

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 396/2014

Јелена Г. Јоксимовић

КАРАКТЕРИСТИКЕ СНС ОБРАДНИХ СИСТЕМА И ПРИМЕР ПРИМЕНЕ

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада потребно је извршити прикуљање и систематизацију података о обрадним CNC системима и описати структуру нумерички управљаних машина алатки. Потребно је приказати координатне системе машина и начине њиховог програмирања.

У посебном делу рада извршити моделирање дела из производње у предузећу "ZASTAVA ORUŽJE" D.P., дати технолошки поступак израде моделираног дела и приказати генерисани NC код.

Препоручена литература:

1. Ковачевић Р., *"Алатне машине са нумеричким и компијутерским управљањем"*, Београд 1987.
2. Девичић Горан, *"Софтверска решења CAD/CAM система"*, Машински факултет, Крагујевац 2004.
3. Арсовски С, Перовић М., *"Флексибилна аутоматизација"*, Машински факултет, Крагујевац 1994.

У Крагујевцу,
мај, 2016.

Проф. др Богдан Недић

Резиме

У оквиру мастер рада анализиран је појам *NC* и *CNC* технологија, дате су њихове карактеристике и описан систем управљања. На основу извршене анализе и систематизације дат је поступак моделирања задатог предмета обраде (трн амортизера) у оквиру програмског пакета *CATIA V5R21*. Поред тога детаљно су описане технолошке операције које се изводе на задатом предмету обраде.

Након израде технолошке документације извршено је генерисање *NC* кода на *CNC* четвороосној машини. Приказани пример је израђен у сарадњи са предузећем "*ZASTAVA ORUŽJE*" D.P.

Кључне речи: *CNC* технологије, моделирање, *NC* код, структура *CNC* машина.

Summary

In this master paper is analyzed the concept of *NC* and *CNC* technology, their characteristics and description of management system. Based on the analysis and systematization it's provided a method of modeling a given workpiece (thorn of shock absorber) within the *CATIA V5R21* software package. In additon there are more details described about technological operations wthich are performed on given workpiece.

After creating technological documentation it was performed generating of *NC* code for *CNC* 4-axis machine. This example of workpiece is created in cooperation with company "*ZASTAVA ORUŽJE*" D.P.

Key words: *CNC* technology, modeling, *NC* code, *CNC* machine structure.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Обрадни системи са NC и CNC управљањем.....	5
2.1 Машински систем.....	5
2.2 Обрадни системи са нумеричким управљањем- NC.....	7
2.3 Обрадни системи са компјутерским управљањем- CNC.....	10
2.4 Обрадни системи са директним управљањем- DNC.....	13
2.5 Обрадни системи са адаптивним управљањем- AC.....	15
2.6 Системи са флексибилном аутоматизацијом- FPC.....	17
3. Нумеричко и компјутерско управљање.....	19
3.1 Интерполација.....	21
4. Структура нумерички управљаних машина алатки.....	23
4.1 Погонски системи.....	24
4.2 Мерни системи.....	25
4.3 Апсолутни и релативни мерни систем.....	27
4.4 Директни и индиректни мерни системи.....	28
4.5 Аналогни и дигитални мерни систем.....	29
4.6 Носећи и ослони елементи.....	30
4.7 Клизне вођице.....	32
4.8 Системи за измену алата.....	33
4.9 Системи за подмазивање.....	35
4.10 Системи за подмазивање.....	35
5. Координатни системи CNC машина алатки.....	37
5.1 Геометрија радног простора.....	37
5.2 Положај радних оса код NC струга.....	38
5.3 Положај радних оса код NC глодалица.....	39
5.4 Положај радних оса код NC бушилица.....	40
5.5 Положај радних оса код обрадних центара.....	41
5.6 Карактеристичне тачке радног простора NC машина алатки.....	42
6. Програмирање CNC машина.....	44
6.1 Појам програма и структура програма.....	45
6.2 Функције и адресе.....	46
6.3 Врсте програмирања.....	48
6.4 Списак и карактеристике G функција.....	50
6.5 Функције за дефинисање система мерења (програмирања)	53
6.6 Функције за успостављање везе између координатног система машине и предмета обраде.....	53
6.7 Функције за дефинисање мода помака G94, G95.....	54
6.8 Функције за дефинисање начина кретања.....	54
6.9 Функције за дефинисање стандардних циклуса.....	55
6.10 Помоћне функције- M.....	56
7. Моделирање предмета обраде и израда технолошке документације по операцијама.....	59
7.1 Модел и моделирање.....	59
7.2 Цртање и моделирање.....	61
7.3 Моделске форме.....	64
7.4 Параметарско моделирање.....	67
7.5 Моделирање трна амортизера.....	69
7.6 Израда технолошке документације трна амортизера.....	83
7.7 Генерисање G кода трна амортизера.....	88
8. Закључак.....	94
9. Литература.....	95

1. Увод

Технологија обраде проучава проблематику израде и обликовања готових делова. Када је реч о технологији механичке обраде, подразумева се обрада делова механичким путем и то уклањањем вишка материјала са или без скидања струготине. Као што сами називи кажу, под обрадом без скидања струготине подразумева се обрада у којој се обликовање врши без или са незнатним уклањањем вишка материјала (обрада ливењем, обрада спајањем и обрада деформисањем), док под обрадом са скидањем струготине се подразумева обликовање уклањањем вишка материјала (ручна обрада и обрада метала резањем) [1].

Савремени поступци обраде се односе на обраду материјала помоћу савремених технологија, односно применом савремених машина и обрадних цетара. Примена савремене технологије омогућава добијање, односно израду делова високе тачности са високим квалитетом обрађених површина.

Основни захтеви савременог тржишта, који у основи усмеравају производне и организационе активности, везани су за висок квалитет производа, скраћено време од идеје до реализације, ниске цене, производњу у серијама прилагођеним потребама тржишта, велики асортиман производа и сл. Да би томе одговорили, савремени производни системи треба да поседују високу конкурентску способност која им може омогућити да адекватно одговоре на постављене захтеве и изборе се са све већом конкуренцијом. Неке од карактеристика, које у том смислу треба да поседују савремени производни системи односе се на: ефикасност, флексибилност, аутоматизацију, постојан квалитет, рачунарски интегрисане активности, итд.

Флексибилна аутоматизација представља такав вид аутоматизације процеса у индустрији при коме се задржава или повећава постојећи ниво флексибилности. Захтев за повећањем нивоа аутоматизације произилази ради бољег овладавања производним и другим процесима, скраћења времена трајања циклуса производње, повећања квалитета израде и смањења коштања производа. У масовној и великосеријској производњи, аутоматизација је остварена применом аутомата и аутоматских линија, са основним карактеристикама: висока производност, тачна обрада и обрада истих делова у дужем временском периоду без преподешавања машина [2].

Аутоматизација средњесеријске и малосеријске производње, као доминирајућих видова производње, данас се успешно изводи нумерички управљаним (*Numerical Control* - NC) машинама алаткама, које се одликују производношћу и тачношћу аутомата и флексибилношћу универзалних машина алатки. Заједно са применом организационих мера, које воде повећању серија, тј. производњи делова по технолошкој сличности, познатој под именом "група технологија", постиже се оптимум у решавању проблема економичне малосеријске производње.

Нумерички системи управљања су изменили концепцију израде алатних машина тако да су добијене машине високе производности. Смањењу командног времена за око 50% и повећање удела активног времена обраде претходио је читав низ технолошко-организационих мера и концепција, које омогућавају висок степен искоришћења расположивог фонда обраде на машини. Те концепције омогућују смањење допунских и припремних времена скоро до њиховог елиминисања. Створени су нови системи резних алата, дрзача алата и уређаја за претходно подешавање комплета алата изван машине [2].

Производни трошкови у малосеријској производњи применом нумерички управљаних машина знатно се смањују, јер њиховом применом:

- отпадају конструкција и израда специјалних стезних алата и прибора,
- краћи су производни циклуси,
- мање су залихе материјала и алата,
- краћи су рокови испорука поручбина,
- остварује се велика флексибилност у производњи,
- смањује се време израде производа,
- могуће је истовремено опслуживање више машина,
- могућа је нижа квалификација опслуживоца машина,
- смањује се шкарт, производи су униформни, толерисање мера је дозвољено, а квалитет производа бољи,
- штеди се на трошковима техничке контроле и интерног транспорта,
- време обраде не зависи од опслуживоца и
- веће су могућности планирања производње и искоришћења постојећих капацитета [1].

