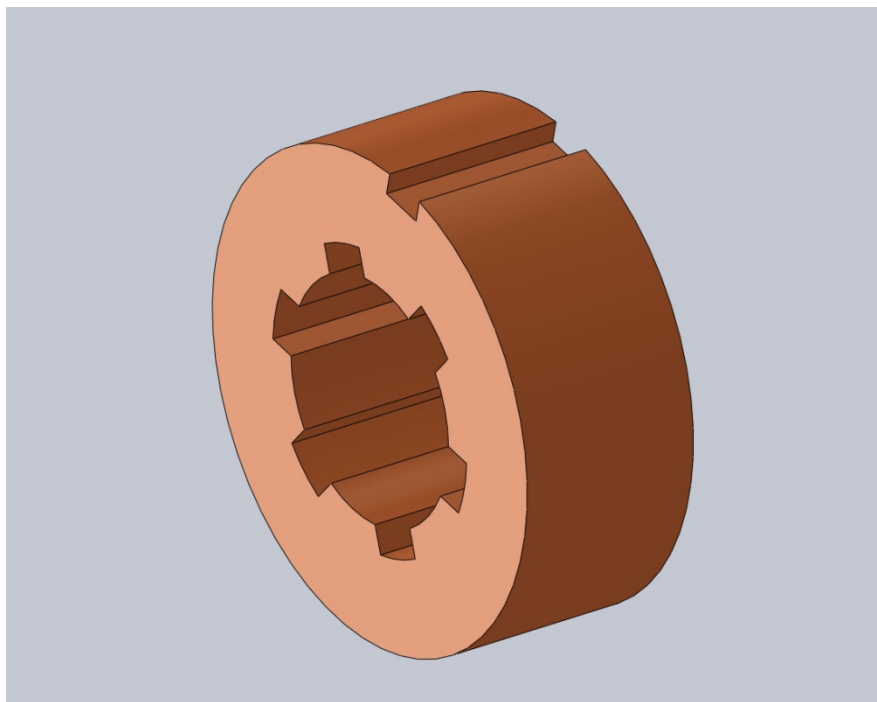
Slika 9: Princip delovanja enostavnega menjalnika

Izhodišče za našo utorno gred je bila standardizirana gred DIN 5463 dimenzij $D = 32$ mm in $d = 26$ mm ter dolžine 140 mm. Potrebno je bilo narediti ležišča za tri ležaje enakih dimenzij, desni navoj M 20 mm, izvrtino $\varnothing 16$ mm z notranjim levim navojem M 12 $\times$ 1.25.



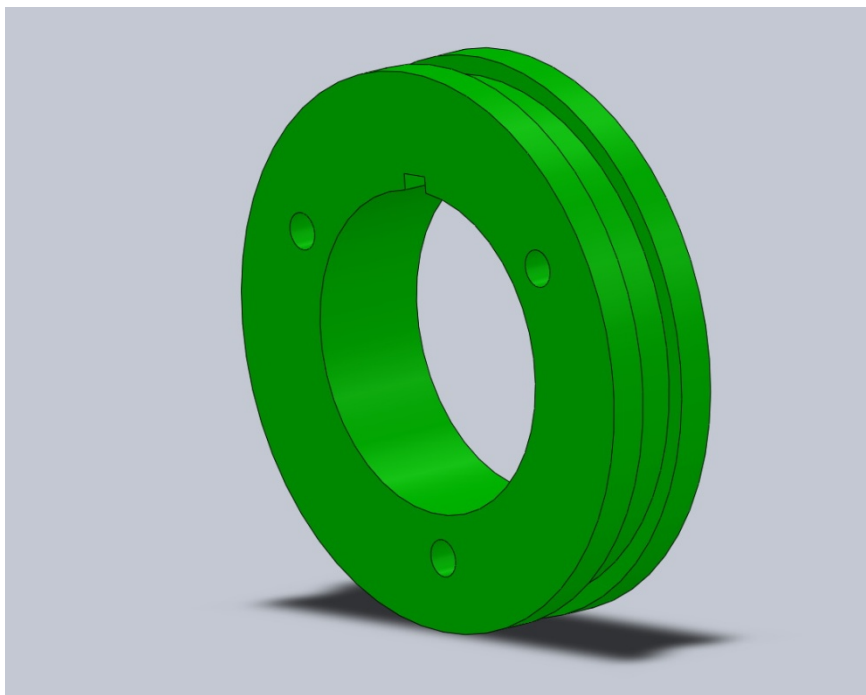
Slika 10: Obdelana utorna gred

Uturna jeklena puša, ki nalega na utorno gred, je ravno tako standardizirana, in sicer: DIN 5463, dimenzij $D = 32$ mm in $d = 26$ mm ter dolžine 60 mm. Tudi pušo je bilo potrebno predelati. Najprej jo je bilo potrebno skrajšati na 20 mm, nato pa še urezkati utor po celi dolžini dimenzij 5×2.5 mm. V ta utor kasneje vstavimo moznik $5 \times 5 \times 20$ mm.



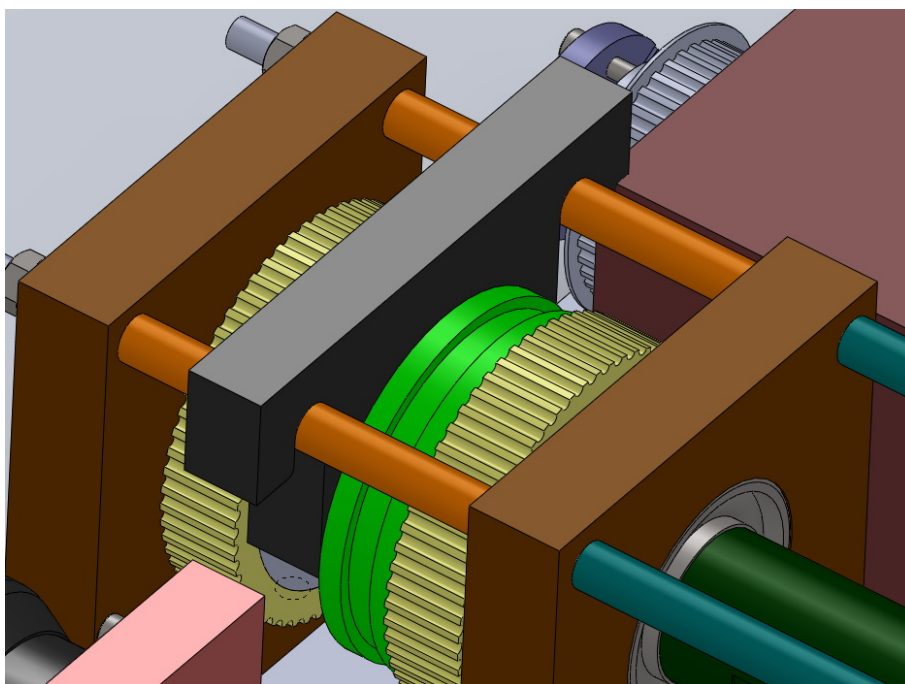
Slika 11: Obdelana utorna puša

Pomični obroč z mozniki se tesno prilega na utorno pušo, morebiten zdrs med elementoma pa preprečuje moznik standarda DIN 6885 A in dimenzij $5 \times 5 \times 20$ mm. Ravno tako kot pri utorni puši, je bilo tudi tukaj potrebno izdelati utor za moznik dimenzij 5×5 mm po celi debelini obroča. Izdelane so tudi izvrtine za tri orodjarske zatiče $\varnothing 6 \times 35$ mm, ki nalegajo na izvrtine v jermenicah. Po obodu je izdelan utor za fiksiranje pozicije obroča, ko je na želenem mestu.



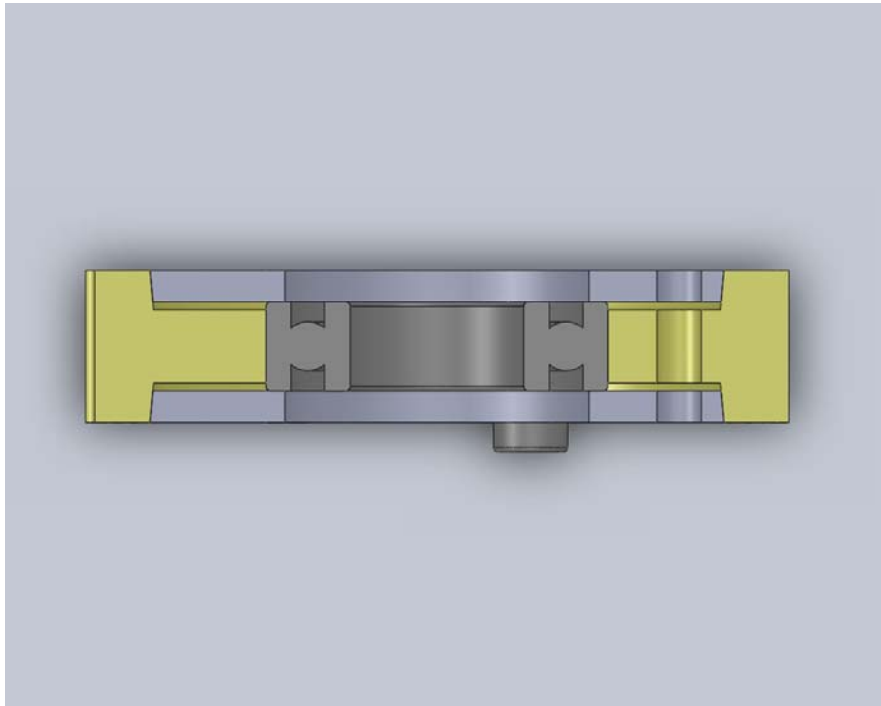
Slika 12: Pomični obroč

Jermenice imajo takšne izvrtine, da vanje nasedejo mozniki, ki so pritrjeni na pomični obroč. Tako se prenaša vrtilni moment preko moznikov na pomični obroč in nadalje preko utorne puše na gred. Pomični obroč se, ko je na zeleni poziciji, fiksira s plastičnim distančnikom.



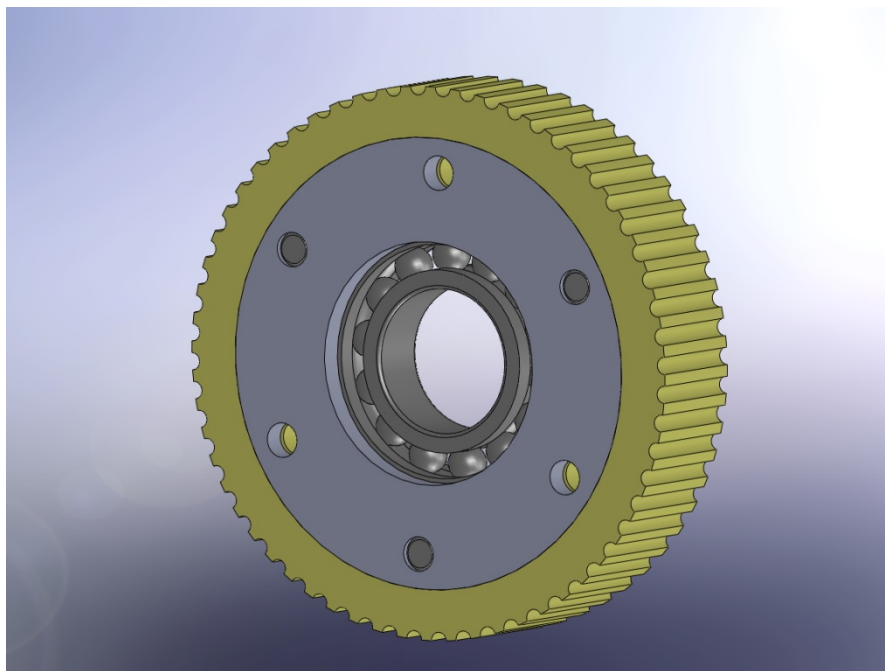
Slika 13: Fiksiranje s plastičnim distančnikom

Zagotoviti moramo prosto vrtenje jermenice, ki trenutno ni v uporabi. Torej, ko imamo vrtenje servo-motorja, jermenica, na katero je povezan navaden elektromotor, miruje oz. se prosto vrti in seveda obratno. To smo dosegli z uležajenjem obeh jermenic na utorni gredi.



Slika 14: Prerez prosto vrteče se zobate jermenice

Izhodišče za prosto vrtečo zobato jermenico je predstavljal zobnik proizvajalca SKF, model PHP 60 – 5M – 15 RSB, tip 1. Zaradi dimenzij smo se odločili za takšno vpenjanje ležaja kot je razvidno iz slik. V nasprotnem primeru bi lahko enostavno izdelali dva utora in tako, bi vskočna obroča držala ležaj. V tem primeru pa omejujeta ležaj pri premikanju v aksialni smeri dva obroča, ki konično nasedata na jermenico. Obroča sta med seboj povezana s tremi vijaki.