Развој система нумеричког управљања алатним машинама је у тесној вези са развојем електронике и рачунарске технике. Ради бољег сагледавања функционисања ових система биће хронолошки приказан њихов развој:

- 1937. године коришћен је изменљиви носилач података, бушена плочича, за аутоматско управљање разбојем,
- 1938. године С.Е.Шанон на М.И.Т. (*Massachusetts Institute of Technology* SAD) дошао је до резултата да се најбржи пренос и обрада података може извести у бинарном облику уз коришћење Булове (*Boole*) алгебре, чиме су постављени темељи данасњим рачунарима и нумеричком управљању,
- 1943. године израђен је први електронски дигитални рачунар " *ENIAC*", који је имао 18000 електронских цеви,
- 1947. године *John Parsons* је први нумерички управљао алатном машином,

- 1954. године произведена је прва индустријска нумерички управљана алатна машина,
- 1958. године развијен је први програм за машинско програмирање- *АРТ*,
- 1960. године произведена је прва *NC* машина са транзисторима,
- 1963. године произведена је прва специјална *NC* машина алатка,
- 1968. године произведен је први *NC* систем са интегралним колима,
- 1969. године у *SAD* се појављују прва *DNC* постројења (*DNC* - *Direct Numerical Control*),
- 1972. године произведени су први *CNC* системи са мини- рачунаром (*CNC* - *Computerized Numerical Control*) и *NC* системи са меморијом [2].

До 1978. године поузданост *NC* система у просеку је износила по један застој сваких 10 месеци по систему управљања. Поузданост *CNC* система, са меморијом магнетних мехурића, износи по један застој на 33 месеца по систему управљања, при чему се указује на тренд даљег повећања поузданости. Резултат развоја нумеричког управљања алатним машинама је нови тип машина назван обрадним центром, који се одликује високом флексибилношћу и производношћу.

Основне карактеристике обрадних центри су:

- обрада призматичних радних комада при једном стезању са 4 или 5 страна,
- коришћење разних алата,
- аутоматска измена алата из магацина алата,
- аутоматско укључивање броја обртаја и посмака,
- аутоматска измена предмета обраде,
- лако постављање стезних прибора на палете,
- *CNC* управљање са меморисањем програма,
- корекција програма на машини и
- аутоматско мерење на машини [2].

Овај мастер рад се највише базира на обради метала уз помоћ савремених технологија обраде, применом *CNC* машина. Свако поглавље се понаособ бави проблематиком *CNC* технологија из различитих углова и са различитих аспеката посматрања.

Прво поглавље мастер рада се односи на уводна разматрања, где је приказан историјат примене *CNC* технологија као и разлози за увођење флексибилности у производне системе.

У другом поглављу се прецизно дефинише појам машинских система, система са *NU* управљањем, система са *CNC* управљањем, система са директним управљањем-

DNC, система са адаптивним управљањем- *AD* и система са флексибилном аутоматизацијом; текстом се дају објашњења задатих система, док се сликама илуструју задати системи обраде.

Треће поглавље се бави проучавањем нумеричко компјутерског управљања, као и појашњавањем основних појмова интерполације, како линијске тако и кружне и параболичне.

У четвртном поглављу се даје детаљан приказ структуре нумерички управљаних машина латки, односно објашњавају се термини погонског система, мерног система (апсолутни и релативни мерни систем, директни и индиректни мерни систем, аналогни и дигитални мерни систем), носећих и ослоних елемената, клизних вођица, система за измену алата, система за подмазивање и система за подмазивање и хлађење.

Пето поглавље уводи у област координатних система *CNC* машина алатки, објашњава се геометрија радног простора код машина, положај радних оса код *NC* стругова, положај радних оса код *NC* глодалица, положај радних оса код *NC* бушилица, положај радних оса код обрадних цетара и на крају се појашњава термин карактеристичних тачака радног простора *NC* машина алатки.

У шестом поглављу се појашњавају основе програмирања *CNC* машина, објашњава се појам програма и његова структура, дају се основне функције и адресе, наводе се све врсте програмирања и табелама приказују *G* и помоћне *M* функције.

Седмо поглавље садржи моделирање конкретног предмета за потребе предузећа "*ZASTAVA ORUŽJE*" *D.P.*, у програмском пакету *CATIA V5R21*, као и израду техничке документације по операцијама.

На крају овог мастер рада дат је закључак, који потиче из анализе карактеристика технологија и опреме за израду делова од метала, као и наведена коришћена литература.

2. Обрадни системи са *NC* и *CNC* управљањем

Често, у ширем смислу људске активности, коришћење термина "систем" изазива потешкоће у разумевању, а највише из разлога жеље да се искаже једна генерална дефиниција овог појма, која би важила, или бар обухватала већину случајева, а да при томе буде универзална.

Најједноставније, а уједно и најопштије речено, систем представља скуп објеката са међусобним релацијама повезаних у једну цјелину. Систем се идентификује објектима, особинама и релацијама. Објекти су елементи или компоненти система са одређеним особинама и са међусобним релацијама којима се остварује функционисање система, али такође, и веза система са околином. Ако се систем посматра као систем који чине одређене улазне величине, стање и излазне величине, онда улазне величине могу бити контролисане и неконтролисане [6].

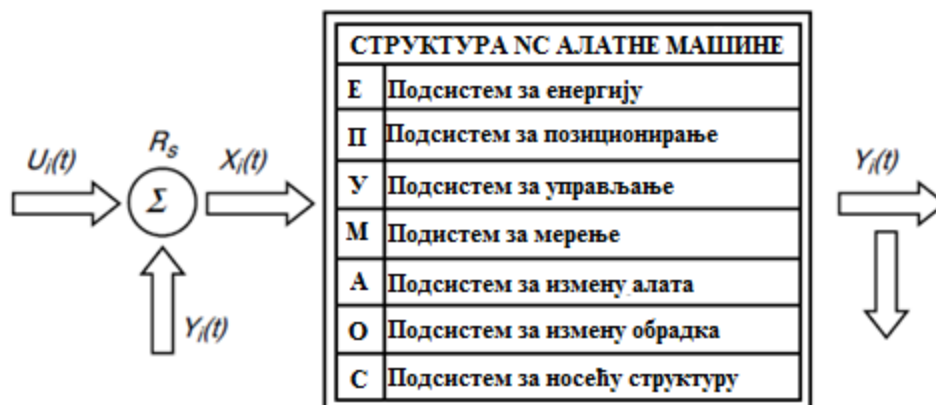
2.1 Машински систем

У области алатних машина, под појмом машинског систем подразумева се машина или уређај са структуром која дефинише систем. При томе се понашање овог система у обрадном процесу може предвидети и на њега утицати. Код конвенционално управљаних алатних машина, машински систем сачињавају алатна машина са својим подсистемима и њиховим међусобним релацијама. Код нумерички управљаних алатних машина, имајући на уму принцип овог управљања, машински систем има другачију структуру. Већина подсистема код нумерички управљаних алатних машина је битно различита у односу на исте код конвенционално управљане машине. Ове разлике се односе на конструктивне карактеристике, управљачке механизме и акције, степен аутоматизације, ниво и количину преноса и обраде информација, ниво компонената подсистема, поузданост рада подсистема и слично [4].

Нумерички управљани машински систем (слика 2.1 [6]), састоји се од подсистема за енергију E , позиционирање P , управљање U , мерење M , измену алата A , измену обратка O , носећу структуру C и др. Поредиши машинске системе са *NC* управљањем и конвенционалним управљањем могу се уочити разлике у структурној изградњи, разлике у одговарајућим подсистемима, али са истом улогом у обрадним процесима.

Са становишта нивоа и обима управљаних акција и информација, машински системи *NC* алатних машина спадају у комплексне системе, где примена компјутерских технологија нарочито долази до изражаја.

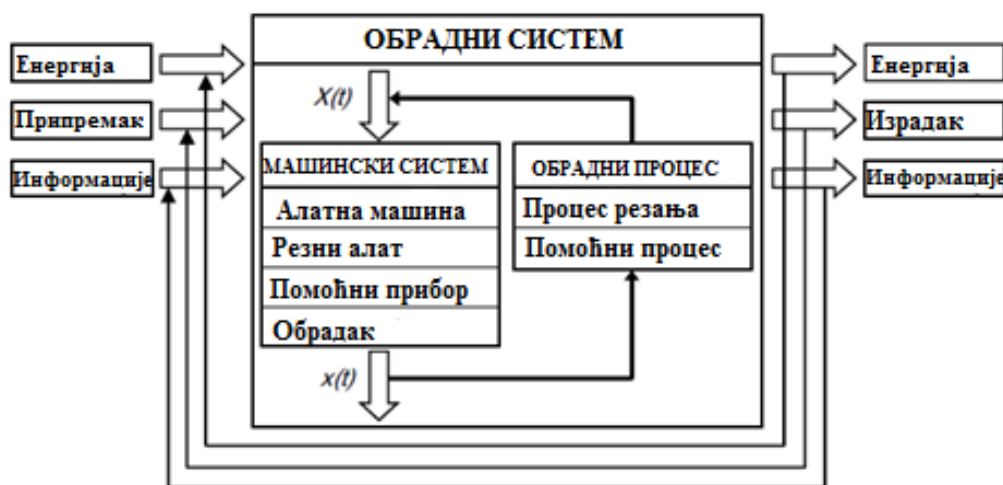
Када се машински систем посматра истовремено са процесом који извршава, а то је у случају алатних машина, обрадни процес, тада се повећава његова комплексност чиме се гради нови систем, такозвани обрадни систем.