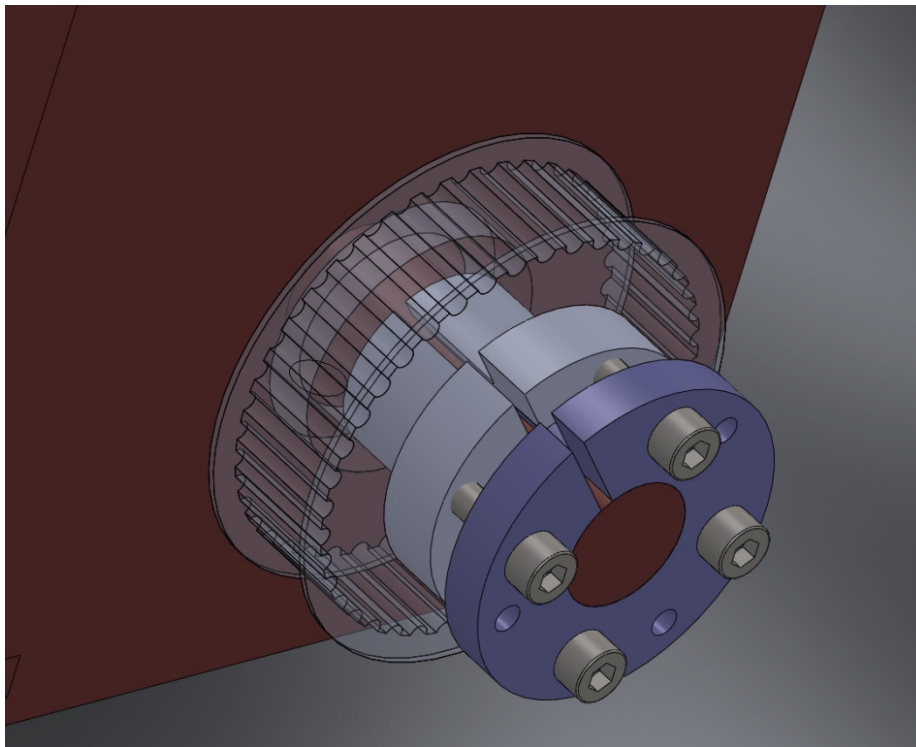


Slika 15: Sestavljena prosto vrteča-se zobata jermenica

3.1.2 Prenos vrtilnega momenta

Tako se torej vrtilni moment iz dveh pogonskih agregatov prenaša preko zobatih jermenic in zobatega jermena. Jermenici na navadnem in servo-motorju sta ravno tako od proizvajalca SKF. Manjši, ki je nameščen na servo-motorju, je model PHP 30 – 5M – 15 RSB, tip 1F, večji, ki je namenjen TIBA motorju pa PHP 40 – 5M – 15 RSB, tip 1F. Prva številka pomeni število zob, ki jih ima jermenica, 5M pomeni korak med dvema zoboma, tretja številka pa pomeni širino jermena in jermenice. Pri tovrstnih jermenskih prenosih je nujno potrebno, da ima vsaj ena jermenica od dveh v sklopu rob, ki preprečuje zdrs jermena z jermenice. Pri omenjenih modelih jermenic pomeni tip 1F jermenico z robom.

Jermenici sta pritrjeni na motorja s koničnimi vijaknimi pušami proizvajalca Chiaravalli, model RCK 80. Manjša je dimenzij $d = 14$ mm, $D = 23$ mm, večja pa $d = 20$ mm in $D = 28$ mm. Takšna zveza je zelo trdna, enostavna za montažo in demontažo ter izjemno točna, saj temelji na koničnem nasedu.



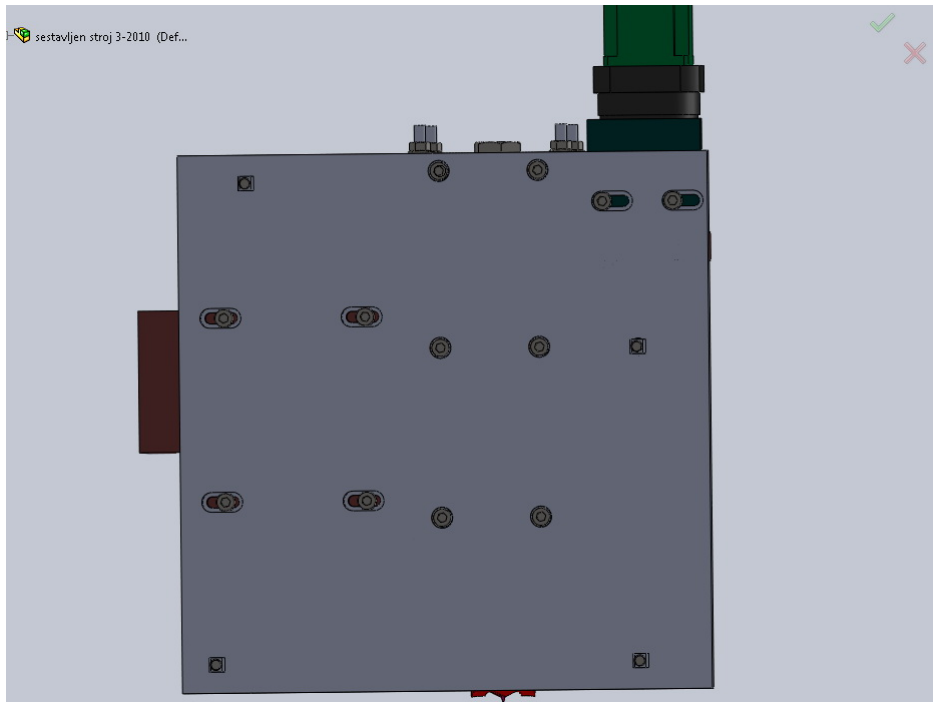
Slika 16: Pritrditev zobnika na gred s pomočjo konične puše

Jermena, ki povezujeta jermenici, sta ravno tako od proizvajalca SKF, model PHG 5M širine 15 mm. Manjši, ki povezuje servo-motor in večjo jermenico, je dolg 470 mm, večji pa 550 mm. Dolžine potrebnih jermenov lahko enostavno določimo v računalniškem modelirnem programu SolidWorks.

Ta vrsta prenosa dopušča točnost in velike vrtilne momente ter hitrosti.

3.1.3 Napenjanje jermenov

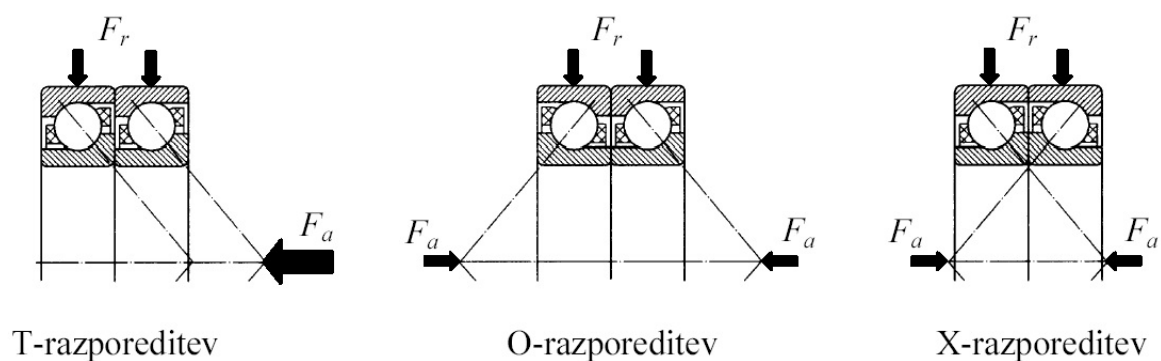
Napenjanje jermenov je izvedeno ročno, in sicer s podaljšanimi izvrtinami za vijačno pritrdjevanje. Ta način je najenostavnejši tako za izdelavo kot za izvajanje napenjanja. Ker pa nima vzmetnega napenjalca, je potrebna pogosta kontrola napetosti jermenov in vzdrževanje te napetosti. Samo napenjanje pri tem sistemu je zelo enostavno. Vse, kar moramo narediti je da ločimo ploščo tam, kjer je sestavljen stružni agregat, od utorne plošče, ki povezuje agregat in konjiček. Nato na spodnji strani odvijamo vijake, ki držijo elektromotor in nosilec servo motorja ter napnemo jermena in privijamo nazaj vijake.



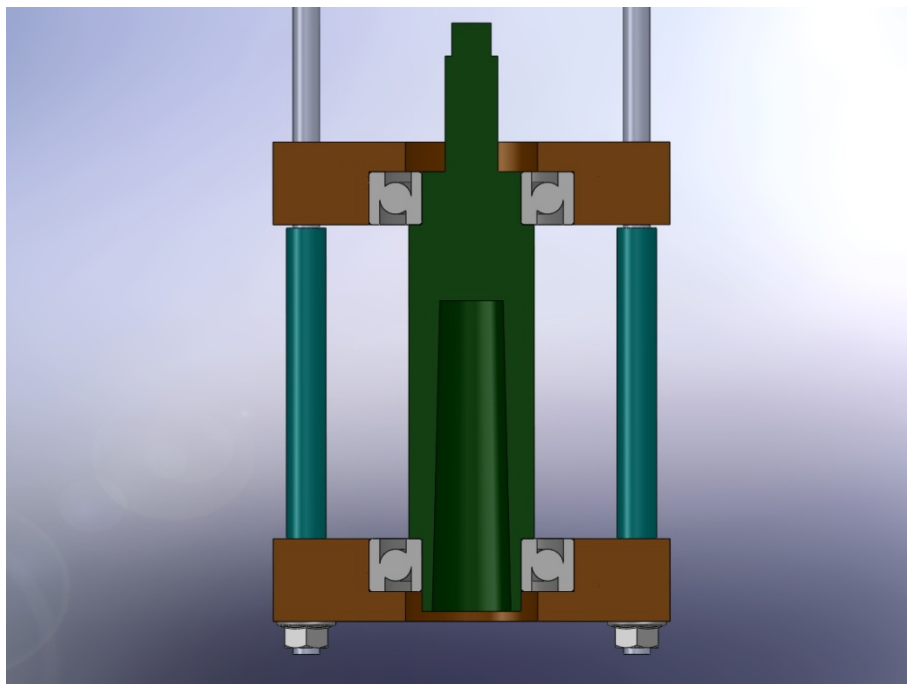
Slika 17: Spodnja stran pritrditvene plošče, napenjanje jermenov

3.1.4 Izvedba uležajenja

Stružni agregat zahteva posebno izvedbo uležajenja, saj imamo poleg radialnih sil, ki nastopajo pri vrtenju, še aksialne sile, ki nastopajo pri vpenjanju obdelovanca. Za to vrsto uležajenja se uporabljajo posebni ležaji, t. i. ramenski oz. ležaji na poševni dotik. Ti ležaji lahko nastopajo le v paru. Imamo tri vrste razporeditve ležajnega para, in sicer: T, O in X. Mi smo uporabili X-razporeditev.

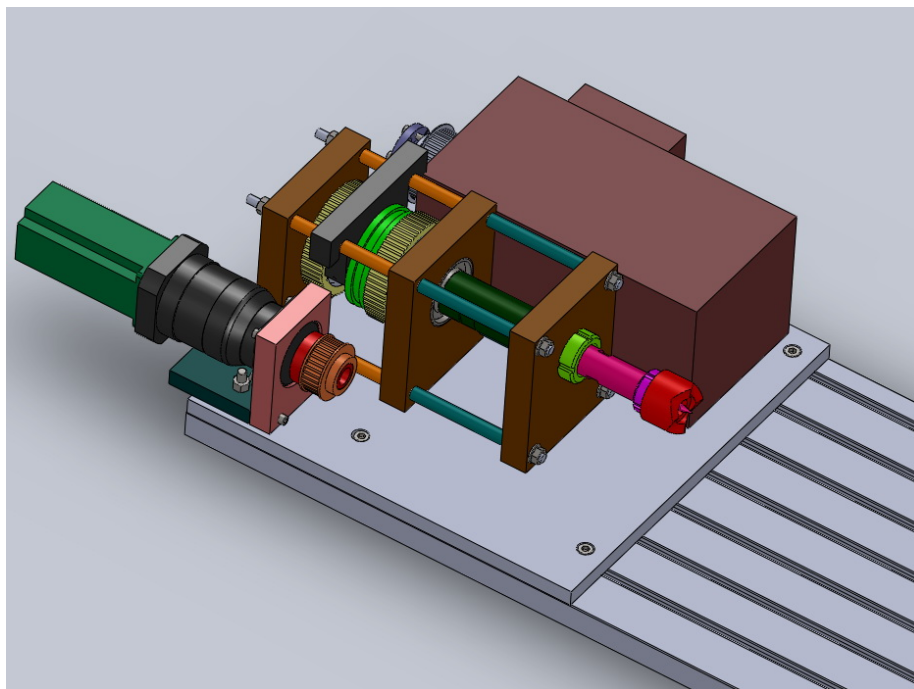


Slika 18: Načini razporeditev ramenskih ležajev (Ren Z., Glodež S. 2001. Strojni elementi. Del 1, 2001: 164)



Slika 19: Prerez osi predležajenja

Da izničimo zračnost v ležajih, os prednapnemo. Tako dosežemo fiksno pozicijo osi med vpenjanjem in odpenjanjem obdelovanca, kjer nastopajo aksialne sile. Ohišje obeh osi in menjalnika je izvedeno s tremi aluminijastimi ploščami, ki so med seboj povezane z navojnimi palicami in maticami. Razdaljo med ploščami ohranjajo distančne cevi.



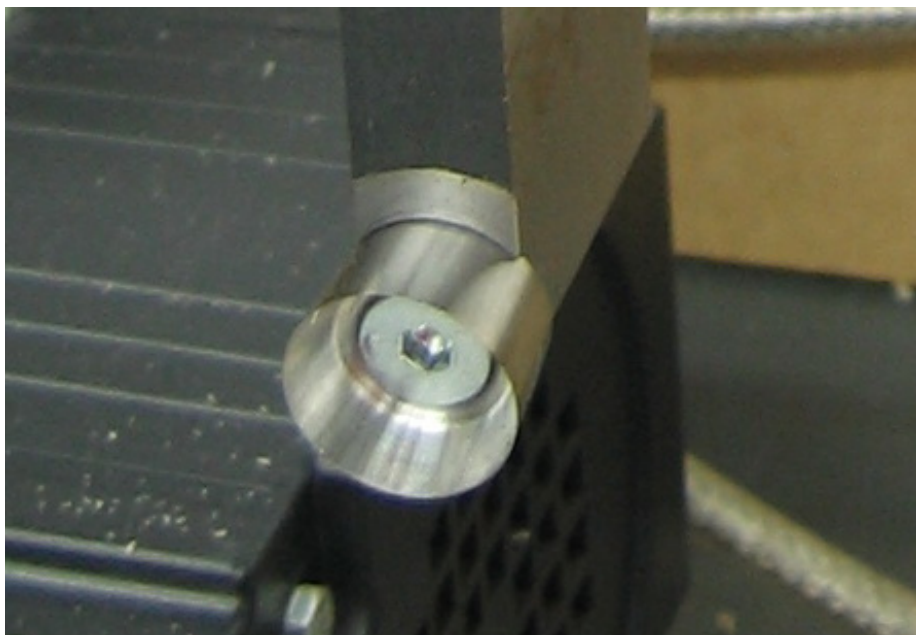
Slika 20: Sestavljen stružni agregat

Obe vpenjalni glavi smo si sposodili od že obstoječe stružnice Centauro TC 1200.

3.1.5 Obdelovalna orodja

Obdelovalno orodje za operacijo struženja je namensko izdelan skledčasti nož, narejen iz jekla HSS. Pritrjen je na tog jeklen nosilec.

Ko se rezalni rob obrabi, rezilo samo zavrtimo in dobimo oster rob. Dobro se obnese pri toku odpadnega materiala ob struženju. Odpadne dele usmeri v eno smer in tako lahko lažje vršimo odsesovanje.



Slika 21: Nož za struženje

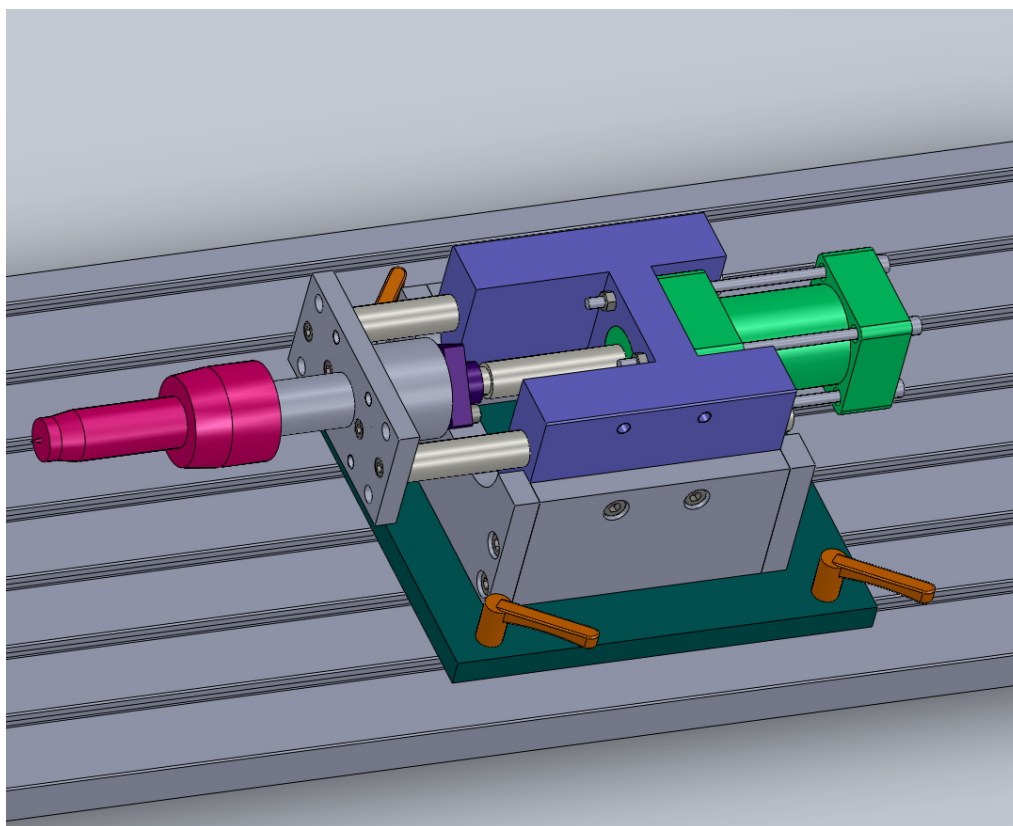
Za rezkalno orodje smo uporabili HSS končni rezkar, ti. »Endmill«. S tem rezkarjem lahko vršimo čelno in obodno rezkanje. Premer rezkarja je 12 mm, dolžina rezkalnega dela pa 30 mm.



Slika 22: Rezkalno orodje

3.2 KONSTRUKCIJA KONJIČKA

Konjiček te stružnice je ročno nastavljiv. Pri lesno-obdelovalnih stružnicah je nujno potrebno zagotoviti stalno aksialno silo, ko imamo že vpet obdelovanec med agregat in konjiček. To silo smo zagotovili s pnevmatskim cilindrom, ki skupaj z vodili tvori glavino konjička. Uporabili smo t. i. enoto H proizvajalca TIO Pnevmatika. Potrebna je bila le manjša modifikacija.



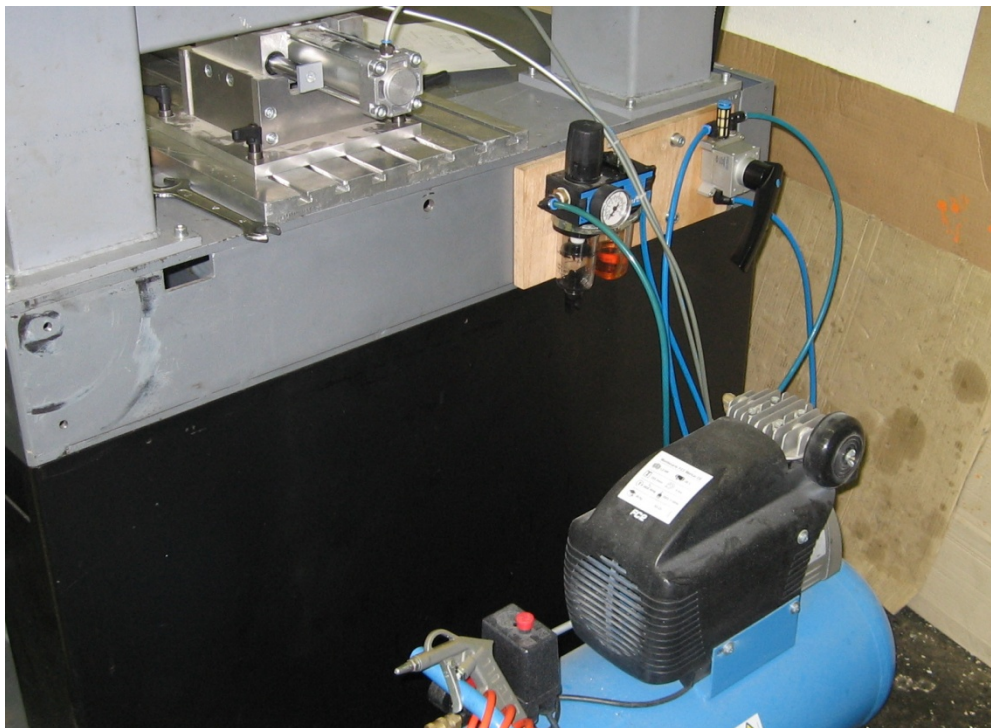
Slika 23: Konjiček

Originalnemu pnevmatskemu sklopu je dodana le os, v katero je vdolan ustrezen konus za naleg vpenjalne glave. Predelati je bilo potrebno le prednjo pritrditveno ploščico, kjer je nameščena dodatna os tako, da se je izdelalo izvrtino na sredini ploščice.

3.2.1 Vpenjanje obdelovanca

Kot je že bilo rečeno, bo vpenjanje obdelovancev izvršeno s pnevmatskim valjem, ki ima 150 mm pomika. To pomeni, da lahko vpenjamo obdelovance, ki niso povsem enake dolžine brez prestavljanja konjička. Če pa bodo obdelovanci večjih dolžinskih razlik, obstaja enostavna možnost pomika celotnega konjička. Zaradi vijakov s povratnimi ročicami je pomikanje celotnega konjička enostavno in hitro.

Stalni tlak v sistemu zagotavlja kompresor, ki je preko dvosmernega ventila povezan s konjičkom. Pnevmatiski valj zahteva mazanje in suh zrak, zato imamo med kompresorjem in konjičkom tudi sistem za mazanje in razvlaževanje zraka. Tlak v sistemu je krmiljen s tlačnim ventilom in znaša 4 bare.

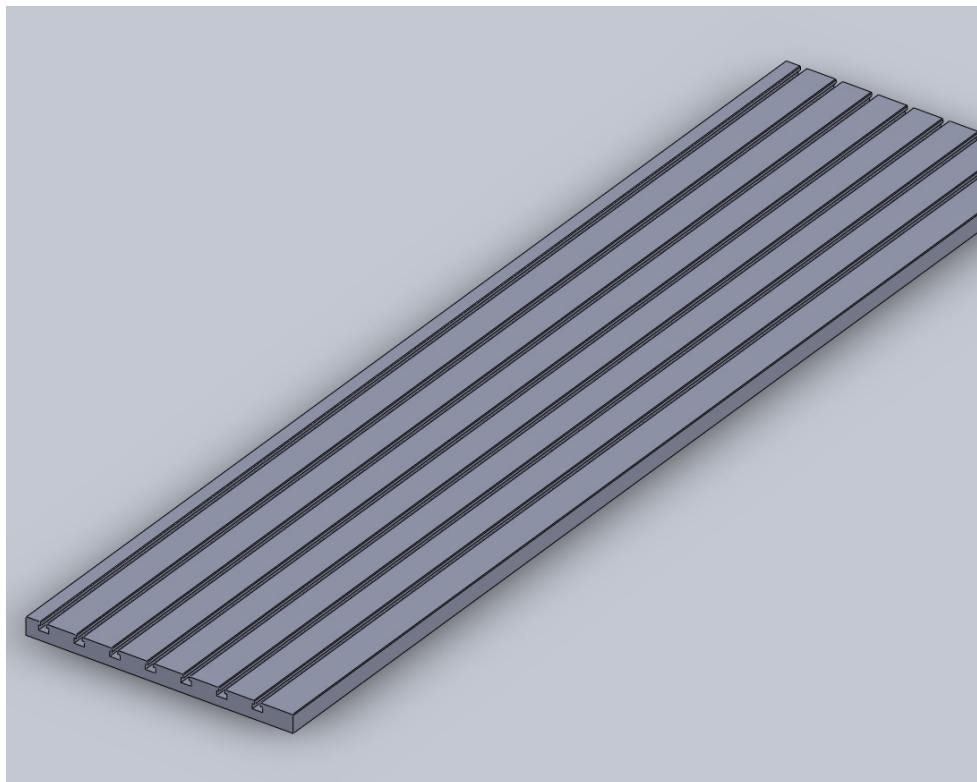


Slika 24: Vpenjalni mehanizem

3.3 PRITRDITEV STRUŽNEGA AGREGATA IN KONJIČKA

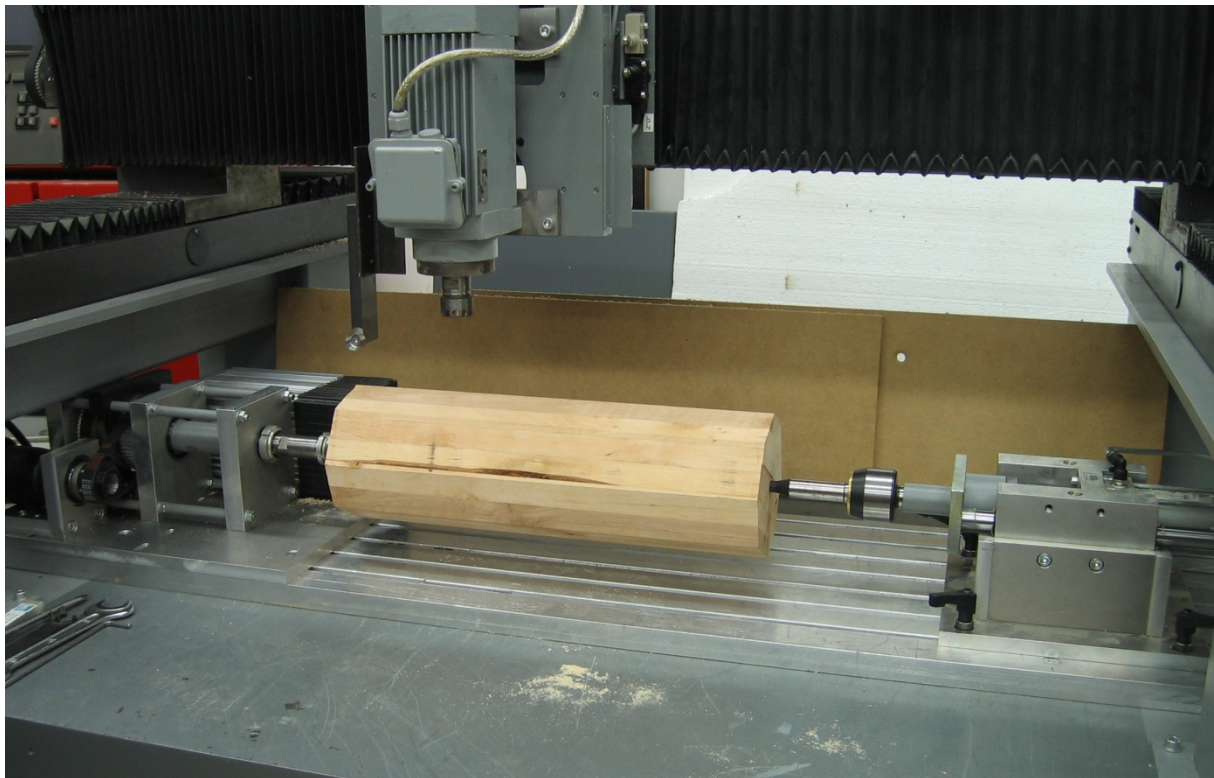
Voziček in stružni agregat sta pritrjena na aluminijasto ploščo z utori s posebnimi maticami, ki se v žargonu imenujejo klavivca. Plošča je bila izdelana kar v laboratoriju za mehanske

obdelovalne tehnologije. Utori so vzporedni, kar omogoča paralelnost med stružno in konjičkovo osjo.



Slika 25: Utorna plošča

Utorna plošča je pritrjena na mizo stroja vzporedno z x osjo. Ko stružnega agregata ne potrebujemo več, ga skupaj s konjičkom lahko odstranimo in tako ostane le profilna aluminijasta plošča na mizi stroja, ki jo je mogoče uporabiti tudi za vpenjanje elementov pri rezkanju.