Слика 2.1 Машински систем нумерички управљане машине[6]

У општем случају, обрадни систем се може дефинисати као машински систем са обрадним процесом као основном функцијом, слика 2.2 [6]. Под обрадним процесом, се подразумевају сви процеси којима се материјал, енергија и информације трансформишу у израдак. Ово се односи на различите поступке обраде резањем, заправо зону резања (при стругању, бушењу, глодању, брушењу и др.), а такође и на међузависности утицаја између алатне машине, резног алата, помоћног прибора и обрадка, односно на машински систем. На тај начин се може извести прецизнија дефиниција обрадног система: да је систем кога сачињавају машински систем и обрадни процес са одговарајућим елементима и релацијама.

Обрадни системи могу бити изграђени на бази конвенционалних и NC управљаних алатних машина. Структура наведених систем се значајно разликује.



Слика 2.2 Основни модел обрадног система[6]

2.2 Обрадни системи са нумеричким управљањем- NC

Обрадни системи са NC управљањем су конципирани тако да се све управљачке акције обраде врше посредством и под контролом управљачког система, док код конвенционално управљаних обрадних система човек на директан или индиректан начин управља процесом обраде.

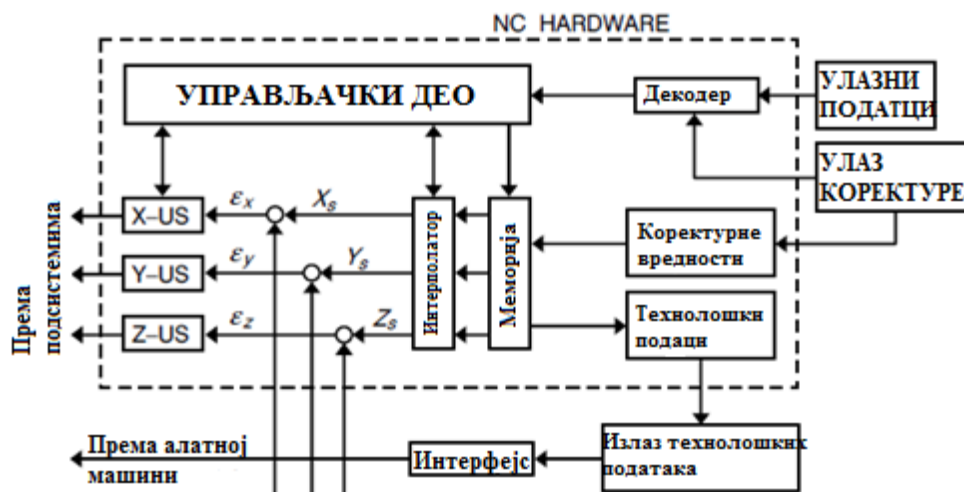
Нумеричко управљање (NC) је вид програмабилне аутоматизације код које се обрадним системом управља помоћу бројева, слова и других симбола. Ови бројеви, слова и симболи су кодирани у одговарајућем формату чинећи на тај начин сет наредби и инструкција (или програм) за конкретни производни задатак. Када је у питању други производни задатак, програм се мора променити. Због ограниченог капацитета измене програма, нумеричко управљање је прикладно за малу- и средњесеријску производњу. Оперативни принцип нумеричког управљања састоји се у непрекидној контроли релативног положаја резног алата у односу на обрадак [4].

Структура управљачке јединице обрадног систем са NC управљањем приказана је на слици 2.3. Управљачка јединица је састављена од управљачког дела, декодера, интерполатора, меморије, елемената за обраду корективних вредности и технолошких података, управљачких подсистема за координатне осе X , Y и Z . Улазни подаци се помоћу носиоца информација уносе у декодер, где се врши декодирање учитаних информација које се даље преко управљачког дела шаљу у меморију. Меморијски део је у директној вези са интерполатором (у овом случају то је рачунар) у коме се израчунавају путање резног алата између референтних тачака. Тако израчунате вредности се у облику сигнала шаљу управљачким подсистемима. Истовремено, преко повратних веза, које представљају мерни системи врши се одређивање положаја алата у правцу X , Y и Z осе и преко сумацијских тачака (које су с друге стране повезане са интерполатором), формирају се разлике управљачких сигнала ε_x , ε_y и ε_z , као релевантни сигнали за управљање [6].

Сви технолошки подаци са носача информација се преко меморије и интерфејса директно преносе на алатну машину. У ове информације спадају информације везане за стезање и отпуштање обратка, измену резног алата, довођење средства за хлађење и подмазивање, компензације, обртање радних столова код обрадних центра и сл.

Управљачки систем без уграђене меморије представља тзв. класични систем са фиксном логиком. Флексибилност овог система је уско ограничена, тако да чак не постоји могућност било каквих корекција у току обраде, тј. извршења програма. Ови системи се одавно се не производе због наведених недостатака.

Структура управљачке јединице обрадног система са NC управљањем је приказана на слици 2.3 [6].

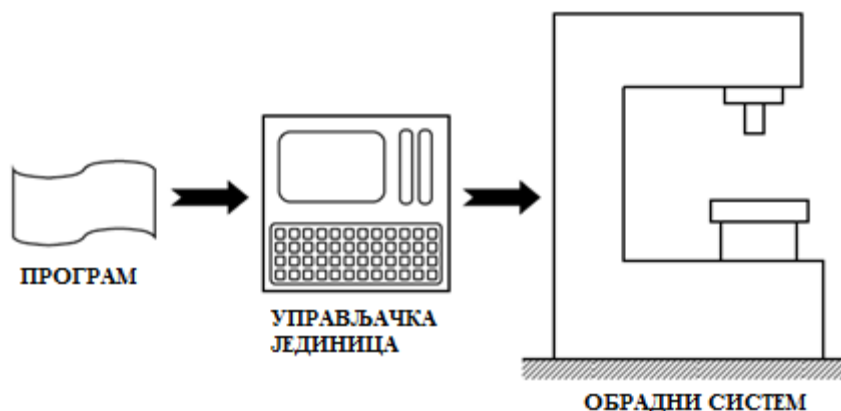


Слика 2.3 Структура управљачке јединице обрадног система са NC управљањем [6]

NC системи се састоје од три главне компоненте, слика 2.4 [1]:

- програм (сет наредби),
- управљачка јединица и
- обрадни систем (производна опрема).

Међусобна повезаност наведених елемената је следећа: програм се уноси у управљачку јединицу, а ова даље управља радом обрадног систем.

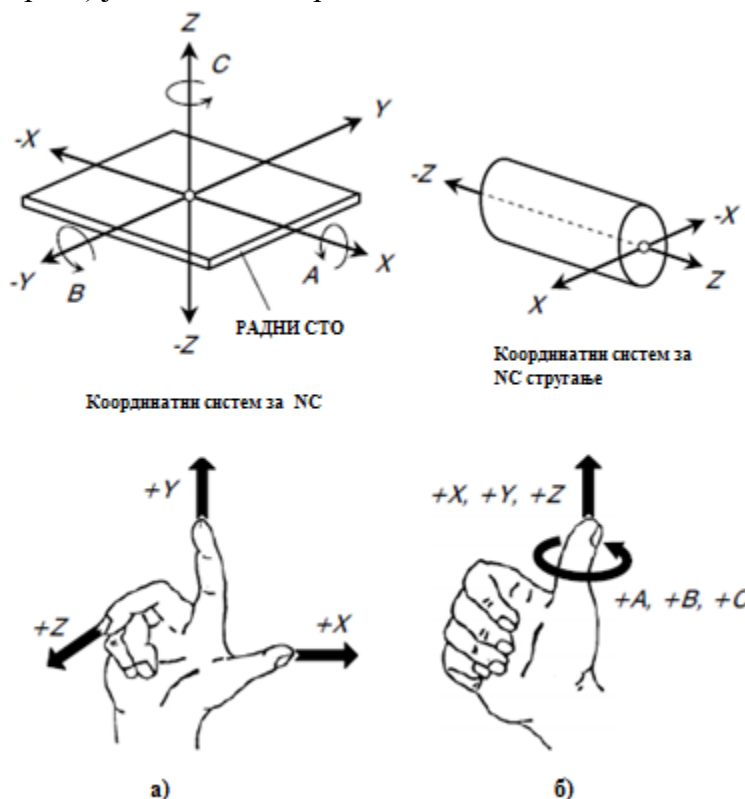


Слика 2.4 Основне компоненте NC система [1]

Да би се могло спровести нумеричко управљање, потребно је успоставити систем стандардних оса помоћу ког ће у сваком тренутку бити дефинисан и једнозначно одређен релативни положај резног алата и обратка. X и Y осе дефинишу раван радног стола алатне машине, слика 2.5 [4]. Оса Z је нормална на ову раван и представља осу аксијалног кретања

вертикалног вретена машине. Кретања у правцу координатних оса су орјентисана у позитивном и негативном правцу.