Slika 26: Sestavljen agregat in voziček

3.4 POGON STRUŽNEGA AGREGATA

3.4.1 Elektromotor za struženje

Za potrebe struženja je najprimernejši trifazni asinhronski dvopolni elektromotor. Ti motorji zmorejo nekaj pod 3000 vrtljajev v minuti, kar pa se lahko spremeni s prestavnim razmerjem jermenic. Sodeč po izkušnjah znaša predvidena potrebna moč nekje med tremi in štirimi kW. Regulacijo vrtljajev pa je možno izvesti s frekvenčnim pretvornikom.

3.4.1.1 Izbira elektromotorja

Pri izbiri proizvajalca in tipa motorja so poleg karakteristik zelo važne tudi dimenzije ter izvedba motorja. Rezkalni CNC stroj je že izdelan, tako da je vsaka izbira posamezne komponente odvisna od skladnosti te komponente s tem strojem. Če bi izbrali elektromotor klasične izvedbe, bi pridobili tako na širini kot na dolžini agregata okrog 10 cm. Zato je bil izbran elektromotor, ki je sicer namenjen za pogon krožnih žagalnih strojev.

Uporabljen elektromotor: Tiba (elektromotorji za krožne žage), 2 polni, 3000 vrt./min.

Tip: 1E65MS 2/3.7, moč 3,7 kW, št. 2840 vrt./min, napetost Δ/Y 230/400 V, tok 14,8/8,6 A, moment 12,4 Nm, teža 16,4 kg.



Slika 27: Elektromotor Tiba (Tiba, 2010)

3.4.2 Frekvenčni pretvornik

Frekvenčni pretvornik je naprava, ki spremeni frekvenco izmeničnega toka. Ker so hitrosti vrtenja asinhronskih elektromotorjev odvisne od frekvence izmeničnega toka, je za spremembo vrtilne hitrosti gredi poleg prenosnega razmerja možna uporaba frekvenčnega pretvornika.

3.4.2.1 Uporabljen frekvenčni pretvornik

Omron V1000 je elektronski frekvenčni pretvornik. Upravljanje z njim je zelo enostavno, preprosto nastavimo želeno frekvenco in pritisnemo stikalo za vklop.



Slika 28: Frekvenčni pretvornik Omron V1000

3.4.3 Elektromotor za pozicioniranje

V prevodu pomeni kratica CNC računalniško krmiljene stroje. Torej, računalnik krmili elektromotorje tako, da lahko izvajajo natančne in hitre pomike oz. rotacije. Ker običajni asinhronski kratkostični večpolni elektromotorji ne omogočajo takšnega krmiljenja, se uporablja posebne elektromotorje, ki jih imenujemo servo-motorji.

Princip delovanja je, kot že rečeno, povsem enak klasičnim elektromotorjem, le da dodatek, ki neprestano spremlja trenutno pozicijo osi elektromotorja, omogoča računalniku natančno sledenje in reguliranje števila vrtljajev ter vrtilnega kota.

3.4.3.1 Izbira servo-motorja

Uporabili smo servo-motor znamke Mitsubishi. Karakteristike tega motorja so: moč 400 W, delovni moment 1.3 Nm, največji možni moment 3.6 Nm.



Slika 29: Servo-motor Mitsubishi HC-MFS43 (Lektronix, 2010)

3.4.4 Reduktor

Reduktor je strojni element za spremembo rotacijske hitrosti. Že samo ime pove, da reduktor reducira hitrost vrtenja izstopne gredi glede na vstopno. S tem, da reducira vrtilno hitrost, poveča tudi navor, kar je pri motorjih z visokimi vrtilnimi hitrostmi in nizkim navorom potrebno velikokrat.

3.4.4.1 Izbira reduktorja

Zaradi malo razpoložljivega prostora je za nas najpomembnejši faktor izbire reduktorja njegova velikost. Poleg majhnosti pa mora imeti tudi dovolj veliko prestavno razmerje. Za zadovoljitev obeh kriterijev je najustreznejša izbira planetni reduktor. Ti reduktorji so majhni, zmogljivi in enostavni za montažo ter uporabo. Ime so dobili zaradi postavitve zobnikov, ki tvorijo sončnemu sistemu podoben sestav.

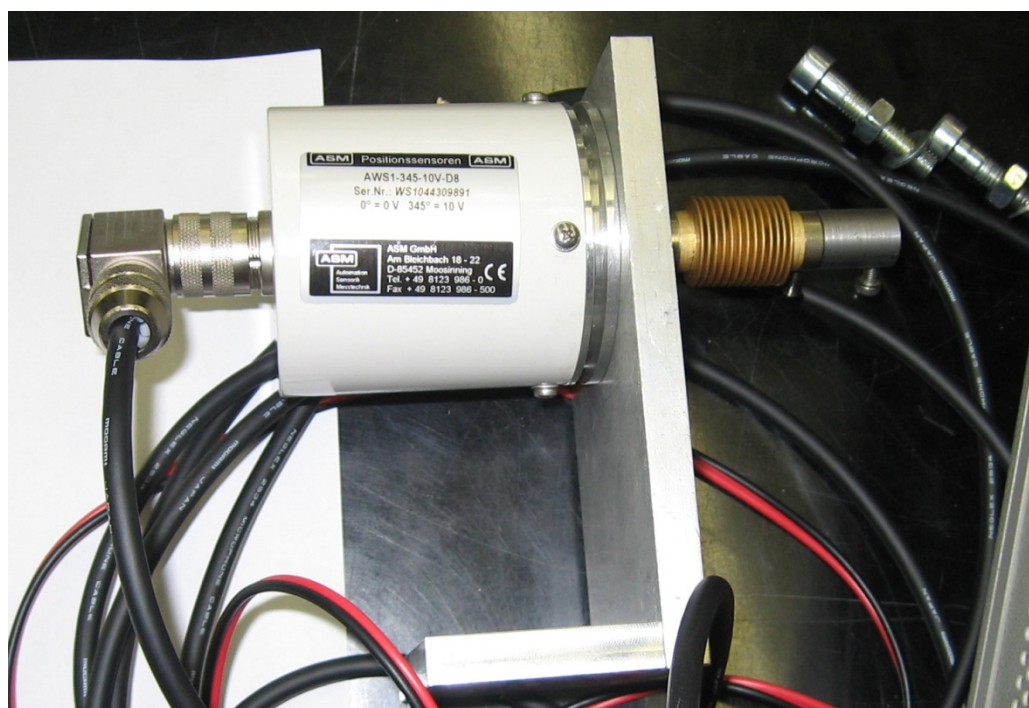
Uporabljen je planetni reduktor nemškega proizvajalca Vogel, tip MPR 050. Prestavno razmerje je 1 : 20, kar več kot zadovolji naše potrebe.



Slika 30: Planetni reduktor Vogel MPR (Vogel, 2011)

3.4.5 Nastavljanje servo pogona

Med servo-motorjem in obdelovancem je jermenski prenos in reduktor. Skupaj tvorita prestavno razmerje 1 : 40. To razmerje moramo upoštevati pri nastavljanju servo-motorja. Ker pa se povsem točno ne da izračunati, koliko pulzov motorja je potrebnih za eno kotno stopinjo na obdelovancu, moramo meriti vrtenje glavne osi s posebnim senzorjem za merjenje rotacije. Senzor pokaže, kolikšno odstopanje je na glavni gredi glede na ukaz v kontrolnem programu. Z več merjenji in kalibriranjem servo-motorja v kontrolnem programu («Steps per Revolution») nastavimo motor na izredno visoko točnost (cca. 1' pri 360°).



Slika 31: Senzor merjenja kotnih stopinj

4 PROGRAMSKA OPREMA

4.1 PROGRAMI CAD

CAD je v angleškem jeziku kratica za besedno zvezo *Computer-aided Design* kar pomeni računalniško podprto načrtovanje. Danes na trgu CAD programski paketi obsegajo načrtovanja v 2D vektorskem načinu, 3D teles in površinskih modelirnikov. Moderni CAD paketi pogosto dovoljujejo rotacije modela v treh dimenzijah in tako omogočajo pogled s kateregakoli želenega kota, celo pogled od znotraj navzven.

CAD programi so uporabljeni pri dizajniranju orodij, strojev, pri načrtovanju ter dizajniranju zgradb vseh vrst, od malih hiš do največjih zgradb in stolpnic. Nepogrešljivi so tudi v lesni industriji. V glavnem jih uporabljamo za detajlno inženirstvo 3D modelov in za 2D risbe teh modelov. Najdemo jih tudi pri inženirskih procesih, od konceptnega dizajna in načrtov produktov, skozi trdnostno in dinamično analizo sestavnih delov, do definicij tehnologije proizvodnje.

CAD je postala posebno pomembna tehnologija znotraj obsega t. i. *Computer-aided Technologies* (računalniško podprtih tehnologij) s prednostmi kot so nižji stroški razvoja izdelka in zelo skrajšani cikli dizajniranja. CAD dizajnarjem dovoljuje, da prikažejo in razvijajo svoje delo na zaslonu, tiskajo in shranijo za morebitne prihodnje popravke. Tako privarčujejo na času.

Trenutno so CAD sistemi najpogostejše izdelani za računalnike z operacijskim sistemom Windows. Nekaj CAD sistemov deluje tudi v operacijskih sistemih UNIX in Linux. Nekateri pa omogočajo delovanje na več platformah, med njimi so Windows, Linux, UNIX in Mac OS X. Ti sistemi so QCAD, NX in CATIA V5.

Splošno gledano ni nikakršnih posebnih zahtev glede strojne opreme računalnika za delovanje CAD sistema, mogoča je edino zahteva po močnejši grafični kartici, vendar je to odvisno od uporabljene programske opreme. Za kompleksnejše dizajniranje izdelkov so potrebni računalniki s hitrimi procesorji (mogoče tudi več njih) in veliko količino delovnega

pomnilnika. Najpogostejši vmesnik med človekom in računalnikom je miška, lahko pa se uporabi tudi pero in digitalno grafično tablico. Manipulacija pogleda modela na zaslonu je včasih izvedena z uporabo prostorske miške ali t.i. *Spaceball*. Nekateri sistemi podpirajo celo uporabo prostorskih očal za gledanje 3D modelov.

4.1.1 SolidWorks

SolidWorks je 3D mehanični CAD program, ki deluje na platformi Windows in je last podjetja Dessault Systèmes SolidWorks Corp. (Velizy, Francija). Trenutno je eden najpopularnejših produktov na 3D mehanskem CAD tržišču. Prodanih je bilo že več kot milijon licenc SolidWorksa po vsem svetu. Baza uporabnikov obsega vse od individualnih licenc do celotnih podjetij in pokriva veliko različnih segmentov tržnega proizvodnje. Komercialne prodaje so izvedene skozi indirektni kanal, ki vključuje dobavitelje in partnerje po celem svetu. Med konkurenčne produkte SolidWorksa spadajo Catia, Pro/ENGINEER, Solid Edge in Autodesk Inventor.

SolidWorks je modelirnik trdnih teles baziran na tehnologiji parasolid in uporablja parametersko-potezno baziran (*Parametric Feature-Based*) pristop pri izdelavi modelov in njihovem sestavljanju.

Parametri se navezujejo na vektorje, katerih vrednosti določajo obliko in geometrijo modela več sestavljenih kosov. Parametri so lahko numerični, kot na primer dolžina črte in premer kroga, ali pa geometrijski, kot na primer tangenta, vzporednost, so-osnost, horizontala ali vertikala itd. Numerični parametri so lahko medsebojno povezani s pomočjo zvez, ki omogočajo zajetje namena dizajna.

Kot namen dizajna pojmuje obnašanje kosa glede na spremembe in nadgradnje glede na želje dizajnerja. Ko hočemo na vrhnji površini valja narediti luknjo, ne glede na spremembe v velikosti in višini tega valja SolidWorks omogoča, da določimo luknjo kot značilnost na vrhnji površini valja in program bo to odločitev spoštoval, ne glede na to, kaj počnemo z valjem v prihodnje (spreminjanje debeline, višine, oblike...).

Obliko kosa določajo koraki nastanka, ki so zabeleženi. Konstruiran je z oblikami in operacijami. Značilnosti na podlagi oblike normalno začnejo z 2D ali 3D skico oblik, kot na primer liki, relief, luknje, razpoke itd. Material nato po tej obliki izvzamemo ali pa dodamo in tako spremenimo del. Značilnosti operacij niso bazirane na podlagi skic, vključujejo pa naslednje operacije: zaokroževanje, posnemanje robov, lupina, dodajanje skic na površine dela itd.

Izdelovanje modela v SolidWorksu se običajno prične z 2D skico, čeprav imajo zahtevnejši uporabniki možnost 3D skice. Skica sestoji geometrijsko gledano iz točk, črt, krogov, koničnih elementov (hiperbola je izjema) in spiral. Dimenzije so dodane skici, da definirajo velikost in lokacijo geometrije. Povezave se uporabljajo za definiranje atributov, npr.: dotik, vzporednost, pravokotnost in koncentričnost. Pri SolidWorksu pomeni parameterska narava to, da dimenzije in povezave določajo geometrijo, ne pa obratno. Dimenzije risb se lahko spreminja neodvisno ali pa v razmerju z ostalimi parametri znotraj in zunaj risbe.

SolidWorks je pionir na področju možnosti spreminjanja in spremljanja zgodovine, ki uporabniku omogočajo povrnitve na stanje pred spremembami v modelu, dodajanje dodatnih lastnosti ali pa zamenjave vrstnega reda operacij, ki so bile izvedene. Kasneje so tudi ostali proizvajalci podobnih modelirnih programov uporabili to idejo.