Сврха успостављања координатних систем код *NC* алатних машина је захтев контроле релативног положаја између резног алата и обратка. У зависности од типа *NC* алатне машине, технолог- програмер има две главне могућности: фиксни координатни почетак ("фиксна нула") и покретни (померљиви) координатни почетак ("променљива нула"). У првом случају, координатни почетак је увек лоциран у истој тачки на радном столу машине. Најчешће је то доњи десни угао правоуглог стола и сви положаји се у том случају дефинишу позитивним вредностима у правцу X и Y осе. У другом, чешће примењиваном случају, координатни почетак може бити у било ком положају на радном столу алатне машине. Заузимање конкретног положаја координатног почетка је искључиво одлука технолога- програмера. Чак и при ручном програмирању и уношењу програма преко тастатуре на конзоли алатне машине, жељен положај за координатни почетак се може дефинисати (фиксирати) једноставним притиском типке "Zero" [4].

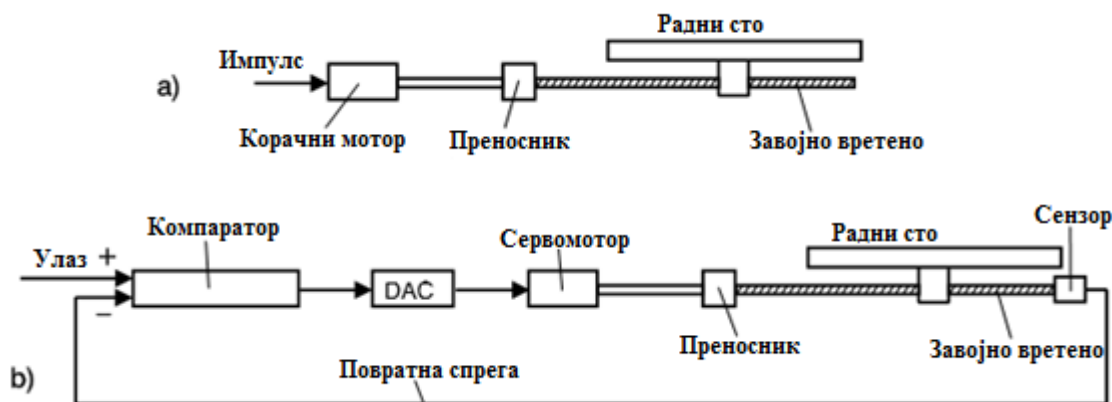


Слика 2.5 Координатни системи код *NC* управљања [4]

NC управљање у суштини представља положајно позиционирање резног алата у односу на обрадак у току обраде. Постоје апсолутно и инкрементално позиционирање. Апсолутно позиционирање представља положај резног алата увек у односу на нулту тачку.

У случају инкременталног позиционирања, наредни положаји алата се увек дефинише у односу на тренутни положај.

Управљање позицијама и кретањима код *NC* систем су важне карактеристике. Подаци уčitани у управљачкој јединици дефинишу положаје у односу на координатне осе алатне машине. Кретања у правцу сваке појединачне осе остварује се засебним уређајем од којих се највише користе *DC* сервомотори, корачни мотори, као и хидраулични погони. На слици 2.6 [6] је приказан принцип погона помичног кретања радног стола алатне машине. Наиме, транслаторно кретање у правцу означен осе за један обртај завојног вретена једнако је кораку завојног вретена. Систем управљања по позицијама може бити отворени и затворени. Разлика између ова два система је повратна спрега. Мерни систем позиције, се дакле остварује са или без повратне спреге. Код отворених система, 2.6 слика а, уобичајно се користи корачни мотор. Корачни мотор је електрична машина код које се погон и контрола врши помоћу електричних импулса генерисаних од стране управљачке јединице (или неког другог дигиталног уређаја). Сваком импулсу одговара кореспондентна вредност закретања корачног мотора што је и основ погона и управљања величине помичног кретања. Код затворених система, 2.6 слика б, сензор за позиционирање је уграђен на завојном вретену алатне машине. Свака створена разлика између улаза и измерене вредности је основ контроле кретања и позиционирања. Овај принцип се назива принцип повратне спреге [6].

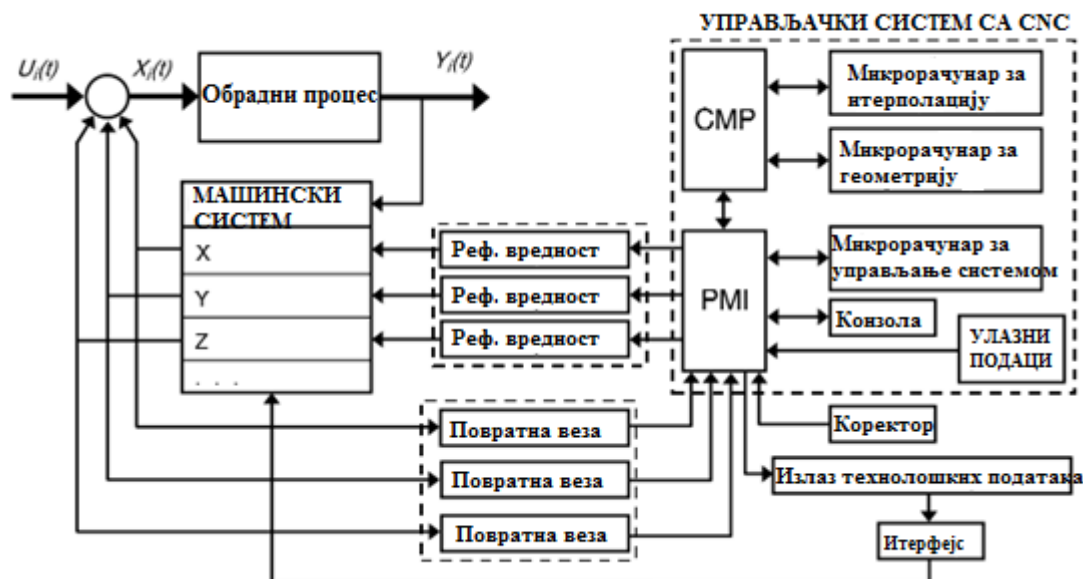


Слика 2.6 Системи контроле кретања: а) отворени, б) затворени [6]

2.3 Обрадни системи са компјутерским управљањем- *CNC*

Највише из разлога генералног недостатка нумерички управљаних систем а то је фиксна логика, а затим и због захтева за већом флексибилношћу управљања обрадним процесима, развијени су системи са флексибилном логиком, тзв. *CNC* системи (*Computer Numerical Control*). Под компјутерски управљаним системима подразумевају се дакле *NC* системи са компјутерским управљањем. Код ових система, микрорачунари преузимају задатке фиксне логике. При томе, за различите подсистеме користе се засебни рачунари, на пример један за израчунавање путање резног алата, други за позиционирање, трећи за управљање улазно- излазним информацијама и сл. На слици 2.7 [6] приказана је

принципијелна шема обрадног систем са *CNC*- управљањем. Улазни подаци се уносе у меморију *CMP* и *PMI* (*CMP*- централна меморија обрадних података, *PMI*- меморија комуникацијских података), одакле се по потреби обрађују у микрорачунарима. Централна меморија обухвата интерполацију, генерисање геометрије и корекција, а комуникацијска меморија, декодирање, корекцију и управљање системом. Програми за наведене елементе меморија врше обраду података, тј. израчунавају путање алата, управљају геометријом, и преко микрорачунара шаљу наредбе у виду сигнала за управљање погонским моторима алатне машине [4].



Слика 2.7 Принципијелна шема обрадног система са *CNC* управљањем [6]

Општа конфигурација компјутерски управљаног обрадног система приказана је на слици 2.8 [1]. Унешени подаци, преко носиоца информација, се меморишу у виду програма, микрорачунар их обрађује и управља (у комуникацији са интерфејсом) са сервосистемима алатне машине у ужем смислу, или обрадним системом у ширем смислу.