Pri sestavljanju kosov je sistem povezovanja soroden načinu pri skici, in sicer s t.i. » Mates « (združenje). Ravno tako kot pri skici povezave definirajo stanja, kot na primer dotik, vzporednost in koncentričnost z ozirom na geometrijo risbe. Združenja sestavljenih kosov definirajo enakovredne povezave tistim za individualne kose komponent in omogočajo enostavno sestavljanje kosov. SolidWorks vključuje tudi dodatne, napredne vrste spajanja, kot so na primer prestavna razmerja in delovanje ležajev, ki tako pokažejo, kakšno bi bilo dejansko gibanje pogonskega sklopa v realnosti.

Načrti so lahko izdelani iz enega ali pa več sestavljenih kosov. Pogledi so izdelani samodejno iz modela, po potrebi pa se enostavno doda tudi zapiske, dimenzije in tolerance. Risalni modul vključuje večino velikosti papirja in standardov (ANSI, ISO, DIN, GOST, JIS, BSI in GB). (Dassault Systèmes SolidWorks Corp., 2010)

4.2 CAM PROGRAMI

CAM je v angleškemu jeziku kratica za *Computer-aided Manufacturing*, kar pomeni računalniško podprto planiranje proizvodnje. Je skupek računalniških orodij, ki pomagajo inženirjem in mehanikom pri planiranju proizvodnje in izdelavi prototipov izdelkov. Prvotni namen tega sistema je, povečanje hitrosti procesa izdelave, natančnosti izdelave izdelkov, izboljšanje njihove složenosti. Cilja sta tudi racionalnejša poraba materiala in smotrnejša poraba energije. CAM je programsko orodje, ki omogoča izdelavo modelov, potem ko se jih nariše v CAD programih. Izdelava stvarne verzije izdelkov, dizajnirane v programskem paketu. Prvič je bil uporabljen leta 1971 za izdelavo pločevine avtomobila in orodij.

Sprva je bil CAM uporabljen kot programsko orodje NC strojev, kjer so se 3D modeli, izdelani v CAD programu, pretvorili v CNC kodo. Čeprav ostaja to najbolj uporabljena CAM funkcija, so se te funkcije razširile, da bolje vključijo CAM s CAD/CAM/CAE PLM rešitvami.

Podobno kot pri drugih računalniško podprtih tehnologijah, CAM ne izniči potrebe po večjih profesionalnih inženirjih in NC programerjih. Ravno nasprotno, CAM vzpodbuja rast znanja najbolj večjih profesionalnih izdelovalcev skozi vizualizacijo, simulacijo in optimizacijska orodja.

Integracija CAD-a z ostalimi komponentami iz CAD/CAM/CAE PLM okolij zahteva učinkovito izmenjavo podatkov. Običajno je bilo nujno, da je CAD operator izdal podatke v enem od pogostih podatkovnih formatih, kot so IGES ali STL, katere podpira široka paleta programov. Oblika zapisa CAM programa je navadno v enostavnem tekst dokumentu (*Text File*) v G-kodi, v nekaterih primerih obsega tudi več tisoč ukazov. Ti ukazi so nato preneseni do CNC stroja s pomočjo kontrolnega programa.

CAM paketi niso in tudi še vedno ne morejo imeti takšne logike, kot jo ima upravljavec stroja. Ne morejo optimizirati poti orodij, da se skrajšajo, kot to zahteva masovna proizvodnja. Uporabniki izberejo tip orodja, strojni proces in poti, ki bodo uporabljene, medtem ko mora inženir imeti znanje o programiranju G-kode, manjših optimizacij in obrabi

orodja, ki nastopi čez čas obdelave. Produkti masovne obdelave, ki za nastanek potrebujejo strojno obdelavo, so navadno najprej ustvarjeni s pomočjo ulivanja ali katere druge podobne metode, ki ne zahteva strojne obdelave. To omogoča ročno napisano, kratko in visoko optimizirano g-kodo, ki drugače ne bi mogla biti narejena s pomočjo CAM paketa. (Bridging the gap between CAD and CNC, 2010)

4.2.1 Proces obdelave

Večina procesov obdelave ima štiri stopnje. V vsaki od njih so vključene raznovrstne osnovne in zapletene strategije obdelave, odvisno od materiala in od uporabljene programske opreme.

4.2.1.1 Groba obdelava

Ta proces se prične s surovo zalogo (prizmo, večjim kosom lesa) in zelo grobim obdelovanjem, da oblikuje material v podobo končnega modela. Pri rezkanju so rezultati tega procesa pogosto terase, ker program izkoristi strategijo horizontalnega rezanja. Pogoste strategije v tem delu obdelave so: cik-cak čiščenje, čiščenje z odmikom, dolbljenje, odstranitev odvečnega materiala.

4.2.1.2 Pol-končna obdelava

Ta proces se začne na že grobo obdelanem kosu, ki približno predstavlja končni model. Obdeluje znotraj fiksno določene nadmere, gledano s strani končnega modela. Ta obdelava mora pustiti majhno nadmero, da lahko orodje med končno obdelavo obdeluje natančno, vendar nadmera ne sme biti premajhna, saj lahko pride namesto odvzema do odmika med materialom in orodjem. Pogoste strategije rezanja so: hitrejši pomiki, rezkanje po konstantni Z osi (*Water-Line*), konstantni korak za korakom prehodi, rezkanje robov.

4.2.1.3 Končna obdelava

Ta obdelava vključuje počasne premike čez material v zelo finih korakih in tako proizvede končni kos. Pri končni obdelavi so koraki med posameznimi premiki minimalni. Podajalne hitrosti so nizke, hitrosti vretena pa velike zaradi doseganja natančno obdelane površine.

4.2.1.4 Rezkanje profilov (*Contour*)

Pri rezkanju s strojem, ki ima pet ali več osi, se lahko izvede ločena končna obdelava, imenovana profilno rezkanje. Namesto rezkanja s pomočjo postopnega odvzemanja majhnih finih delcev lahko obdelovanca rotiramo in tako omogočimo tangentno povezavo med orodjem in površino kosov. Ta obdelava nam omogoča površino izvrstne kvalitete in zelo točnih dimenzij. (Contour line, 2010)

4.2.2 SolidCAM

SolidCAM je programska oprema za programiranje CNC strojev. Vsebuje celotno zbirko programskih modulov: 2.5D in 3D rezkanje, *High-Speed* obdelavo, večstransko 4 ali 5-osno frezanje, simultano 5-osno rezkanje, struženje, *Turn-Mill* do 5 osi in WireEDM. SolidCAM omogoča visoko stopnjo integracije s CAD programskimi orodji, popolno integracijo in skladnost s programoma SolidWorks in Autodesk Inventor. Integracija zagotavlja samodejno posodabljanje poti orodij pri CAD revizijah. (SolidCAM, 2010)

4.2.3 Postprocesor

Postprocesor je zadnja programska povezava med narisanim CAD modelom in izdelanim kosom. Zajemati mora karakteristike stroja in kontrolnega programa, ki stroj poganja, da lahko CAM program generira najoptimalnejšo G-kodo za želeni CNC stroj. Integriran je v CAM programsko opremo, v našem primeru v program SolidCAM.

Ker je CNC stroj na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije sad izdelave same katedre, je bilo potrebno postprocesor narediti. Tu je priskočil na pomoč gospod Jernej Lokovšek, ki je uradni zastopnik za programske pakete SolidCAM v Sloveniji in nam je naredil postprocesor, ki ga je mogoče integrirati v naš CAM program.

4.3 KONTROLNI PROGRAMI

CNC kontrolni programi so ena od osnovnih stvari, ki jih potrebujemo za CNC stroje. Kontrolni program interpretira g-kodo in jo pošilja vrstico za vrstico krmilniku stroja.

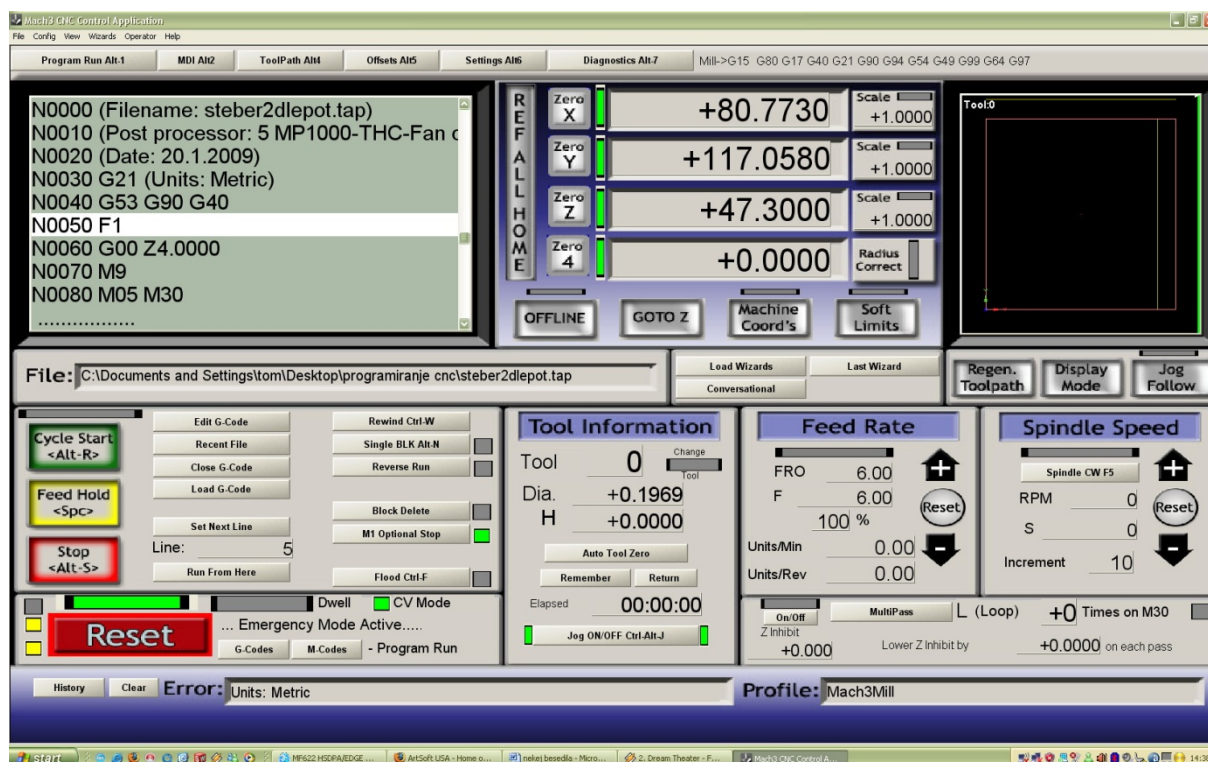
Kontrolni program je »bralnik« CNC programa. Potrebna je uskladitev s CNC strojem, ker predstavlja vezni člen med njima. (CNC Control Software, 2010)

4.3.1 Mach3

Mach3 je računalniški program, ki služi za krmiljenje CNC naprav. Razvili so ga v podjetju AirSoft USA leta 2001. Sprva je bil namenjen hobi dejavnostim, pozneje so ga izboljšali in tako se je začel uporabljati tudi v industriji.

Nekaj osnovnih značilnosti in funkcij, ki jih ponuja program Mach3:

- spremeni standardni PC v popolnoma definiran 6-osni CNC kontroler
- dovoljuje direktne uvoze formatov DXF, BMP, JPG in HPGL preko programa LazyCam
- vizualno prikazovanje G-kode
- generira G-kodo preko programa LazyCam ali čarovnikov
- popolnoma prilagodljiv vmesnik
- prilagodljive M-kode in makri preko programa VBscript



Slika 32: Kontrolni program Mach3

- kontrola hitrosti vrtenja vretena
- kontrola mnogokratnega releja
- ročni generator pulza
- video prikaz stroja
- možnost ekrana na dotik
- sposobnost celotnega zaslona

S tem programom lahko uspešno kontroliramo naslednje tipe opreme: strožnice, rezkarje, žage, laserje, plazme, gravatorje. (AirSoft USA, Mach3, 2010)

4.3.1.1 Čarovniki

Čarovniki so »mini programi«, ki razširjajo zmožnosti programa Mach3. Napiše jih lahko kdorkoli. Dizajnirani so, da uporabniku omogočajo hitro izvajanje rutine ali primerne operacije brez pogoja predhodno napisanega programa G-kode. Mach3 ima že nekaj

brezplačno vgrajenih čarovnikov, kot npr.: izdelava navojev, lukenj, utorov, črk, raznih standardnih oblik, končnih površin in veliko več.

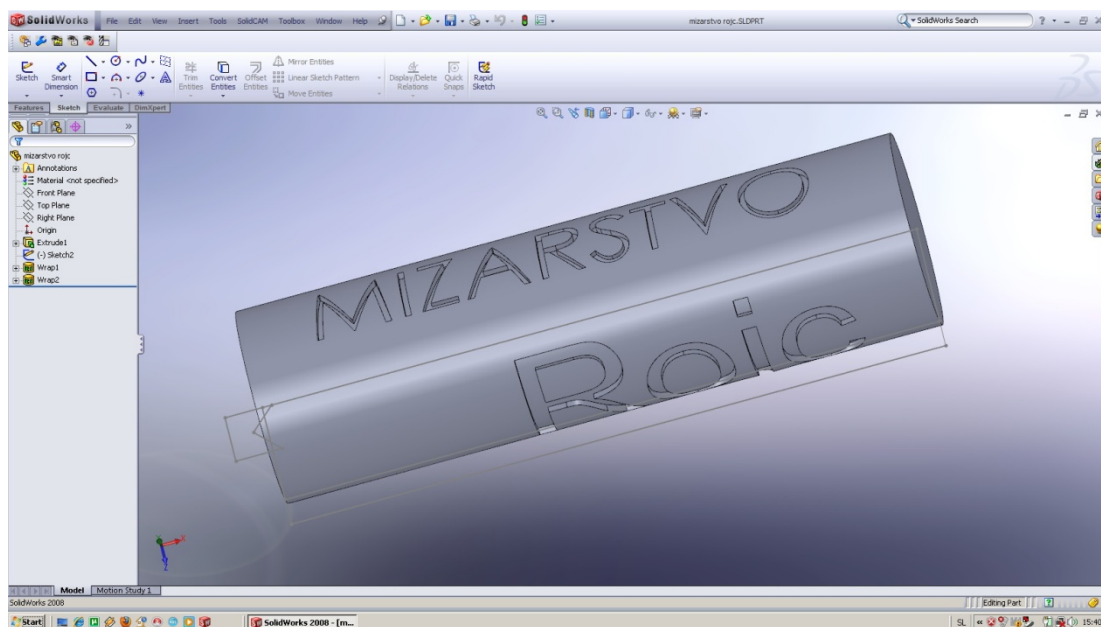
5 OD IDEJE DO IZDELKA

V tem poglavju je opisana celotna pot od ideje do končnega izdelka. Prikazani so koraki, ki jih moramo narediti, če želimo izdelati izdelek, ki si ga zamislimo. Koraki se za različne izdelke razlikujejo, vendar je v grobem postopek enak.