Слика 2.8 Општа конфигурација компјутерски управљаног обрадног система [1]

CNC системи су у потпуности елиминисали све недостатке *NC* управљања, тако да се већ одавно, ови други више не производе. Подаци који се односе на почетак развоја *CNC*-

система говоре следеће: 1970. године од свих *NC* систем свега 8% било је са компјутерским управљањем, да би већ 1979. године *NC* системи били скоро потпуно замењени *CNC* системима.

Главне карактеристике *CNC* система су:

- меморисање више програма где се под програмом подразумева скуп наредби за обраду једне врсте производа. Данашњи капацитет у овом смислу скоро да нема ограничења,
- употреба високо меморијских носиоца информација. Као историјски податак (деталј), се напомиње бушена трака. Данас се користе *CD*- дискови, или већи интернетом подржани унос података,
- едитовање (приказ) програма на алатној машини. Ово омогућава компјутерска меморијска јединица. Дакле, процес тестирања и корекције програм може се вршити на машини, без да се посао репрограмирања преноси назад у програмерски биро (што је случај код *NC* управљања). Осим тога, едитовање програм на машини омогућава и оптималније режиме обраде,
- фиксни циклуси обраде и потпрограм. *CNC* системи омогућавају меморисање чешће коришћених програма, који се једноставним позивањем уводе у актуелни програм,
- осим линеарне и кружне итерполације, захваљујући коришћењу рачунара, могуће су хеликоидна, параболична и кубна интерполација које су у систем унешене као програмски алгоритми,
- позиционирање и подешавање. Подешавање алатне машине за сваки појединачни производни задатак (производња једног производа) обухвата, између осталог, и постављање и позиционирање помоћног прибора на радни сто машине. Ово подразумева да су координатне осе алатне машине подешене са обратком стегнутим у помоћном прибору. Ово подешавање се може извршити уз помоћ *CNC*- система. Најчешће се користи тзв. систем сетирања позиција (подешавање позиције). Овим начином, није потребно претходно остварити високотачно позиционирање на радном столу машине, него користећи циљне тачке, или више њих, једноставно дефинисати референтни положај помоћног прибора са обратком на радном столу машине,
- компензација димензија резног алата. Димензионисање резног алата, се мора прецизно дефинисати и тачно усагласити са програмираном путањом у току обраде која је дефинисана програмом. У новијим *CNC* системима постоји могућност ручног уношења актуелних димензија резног алата у управљачку јединицу. У зависности од разлика пројектованих и актуелних димензија алата, управљачка јединица изврши компензацију која као коначан резултат има аутоматско пудешавањем путање алата у сагласности са његовим

димензијама. Друга, веома корисна иновација код *CNC*- системима је употреба сензора за мјерење дужина алата (на примјер, дужина глодала) који је постављен на машини. Овим начином, се постављени алат доводи у контакт (додир) са сензором и тако измерена дужина алата је основ за аутоматску корекцију његовог кретања (корекција програма),

- дијагностика. Савремене *CNC* управљане алатне машине имају могућност *on-line* дијагностике својих подсистема. Када се открије (детектира) нека грешка у систему, оператер на машини добија поруку на монитору управљачке јединице. И не само то. У случају озбиљнијег квара систем аутоматски зауставља процес обраде и омогућава комуникацијску анализу о разлозима отказа,
- комуникацијски интерфејс. Модерни *CNC* системи имају веома учинковите и комуникацијски лако употребљаве комуникацијске интерфејсе [6].

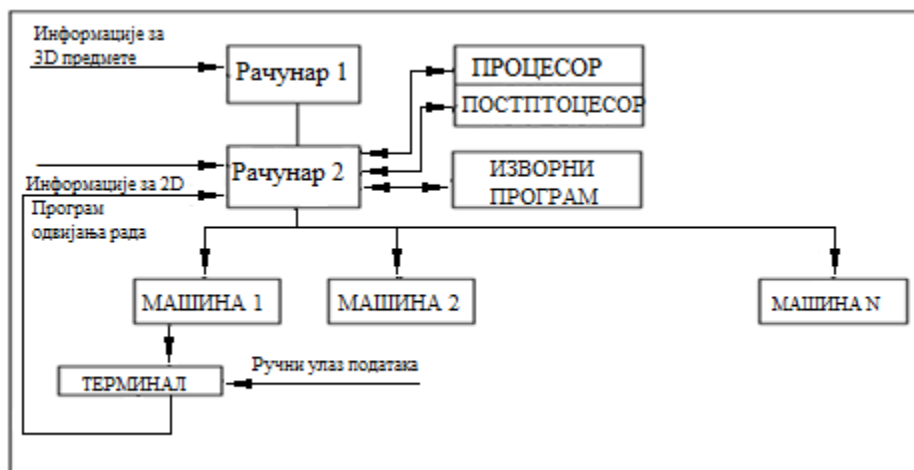
Према томе, у најкраћем се могу навести основне предности примјене *CNC* система у односу на *NC* системе:

- уређај за учитавање програма се користи само једном и на тај начин програм се учита и меморише,
- едитовање (приказ) програма на монитору,
- велика флексибилност,
- могућност прерачунавања величина у различите мерне системе,
- остварење тзв. потпуног обрадног система (*Total Manufacturing System*) и др [6].

2.4 Обрадни системи са директним управљањем- *DNC*

Под *DNC* системом (*Direct Numerical Control*) подразумева се више *NC* машина алатки, директно управљаних применом надређеног процесног рачунара, чиме се знатно повећава степен аутоматизације, уз високу флексибилност обраде. Из употребе, се избацује бушена трака као носилац информација. Процесни рачунар преко кабловске везе (*on-line*) управља са више *NC* машина алатки, мерних машина, уређаја за манипулацију итд. Рачунар податке обрађује у реалном времену, тако да више машина може да симултано ради, користећи могућност рада рачунара у *time-sharing* моду. То подразумева да рачунар истовремено извршава два или више програма. У принципу рачунар не може да ради две операције у исто време, већ наизменично обрађује један па други програм али, пошто то ради изузетно великом брзином, чини се да се обрада програма врши истовремено [1].

У општем случају *DNC* систем чине два рачунара, један надређени или "велики" рачунар 1 и један подређени "мали" рачунар 2, који преузима одговарајуће програме од "великог" рачунара и меморише их у својој екстерној меморији. На основу одговарајућег програма одвијања обраде, рачунар 2 доставља одговарајући програм обраде одговарајућој машини. Како је памет управљачке јединице мала да би могла да прими изворни програм и корекције, рачунар ради у време подела поступку за све прикључене машине. Корекције и позив програм се могу вршити директно са командне табле *NC* алатне машине или терминала, који се налази уз сваку *NC* алатну машину. Измене се могу вршити само преко рачунара 2. На слици 2.9 [4] је приказана структура *DNC* систем са централним и процесним рачунаром.



Слика 2.9 *DNC* систем са централним и процесним рачунаром [4]

DNC систем може да имати више варијанти. У првој варијанти може се имати само један рачунар. Мана ове варијанте је у томе што са искључењем рачунара престаје рад алатних машина. У другој варијанти уместо конвенционалних алатних машина се користе *NC* машине алатке. У трећој варијанти, се управљачки задаци рачунара 2 преносе у нумеричко управљање, тј. у *CNC* систем. Ову варијанту одликују *CNC*- модули што повећава флексибилност и смањује трошкове везане за рад рачунара 2.

Код *DNC* систем велики значај има комуникација између рачунара и периферних уређаја или других рачунара.

Основне предности *DNC* систем су:

- поузданији рад јер је управљање сведено углавном на софтверски део, а смањен је хардверски део управљања,
- повећање продуктивности обрадног систем због квалитетније обраде информација,
- већи обим информација што даје шире могућности управљања, као и флексибилност,

- процесни рачунари који управљају овим системима су искоришћени у свом пуном капацитету [4].