Načrtovanje izdelka ni prikazano podrobno, saj bi to pomenilo obsežno razlago in veliko slik. Vodiči s podrobnimi koraki so izdelani in ena izmed kopij je tudi na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete.

5.1 RISANJE MODELA

Model izdelka narišemo v modelirnem programu, v našem primeru je to SolidWorks. Sam postopek risanja je zelo enostaven. Najprej narišemo valj, s poljubno pisavo napišemo neko besedilo in uporabimo funkcijo ovij (*Wrap*).

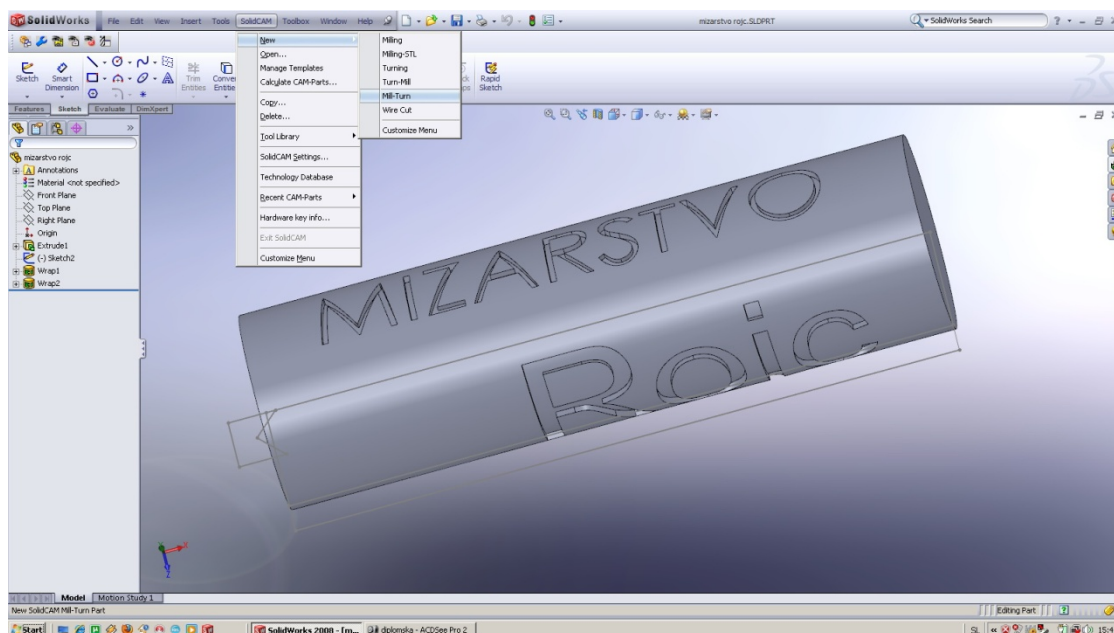


Slika 33: Risanje valja z besedilom

5.2 NASTAVLJANJE IN PRIPRAVA OPERACIJ V CAM PROGRAMU

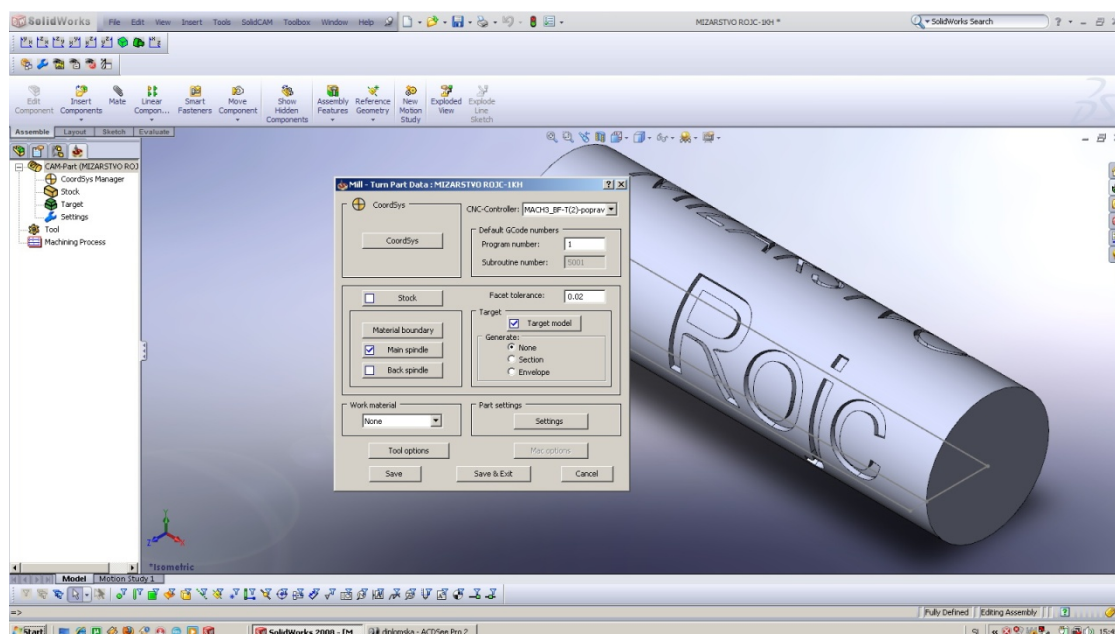
SolidCAM je možno integrirati v SolidWorks. S tem praktično postane del modelirnega programa in naše delo je močno olajšano.

Ko imamo odprt model, ki ga želimo obdelati v SolidCAM-u, izberemo jeziček SolidCAM v zgornji opravilni vrstici in začnemo z nastavljanjem programa. Pri načinu obdelave moramo izbrati opcijo *Mill-Turn*, saj imamo kombinirano obdelavo struženja in rezkanja. Tudi postprocesor, ki je bil izdelan posebej za nas, zahteva to izbiro.



Slika 34: Izbira Mill-Turn načina obdelave

V tej fazi nastavitve je potrebno definirati koordinatni sistem, velikost surovca, vpenjalno glavo, postprocesor, model, ki ga želimo dobiti po koncu obdelovanja in nastaviti značilnosti orodij.



Slika 35: Nastavljanje programa

5.2.1 Koordinatni sistem

V našem primeru moramo definirati dva koordinatna sistema, enega za struženje in enega za rezkanje. Koordinatni sistem za struženje je zasukan drugače kot običajni, ker stružnice povečini uporabljajo ravnino ZX zamenjano med seboj. Torej, naša X smer je pri stružnicah običajno Z in obratno. Ta zamenjava je prisotna le med obdelovanjem v programu SolidCAM, kasneje ti dve smeri zamenja postprocesor, da se sklada koordinatni sistem G-kode s sistemom, ki je definiran na našem stroju.

5.2.2 Velikost surovca (*Material Boundary*)

Določitev velikosti surovca je pomembna, ker tako program določi, od katere točke mora začeti obdelovati. Načinov za določanje velikosti je več, mi uporabljamo 2D skico, ki jo narišemo, preden sploh zaženemo SolidCAM. Pomembno je, da jo narišemo v ravnini ZX koordinatnega sistema, ki je namenjen struženju.

5.2.3 Vpenjalna glava

Vpenjalno glavo je potrebno, ravno tako kot velikost surovca, narisati prej z 2D skico. Ker je program namenjen strojnemu inženirju, ni potrebno narisati vpenjala z obeh strani, kot to počnemo v lesarstvu, ampak samo na eni strani. Narisati moramo tako, da se križa s surovcem in pa približno dejanske velikosti, ker lahko pride do trčenja vpenjalnega z obdelovalnim orodjem.

5.2.4 Postprocesor

Ko smo že kopirali dve datoteki, ki predstavljata postprocesor v SolidCAMu, izberemo ustreznega. V našem primeru je to MACH3_BF-T.

5.2.5 Model (*Target Model*)

Tukaj izberemo model, ki si ga želimo po koncu obdelave. Vse nadaljnje operacije bodo pogojene z obliko tega modela.

5.2.6 Značilnosti orodij

Kot značilnosti so mišljene osnovne oz. splošne značilnosti orodij. Nastavimo kje se nahaja orodje pred začetkom obdelovanja, kje so meje oz. domet orodja itd.

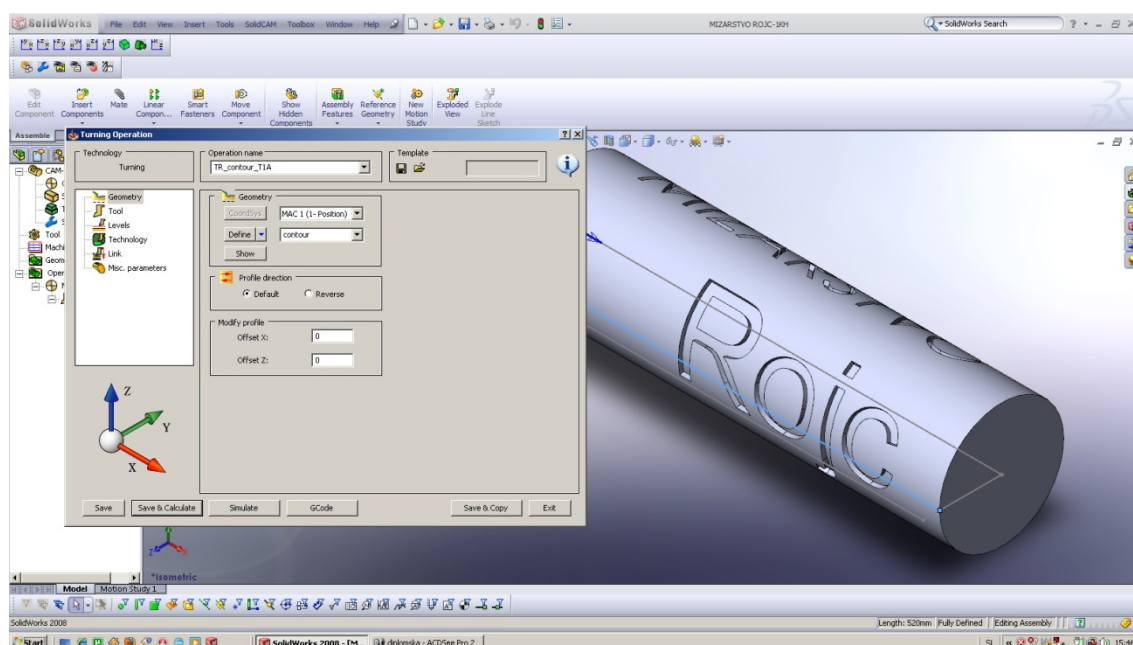
5.2.7 Nastavitev operacije struženja

Izberemo prvi koordinatni sistem, ki je namenjen struženju. Kot geometrijo obdelave izberemo črto, ki smo jo prej narisali v ravnini ZX kot skico. Ta črta poteka po površini od dna do vrha valja. Tako program ve, koliko materiala mora odvzeti, saj pozna mere surovega

obdelovanca, ki smo ga vpeli. Nastavimo tudi odvzem materiala v enem prehodu čez obdelovanec.

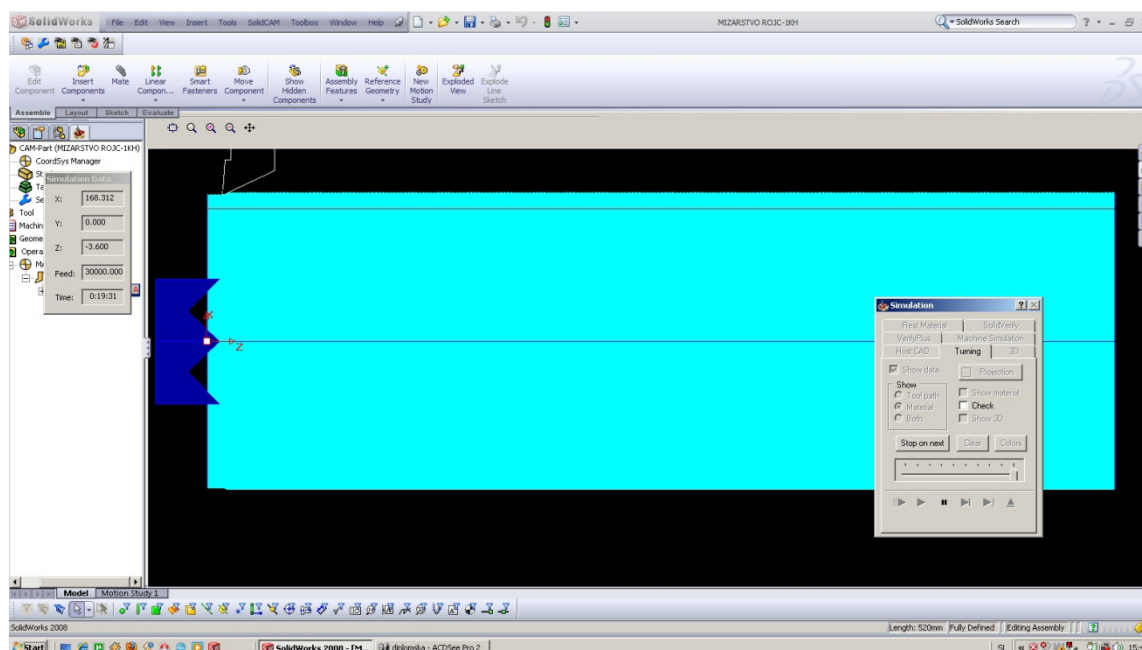
Izberemo orodje in ga po potrebi modificiramo. Na voljo so osnovna orodja, ki se navadno uporabljajo pri struženju. Vse parametre lahko spremenimo in si tako ustvarimo svoje orodje.