2.5 Обрадни системи са адаптивним управљањем- АС

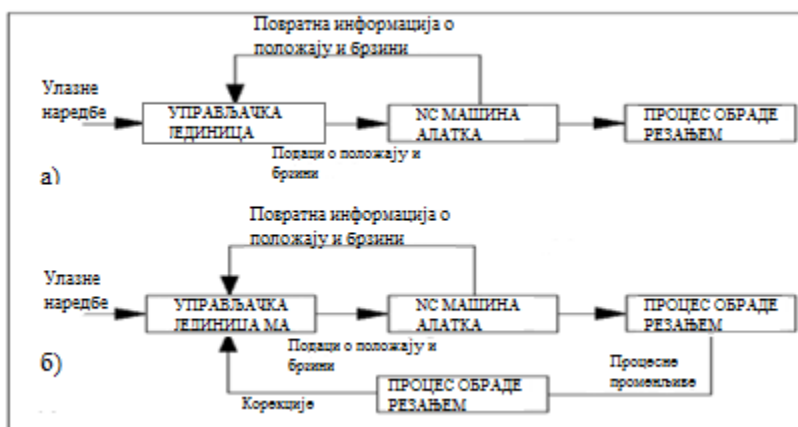
Док *NC* управљање представља вођење процеса обраде на основу релативних положаја резног алата и обратка, адаптивно управљање се односи на управљање брзинама кретања извршних органа алатне машине (брзина резања и брзине посмичних кретања), а на основу постављених критеријума и на основу мерења појединих величина у току процеса обраде (слика 2.10 [4]). На примјер, ако се у току обраде идентификује повећање силе резања (мери се сила резања) што може бити индикатор повећаног трошења резног клина алата, тада ће системом адаптивног управљања бити прослеђена информација погонском мотору да се смањи број обртаја, а тиме и брзина резања. На овај начин ће се продужити постојаност алата и завршити производна операција без отказа алата.

Адаптивно управљање је вид управљања који се заснива на адаптацији систем, тј. на мењању особина систем ради постизања најбољег функционисања у променљивим условима окружења.

Према задатку и начину деловања, адаптивни системи се могу поделити у две групе и то на: технолошке и геометријске системе.

Технолошки адаптивни системи имају задатак да обезбеде регулисање технолошких параметара обрадних процеса, при чему разликујемо два система:

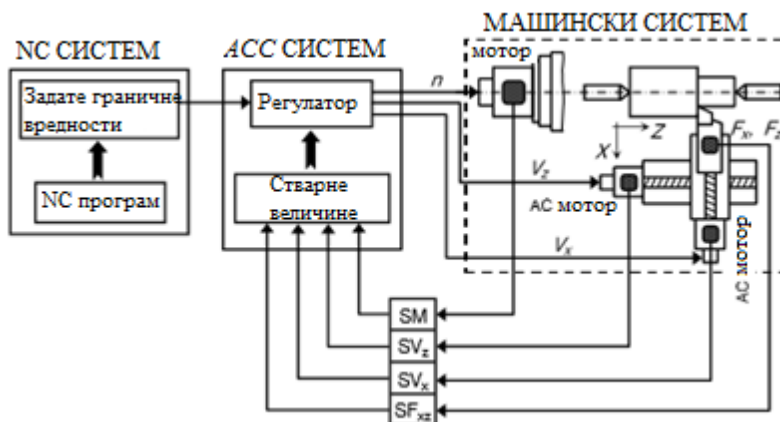
- гранично адаптивно управљање (*ACC-Adaptive Control Constraint*) и
- оптимално адаптивно управљање (*ACO-Adaptive Control Optimization*).



Слика 2.10 Шематско представљање класичног и адаптивног *NC* управљања [4]

Код *ACC* систем (слика 2.11 [4]), унапред се задаје једна или више граничних вредности, карактеристика процеса обраде (отпори и температура резања, снага и моменат

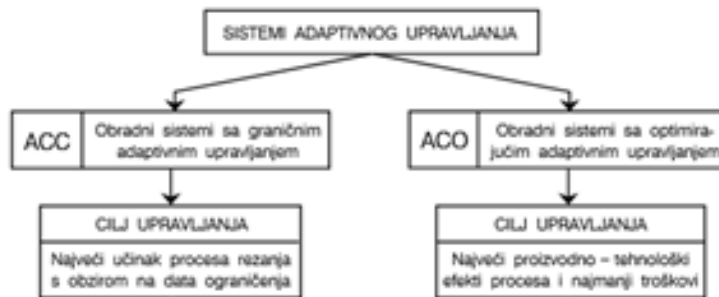
резања, еластична деформација алата и предмета обраде, граничне вредности струје мотора и сл.), и процес се, регулисањем управљачких величина (корак, дубина и брзина резања), тако води да се у сваком тренутку оствари једна од задатих граничних вредности.



Слика 2.11 Основни концепт адаптивног управљања на примеру стругања [4]

Код АСО система (слика 2.12 [4]) оптимална вредност параметра обраде, се одређује у току процеса обраде. То је најчешће брзина резања која се у току обраде мења у зависности од величине поремећајних дејстава (промена тврдоће материјала предмета обраде, промена додатака за обраду, укључујући вибрације, хабање алата, итд.), Тако да се у сваком тренутку постиже екстремна вредност функције критеријума (производност и/или трошкови обраде).

Геометријско адаптивно управљање има за циљ да повећа тачност димензија и облика радног комада. Овај систем садржи један или више мерних подсистема за мерење карактеристичних величина које утичу на тачност форми и димензија предмета обраде.



Слика 2.12 Врсте, циљеви и основне карактеристике АСсистема управљања [4]

2.6 Системи са флексибилном аутоматизацијом- FPC

Корак даље у ширењу аутоматизације је обрадни центар који представља алатну машину са високом концентрацијом поступака и операција обраде и аутоматизације која обухвата аутоматско мјерење, позиционирање, заузимање и варирање елемената режима резања, и аутоматску измену алата и обрадака. Допрема припремака и отпрема израдака, затим складиштење и управљање токовима информација у ширем смислу, овде су још увек остали изван система аутоматског управљања.

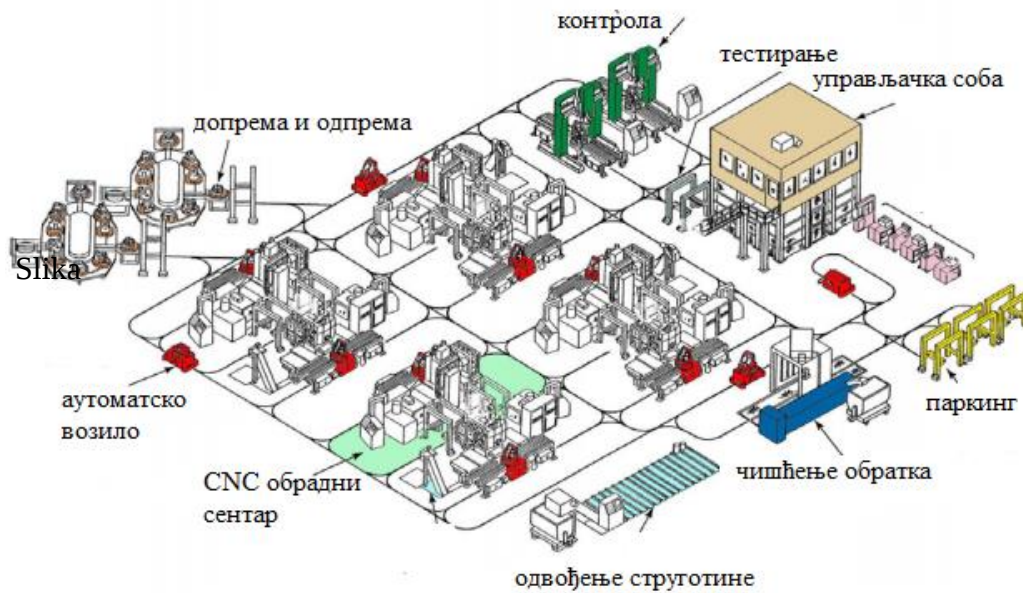
Системи код којих су све активности у оквиру производног процеса обухваћени аутоматизацијом, називају се флексибилни производни системи, *FPC*. Ови системи обухватају: флексибилну аутоматизацију, групну технологију, *CNC* алатне машине, аутоматску манипулацију између машина и кумпјутерско управљање машинама и манипулацијом (транспорт). Према томе, флексибилни производни систем представља систем састављен од више алатних машина (у пракси се за ове машине користи име обрадна или производна станица) међусобно повезаних аутоматским транспортним системом (укључујући и систем складишта), а који је управљан интегрисаним компјутерским системом. Изворно, флексибилни производни систем (*Flexible Manufacturing System*) је добио име по његовој могућности обраде различитих делова, миђутим, флексибилност ових систем се не односи само на облик обрадака, него много шире, на све активности у оквиру производног процеса [4].

Три основне компоненте флексибилних производних система су:

- *радна станица* која представља место обраде и то је типична *CNC*- алатна машина. Међутим, радна станица обухвата и више од појма обрадног места. У склопу флексибилних производних система радном станицом сматраће се и мерна станица, контролна станица, станица за монтажу и производна алатна машина,
- *манипулација и складиштење*. То је компонента флексибилног производног система која обухвата различите типове аутоматске манипулације обрадцима између радних станица укључујући и складиштења,
- *компјутерско управљање*. Систем компјутерског управљања користи се за координацију свих активности; управљање радом радних станица и системом манипулације и складиштења.

На слици 2.13 [6] шематски је приказан флексибилни производни систем инсталисан у компанији *Vought Aerospace у Dallasu, SAD*. Произвођач овог система је компанија *Cincinnati Milacron*, такође из *SAD* -а. Систем је састављен од осам *CNC*- хоризонталних обрадних центра и једног модула за контролу. Транспорт материјала, се врши аутоматским манипулаторима (четири аутоматска возила). Допрема припремака и отпрема готових делова врши се на две станице које су у облику склдишта. Припремак се из склдишта

аутоматски поставља на палету које се аутоматизованим возилима допремају до радних станица. Систем има могућност производње 600 различитих делова који се уграђују у авионе [6].



Слика 2.13 Флексибилни производни систем (Vought Aircraft, SAD) [6]

3 Нумеричко и компјутерско управљање

Класична управљачка јединица се састоји од:

- основне управљачке јединице,
- додатних модула и
- модула по избору.

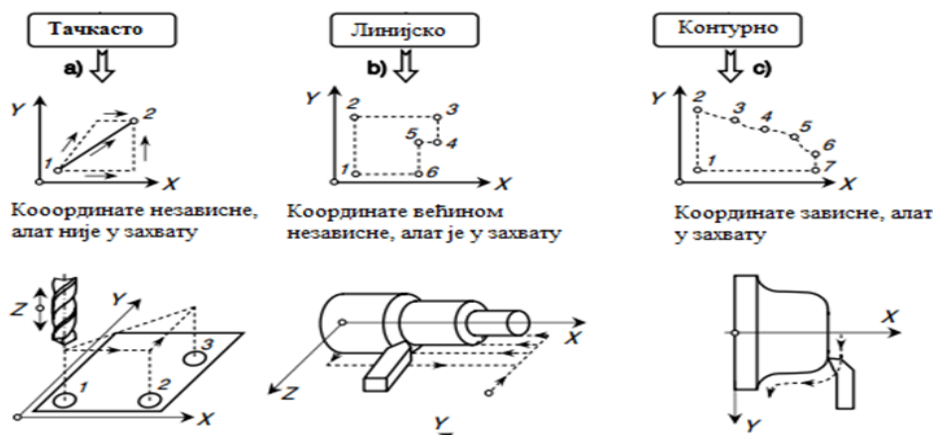
Основна управљачка јединица дефинише број управљачких оса, врсте интерполације, тип програмирања (апсолутно или инкрементално), избор брзине резања, корекције алата, могућност примене макроинструкција (подела на пролазе, циклусе обраде, итд.).

Додатни модул служи за улаз информација у основну управљачку јединицу и излаз из њега (улаз у систем машине). Додатни модули су нпр. читач бушене траке, модул за ручни улаз информација и интерфејс за прилагођавање излазних величина, из основне управљачке јединице, ка конкретној алатној машини.

Уколико се желе боље перформансе *NC* система, основној управљачкој јединици, се додаје модул по избору (нпр. модул за кружну и параболичну интерполацију).

Нумеричко управљање подразумева управљање релативним положајем резног алата и обратка. Принципијелно, постоје две врсте управљања: координатно и контурно, а с обзиром на контакт алата и обратка, координатно управљање, се дели на тачкасто (тачка по тачка) и линијско, слика 3.1 [4]. Према томе, постоје:

- управљање тачка- по- тачка (тачкасто управљање),
- управљање по правој линији (линијско управљање) и
- управљање по контури (контурно управљање).



Слика 3.1 Врсте управљања [4]

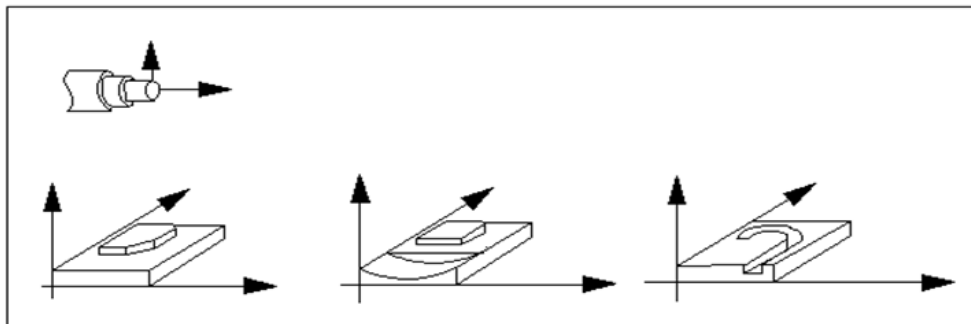
Тачка- по- тачка управљање се често назива и систем позиционирања и представља најједноставнији начин управљања. Примењује се код бушилица за позиционирање алата у односу на обрадак, затим код тачкастог завативања, машина за пробијање и просецање. Кретање од једне до друге позиције може се вршити најпре у правцу једне координатне осе, а затим у правцу друге, или истовремено у правцима обе координатне осе. Дакле, код овог начина управљање координате су независне, резни алат није у захвату са предметом обраде и интерполатор није неопходан.

Код линијског управљања, за време кретања алата, дуж задате линије, врши се обрада и то све до постизања одговарајућих вредности координата на линији. Кретање се може вршити уздуж координатних оса појединачно, или истовремено. Овај начин управљања највише се користи код операција стругања и глодања. У случајевима да се линијска кретања алата поклапају са правцима координатних оса (тзв. једноставно линијско управљање), тада интерполатор није потребан, а ако се кретање врши истовремено по обе осе (тзв. напредно линијско управљање), интерполатор мора бити укључен [7].

Контурно управљање, је најкомплексније и омогућава путању алата по било каквој задатој правој или кривој контури. Ово омогућавају савремени погонски системи који дају веома мале величине померања, у уским толеранцијама.

Управљање по криволинијским путањима могуће је остварити тако што се путања резног алата остварује истовременим управљањем:

- две фиксне осе (управљање по $2D$),
- две променљиве осе (управљање $2.5D$) и
- три осе (управљање по $3D$).



Слика 3.2 Врсте криволинијског управљања [7]

Управљање по $2D$ омогућава праволинијске и кружне путање у две фиксне осе. Ако CNC машина поседује 3 осе и управљање по $2D$, онда се трећа оса може управљати и независно од остале две. Код глодалица, нпр., то означава да се при програмирању кретања у једној оси врши продирање, а у остале две обрада контуре (слика 3.2 [7]). Управљање путањом $2.5D$ омогућава праволинијске и кружне кретања резних алата, у више равни обраде, при чему увек по два осна кретања могу да бити међусобно усаглашена. Код неке CNC машине са три осе (X , Y , Z) могу, по избору, бити истовремено управљане или XY оса,

или XZ оса, или YZ оса. Код глодалица то означава да кретање продирања може да се оствари у једној од три осе, а у остале две се обавља обрада контуре (3.2 слика б). Управљање путањом $3D$ омогућава просторно кретање резног алата по праволинијској или кружној путањи, а то значи да три осна кретања могу бити међусобно усаглашена. Код глодалица то значи да се могу остварити произвољне просторне путање нпр. завојница (3.2 слика в).

3.1 Интерполација

Код CNC машина релативно кретање алата и обратка одређује резултанта коју чине компонентна кретања у правцима координатних оса. Интерполатор има задатак да координира ова кретања у правцу појединих оса тако да резултујуће кретање буде у правцу тангенте на контуру обратка. Шире, у контексту управљања системом, управљачка јединица треба да управља механизмима машине и тиме обезбеди:

- позиционирање извршних органа,
- кретање алата по задатој путањи,
- синхронизацију кретања према импулсима мерног система,
- управљање циклусима преносних компоненти машине,
- управљање технолошким циклусима и
- управљање осталим системима [1].

Једна од најсложенијих функција управљачке јединице представља управо кретање алата по жељеној (задатој) контури. Према томе, стварна путања алата, а тиме и стварни облик контуре обрађене површине одговара приближној контури полигоналног облика, одступање ове две контуре не сме бити изван прописаних толеранција.

Интерполацију стварних помоћу приближних контура остварује микрорачунар за интерполацију, или интерполатор. Интерполатор, дакле, има задатак да координира помоћна кретања у правцима координатних оса, али тако да се правац резултујућег кретања алата поклапа са тангентама у изабраним тачкама на контури обратка. Уколико се интерполатор налази у склопу управљачке јединице, тада се ради о тзв. унутрашњој интерполацији, а уколико се ради о компјутерском управљању, када функцију интерполације у потпуности или делимично преузима рачунар, тада се ради о тзв. спољашњој интерполацији.