Na voljo imamo več tehnologij obdelovanja. Določimo lahko, s katere strani se odrezovanje vrši, določimo grobo, pol-končno in končno obdelovanje itd.



Slika 36: Nastavljanje operacije struženja

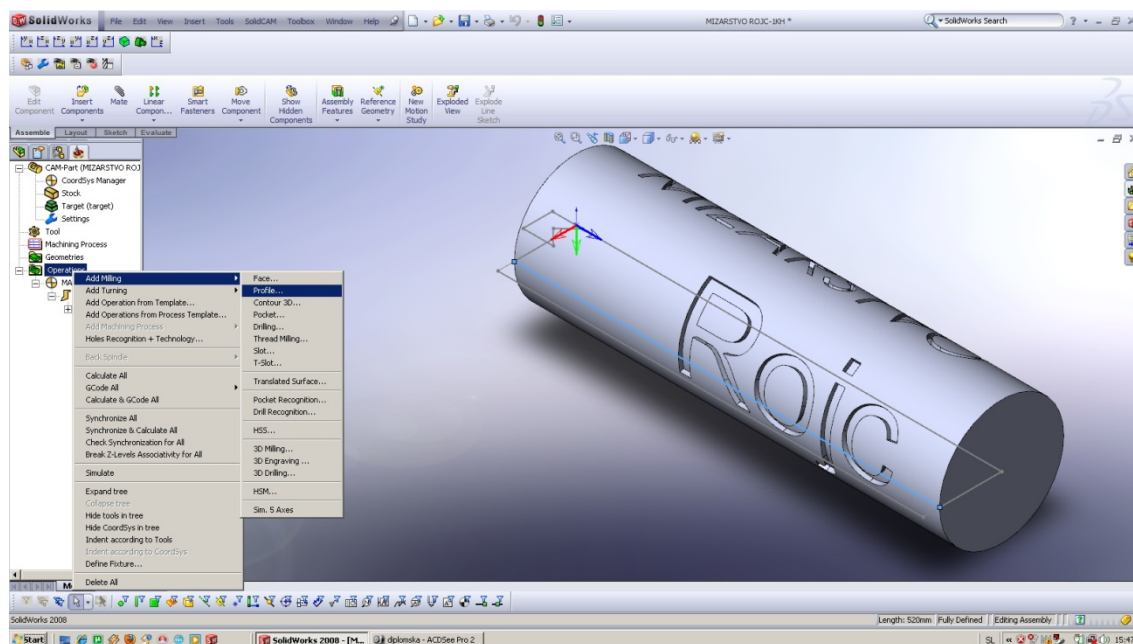
Ko zaključimo z nastavljanjem operacije struženja, vse skupaj shranimo in zapremo. SolidCAM ima možnost predogleda operacije, ko je G-koda narejena. Ta simulacija obdelovanja nam pokaže, kako bo struženje potekalo na pravem stroju, če bo G-koda takšna, kot jo uporabljamo za simulacijo. Če se pojavijo napake v obdelavi, lahko preprosto spremenimo kakšen parameter obdelovanja in ponovno zaženemo simulacijo.



Slika 37: Simulacija struženja

5.2.8 Nastavitev operacije rezkanja

Sekundarna obdelava, ki se izvaja na našem izdelku, je rezkanje. Ko smo zaključili z nastavljanjem operacije struženja, izberemo novo operacijo rezkanja, in sicer rezkanje profilov.



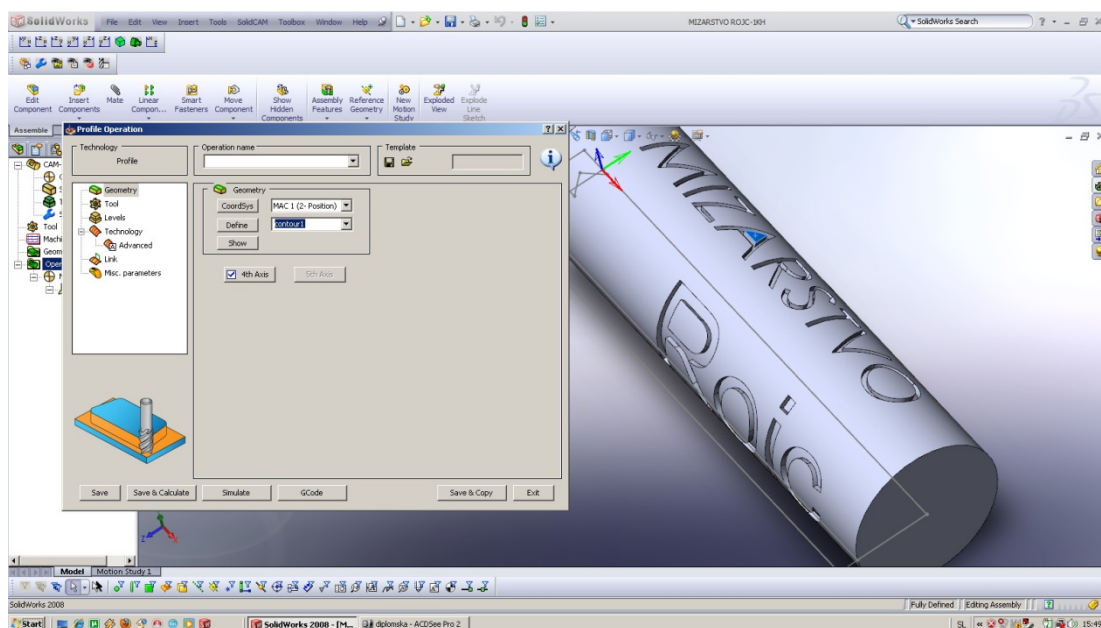
Slika 38: Izbira profilnega rezkanja

Za rezkanje izberemo drug koordinatni sistem. Geometrijo odrezovanja nam predstavlja napis v valju. Obstaja opcija, ki označi vse robove na obdelovancu. Ko so označeni, samo odstranimo tiste, ki jih ne želimo obdelovati. Za tovrstno obdelavo potrebujemo dodatno 4. obdelovalno os. Program to potrebo zazna in vključi sam.

Za tovrstno obdelavo potrebujemo rezkar, ki lahko odrezuje tako s čela kot s strani (*End Mill*). Vsa osnovna orodja program že vsebuje, določiti moramo le premer in dolžino orodja.

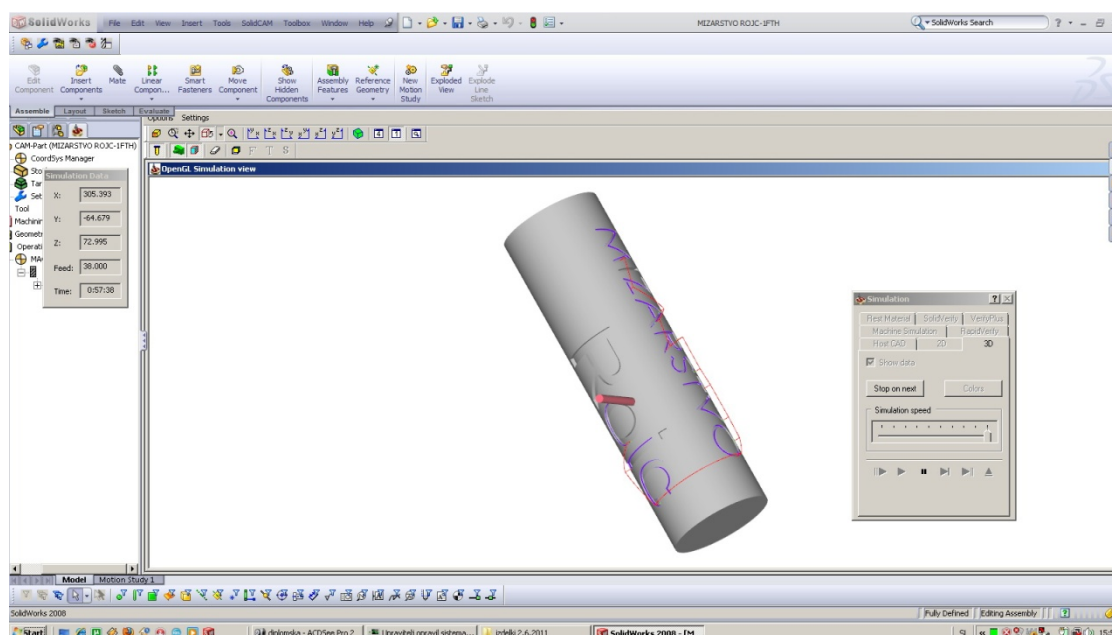
Program pozna pot orodja, ne pa globine, s katero mora obdelovati. To nastavimo v opciji »Levels«. Nastavimo tudi odvzem v posameznem prehodu orodja.

Pri rezkanju imamo veliko različnih tehnologij obdelave, vendar v našem primeru ne pridejo v poštev. Imamo namreč zelo enostavno obdelavo.



Slika 39: Nastavljanje operacije rezkanja

Ravno tako kot pri struženju, imamo tudi pri rezkanju možnost simuliranja obdelovanja. Simulacija poteka v 3D okolju in nam tako daje jasno predstav o izdelku po dejanski obdelavi. V primeru simulacije se orodje suče okrog obdelovanca, vendar je v praksi ravno obratno. Ta zamenjava obstaja zgolj zaradi lažje predstave simulacije.

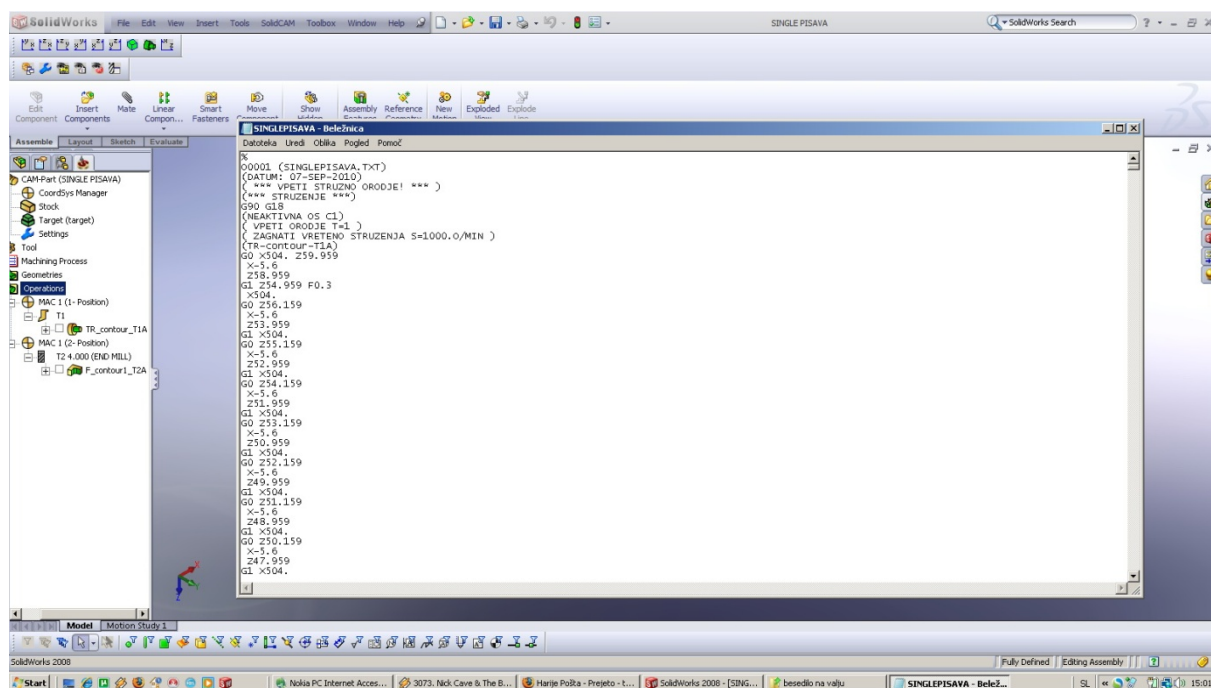


Slika 40: Simulacija rezkanja

5.3 IZDELOVANJE G-KODE V CAM PROGRAMU

Ko zaključimo z nastavljanjem obeh operacij, nastavitveno okno zapremo. Sledi le še izdelava G-kode. Pod operacijami je jeziček »G-code All« in pod-jeziček »Generate«. Tako program izračuna g-kodo za vse operacije ki jih izvajamo pri obdelavi, v našem primeru sta to dve. Program nam odpre kodo v beležnici kot »*.txt« obliko zapisa. Če želimo ročno izvršiti kakršnekoli spremembe v G-kodi, lahko to naredimo kar v beležnici. Kodo nato shranimo.

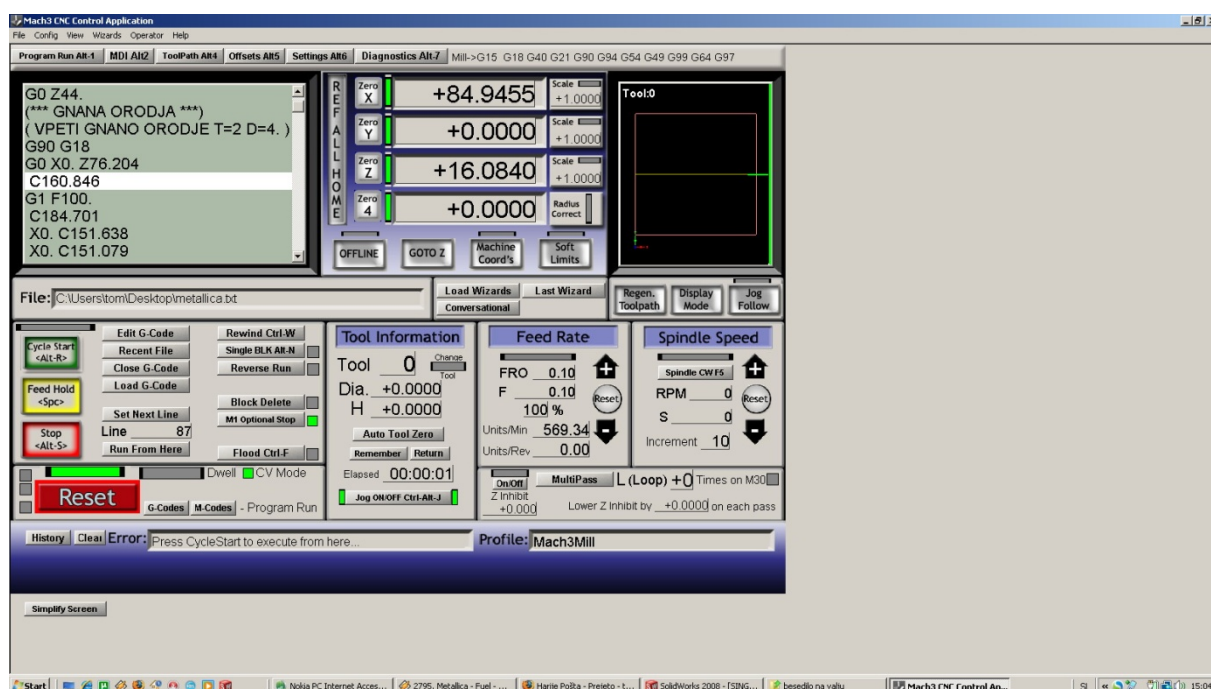
V primeru naše zasilne rešitve izdelave rezkanih valjev je potrebno izbrisati prvi del G-kode, ki predstavlja struženje. V poštev pride samo operacija rezkanja.



Slika 41: Izdelava G-kode

5.4 UVOZ G-KODE V KONTROLNI PROGRAM IN DELOVANJE PROGRAMA

Uvoz G-kode v Mach3 je zelo preprost. V Mach se nahaja gumb »Load G-code« oz. naloži G-kodo. Poiščemo mesto, kamor smo shranili G-kodo in jo odpremo. Vidimo jo lahko v zgornjem levem kvadratu in tako ostane le še priprava stroja za delo in zagon programa. Seveda pod pogojem, da smo že nastavili Mach3 in ga sinhronizirali z rezkalnim strojem ter dodanim strožnim agregatom.



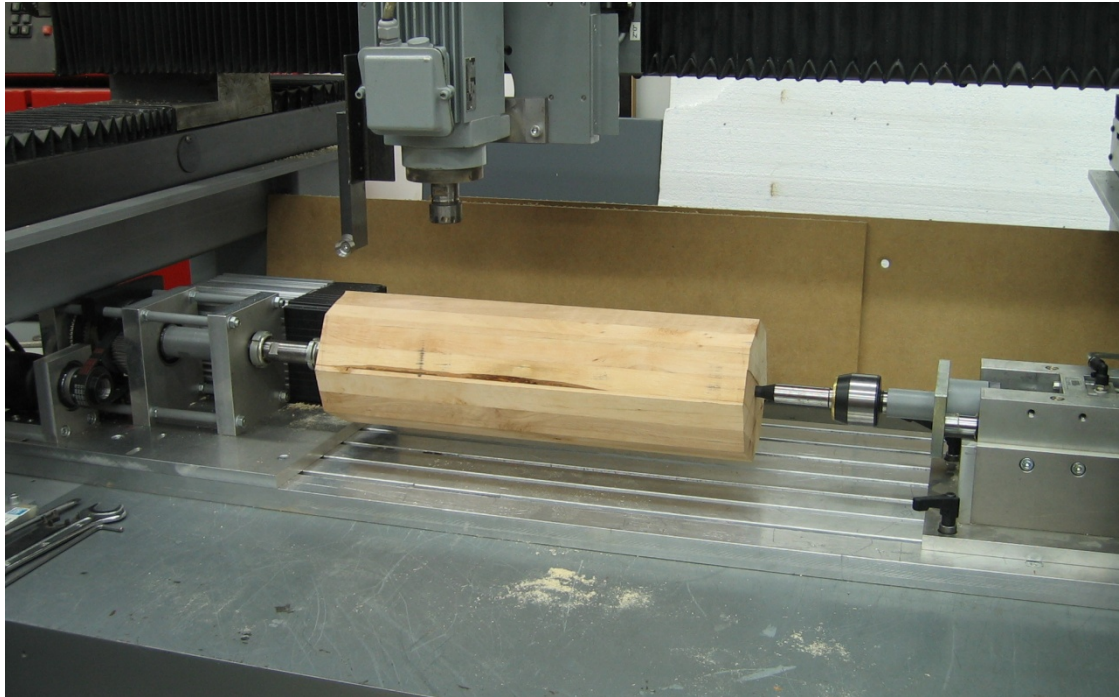
Slika 42: Delovanje programa Mach3

5.5 IZDELAVA IZDELKA

Stroj je izdelan, G-kode so pripravljene, sledi samo še praktična izvedba diplomske naloge in prikaz delovanja strožnega agregata za CNC obdelovalni stroj. Obdelovance grobih mer je za nas pripravil prijatelj Tomaž Rojc, zato nosi prikazni valj v diplomski nalogi napis »MIZARSTVO Rojc«. En obdelovanec je iz bukovega, ostali trije iz jelševega lesa. Vsi so dolgi približno 500 mm in s premerom 150 mm.

5.5.1 Priprava valja

Pri Mizarstvu Rojc so najprej pripravili deske z nadmero, jih premazali z lepilom ter stisnili v ogrevani hidravlični stiskalnici. Po končanem stiskanju, ohlajanju in klimatiziranju so prizme poravnali iz vseh štirih strani, pričelili in grobo odrezali robove, da pričetek struženja poteka manj sunkovito. Ko so centri zarisani na vseh čelih, lahko vpnemo prizme v stroj.



Slika 43: Vpeta prizma

5.5.2 Struženje valja

Preden začnemo s struženjem, moramo nastaviti koordinatni sistem. Ničla sistema se nahaja v konici pogonske vpenjalne glave, kar pomeni, da se pri koordinatah x_0 , y_0 , z_0 konica rezalnega stružnega noža dotika konice vpenjalne glave.

Frekvenčni pretvornik smo nastavili na vrednost 15 Hz, kar na obdelovancu pomeni 1350 vrtljajev v minuti. Hitrost pomika noža pa določa parameter F v G-kodi, ki v našem primeru znaša 300 mm/min.



Slika 44: Struženje valja

5.5.3 Rezkanje napisa

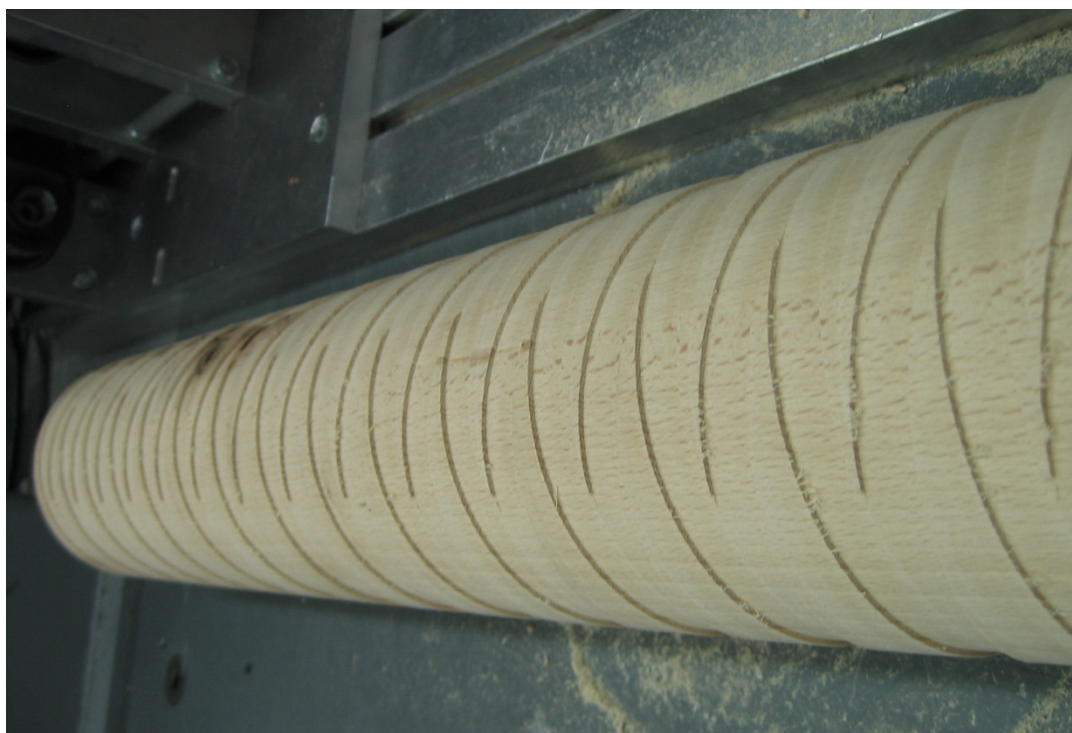
Po končanem struženju odstranimo stružni nož in pritrdimo rezkar na rezkalni agregat. Ponovno moramo nastaviti ničlo, tokrat glede na rezkar. Valj vpneemo v isto pozicijo kakor pri struženju. Hitrost pomika rezila je 2000 mm/min, hitrost vrtenja rezkarja pa 18000 vrtljajev na minuto.



Slika 45: Rezkanje napisa

5.6 PREDSTAVITEV IZDELKOV

Spodaj si lahko ogledate še nekaj izdelkov, narejenih po podobnih postopkih.



Slika 46: Dvojni navoj



Slika 47: Zaviti valj in »dvojni kelih«



Slika 48: Napis Rojc

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

Od masovnih proizvodenj se počasi vračamo k majhnemu, fleksibilnemu obrtništvu. Glavni pripomočki za uresničitev te težnje so fleksibilni, večnamenski in hitro nastavljivi CNC stroji. Njihovo večnamenskost pa lahko še nadgradimo z dodajanjem osi. Vse skupaj morajo učinkovito povezati računalniški programi. V zadnjem času s tem ni večjih težav, saj obstaja veliko ponudnikov zares dobre programske opreme, vse od modelirnih, CAM do krmilnih programov. Vsak boljši proizvajalec računalniške opreme nudi tudi tehnično pomoč pri nastavljanju in delovanju programov.

S tem diplomskim delom smo dokazali, da lahko z majhnim posegom in relativno nizkimi stroški CNC rezkalnemu stroju dodamo novo delovno operacijo. Takšen stroj je lep primer večnamenskosti in zmogljivosti, ki ju potrebuje vsaka boljša mizarska delavnica. Pri možnem povečanju potreb zmogljivosti stroja lahko z nekaj truda in iznajdljivosti nadgradimo stroj z relativno majhno vsoto denarja.

7 **POVZETEK**

Večstranski CNC obdelovalni stroji so v zadnjem času vse bolj razširjeni. Prednosti CNC tehnologije pred stroji z ročnimi pomiki je veliko, z dodajanjem operacij pa te prednosti še povečamo. CNC stroji so večnamenski, imajo nižje cene glede na več strojev istih funkcionalnosti in so hitrejši pri nastavljanju. Na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete je bil izdelan 3-osni CNC obdelovalni stroj. Ideja in kasneje želja je bila, da se doda četrto os in tako poveča funkcionalnost stroja. Dodatna os naj ne bi omogočala samo gibanje obdelovanca, ampak tudi struženje kot operacijo. Da bi to dosegli, bi bilo potrebno izdelati stružni agregat z možnostjo pozicioniranja obdelovanca. Agregat poganjata dva motorja, dvopolni asinhronski elektromotor in servo-motor. Na glavno gred sta povezana preko enostavnega menjalnika. Agregat je bil v celoti zmodeliran v programu SolidWorks. Kasneje je isti program uporabljen za risanje izdelkov, razširitev SolidCAM pa za izdelovanje G-kode. Rezkalni stroj poganja kontrolni program Mach3.

8 VIRI

1. AirSoft USA, Mach3, 2010
<http://www.machsupport.com/>
2. Bridging the gap between CAD and CNC, 2010
<http://www.cncinformation.com/g-codes-gcode-g-code-programming/bridging-the-gap-between-cad-and-cnc>
3. CNC Control Software, 2010
<http://www.cncinformation.com/cnc-control-software-cnc-software-control-soft>
4. Contour line, 2010
http://en.wikipedia.org/wiki/Contour_line
5. Dassault Systèmes SolidWorks Corp., 2010
<http://www.solidworks.com>
6. Lektronix, Industrial Automation Repairs, Spares and Service, 2010
<http://www.lektronix.net/equipment/62817/mitsubishi/servo+drive/hc-mfs43/hcmfs43/>
7. Predavanja Mehanske obdelave lesa, 2008
8. Sahos s.r.o., 2010
<http://www.sahos.cz/en/>
9. Solidcam, 2010
<http://www.solidcam.com>
10. Ren Z., Glodež S. 2001. Strojni elementi. Del 1: Univerzitetni učbenik. Maribor, Fakulteta za strojništvo: 422 str.
11. Tiba elektromotorji d.o.o. Ljubljana, 2010
<http://www.tiba.si/>
12. Wema conquest - CNC Woodturning automatic Machine, 2010
http://www.wema-olbernhau.com/conquest_e.html

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Bojanu Bučarju, recenzentki doc. dr. Dominiki Gornik Bučar, asistentu dr. Bojanu Gospodariču in tehničnemu sodelavcu dipl. inž. Dragu Vidicu za pomoč pri nastajanju tega diplomskega dela.

Za nujno potrebno izdelavo postprocesorja se zahvaljujem g. Jerneju Lokovšku iz podjetja SolidCAM Slovenija.

Posebno zahvalo pa si zasluži prijatelj Uroš Rudolf za pomoč pri spoznavanju programa SolidWorks in prijatelj Tomaž Rojc za izdelane prizme obdelovancev.