За израчунавање путање алата код праволинијског кретања користи се линеарна интерполација. Разликују се раванске ($2D$) и просторна ($3D$) интерполације (слика 3.3 [7]).

Код кружне интерполације, путања алата између референтних тачака одређује се на сличан начин као код линеарне интерполације. Овде се полази од претпоставке да се алат у било којој тачки путање креће константном брзином. Дакле, спољашња (тангенцијална) брзина алата је константна, а то значи да су брзине у правцима координатних оса променљиве.

Параболична интерполација се најчешће користи са правоуглом и симетричном параболом, и то при четворо и пето осовинском управљању.



Слика 3.3 Шематски приказ интерполација [7]

4 Структура нумерички управљаних машина алатки

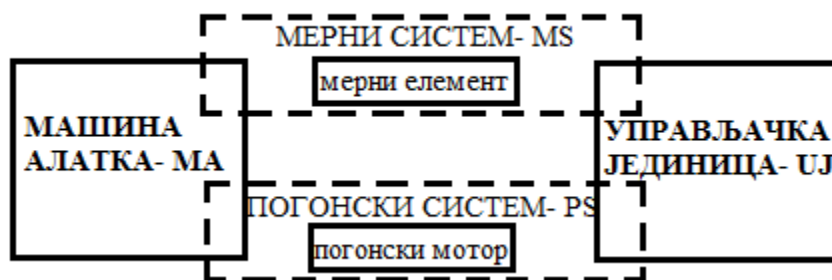
Нумерички управљани систем је скуп подсистема са одређеним конструктивним карактеристикама који су међусобно функционално повезани у целину, али тако да се сваки подсистем може да третира као посебна целина са потпуном структуром подсистема.

С обзиром да се нумерички управљана машина може сматрати као нумерички управљани обрадни систем, чију структуру чине:

- нумерички управљачка јединица,
- погонски систем,
- управљани систем и
- мерни систем [1].

Програмирање обрадних процеса на нумерички управљаним обрадним системима обухвата низ активности на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом према правилима програмског језика у форми управљачког програма. Преко управљачког програма нумерички управљана машина добија, на одређени начин кодиране, све потребне информације за аутоматску обраду неког елемента. То су информације о неопходним кретањима (главним и помоћним), информације за укључивање и искључивање извршних органа машине, почетак и завршетак програма, информације за аутоматску измену алата, податке о режимима обраде и др.

Управљачки програми се уносе у нумеричком облику у нумерички управљачку јединицу - *NUJ*. Управљачка јединица тако припремљене информације обрађује и према степену приоритета саопштава извршним органима машине. На тај начин се остварује управљање процесом обраде ради остварења потребне конфигурације издатка (слика 4.1 [4]).



Слика 4.1 Општа структурна шема нумерички управљаног обрадног система [4]

Погонски систем- *PS* треба да реализује наредбе добијене од *NUJ*. Он врши покретање радних органа машине, брзинама и помацама датим управљачким програмом, води их по задатим путањама и доводи у задате положаје.

Управљани систем - *US* чини машина алатка. Она треба да оствари програмом задате наредбе. На њу се постављају алати и припремак који, вршењем релативних кретања, формирају контуру изратка.

Тачно вођење и довођење радних органа у задате положаје значајно је за тачност форми и величина изратка. Ту улогу преузима мерни систем- *MS* који даје сигнал о положају, позицији или стању, радног органа машине.

4.1 Погонски системи

Погонски систем- *PS* има за задатак да реализује наредбе добијене од управљачке јединице. Он покреће радне органе машине брзинама и помацима према програму, води их и доводи у задате положаје.

При томе треба да омогући:

- остварење бестрзајног покретања, промену смера и заустављање,
- линеарну зависност између улазног и излазног сигнала,
- висок степен реаговања на управљачке сигнале,
- висок степен искоришћења,
- мале габаритне величине и
- поузданост у раду [1].

У процесу обраде, у обрадном систему, долази до губитака енергије. У преносницима снаге, лежајевима, вођицама и у другим елементима део енергије се троши на савлађивање отпора трења.

Погонска снага машине и степен корисног дејства су важне карактеристике обрадног система.

У општем случају, погонска снага машине алатке, као и улазна снага у обрадни систем, састоји се од корисне снаге резања као излазне снаге и снаге која се троши на савлађивање отпора у целом систему.

Параметри за избор погонског система код *NU* машина алатки су следећи:

- захтевана снага за процес обраде,
- расположива снага и
- динамичке карактеристике погонског система [1].

Погонски системи код нумерички управљаних машина алатки у зависности од извора енергије могу да бити: електромотори једносмерне струје и наизменичне, корачни мотори, хидраулички мотори, пнеуматски мотори и други, а према функцији коју обављају

могу да бити: за главна и помоћна кретања. У примени су најчешће: електромотори једносмерне струје или *DC*-мотори (*Direct Current*), електромотори наизменичне струје или *AC* мотори (*Alternate Current*) и корачни мотора (*Stepping*) [1].

Преносници за главни и помоћна кретања су посебне целине *NU* машине чији је задатак пренос снаге на извршне органе машине. Главно кретање код машина алатки омогућује остваривање самог процеса обраде (нпр. резања), а изводи га алат или обрадак, оно може бити кружно и праволинијско. Помоћно кретање је оно кретање алата, или обрадка које омогућује остваривање континуитета процеса обраде. Помоћних кретања може бити више и могу бити такође кружна или праволинијска.

Преносник за главно кретање остварује различите брзине кретања главног вретена за које се преко посебног прибора причвршћује алатка или обрадак. Најчешће се брзине кретања главног вретена мењају променом броја обртаја излазног вратила преносника главног кретања. Главно вретено се покреће помоћу мотора и преносника између којих се налази и уређај за мерење брзине кретања.

Преносник за помоћно кретање, без обзира ко врши помоћно кретање, обрадак или резни алат, треба да обезбеди кружно или праволинијско кретање. Уколико обезбеђује праволинијско кретање онда се за трансформацију кружног у праволинијско кретање користе склоп завојног вретена и рециркулационе навртке, која је у чврстој вези са покретним делом машине. За погон помоћног кретања најчешће се користе мотори једносмерне струје или корачни мотори [4].

Управљање главним и помоћним кретањем врши се из управљачке јединице коришћењем одговарајућих наредби у програму. Код *NU* машина главно кретање може да се оствари обртањем у смеру казаљке на сату или у супротном смеру од кретања казаљке на сату, гледано из правца главног вретена. Електромотор заједно са преносником прима од управљачке јединице наредбу за једно или друго обртање. Наредба зависи од конструктивних карактеристика машине и од саме врсте обраде.

4.2 Мерни системи

Основни задатак мерног система *NU* машине је да брзо и прецизно измери одговарајуће померање извршних органа машине и да ту измерену величину у одређеном облику и на адекватан начин проследи управљачкој јединици. Приликом управљања механичким системима најважнија су мерења дужине или угла међусобног померања покретних делова система и мерење брзине ових померања. Како је управљачка јединица електронски уређај, потребно је да се информација о измереној величини прикаже у облику електричног сигнала који може лако да се обради. Због тога се код *NU* машина углавном користе електронски мерни системи, или системи који као излазну величину имају електричне сигнале. Мерни уређаји морају да раде у такозваном *online* режиму. То значи да

измерену величину одмах шаљу у управљачку јединицу како би се она упоредила са задатом, јер се управљање изводи на основу разлика задате и остварене координате померања [1].

Тачно вођење и довођење радних органа у задате положаје од посебног је значаја за облик, тачност и квалитет издатка.

Захтеви које треба да испуне мерни системи су:

- осетљивост треба да одговара траженој тачности NU машине,
- треба да буду осетљиви на промену смера кретања- обртања,
- фреквенција слања сигнала треба да одговара захтевима управљачке јединице и
- поузданост у раду.

Мерни системи код NC алатних машина могу се поделити по више основа и то према:

- врсти позиционирања на- апсолутно мерење, инкрементално или релативно мерење, циклично- апсолутно и кобиновано мерење.
- начину пријема и претварања сигнала на- аналогно, дигитално и комбиновано мерење.
- врсти кретања на мерне системе за- праволинијско кретање и обртно кретање (у првом случају користи се лењир са прецизним поделама, а читавање је најчешће фотоелектричним путем. У другом случају мерни елементи су ротирајуће плоче.).
- начину уградње на- са директним и индиректним начином уградње.
- врсти физичке величине којом се прати промена положаја алата- индуктивни, потенциометарски, оптички, електромагнетни и др. мерни системи.
- намени- позиционирање и одређивање вредности помераја.
- вредности поделе разликују се- груби, средње фини и врло фини мерни систем [4].

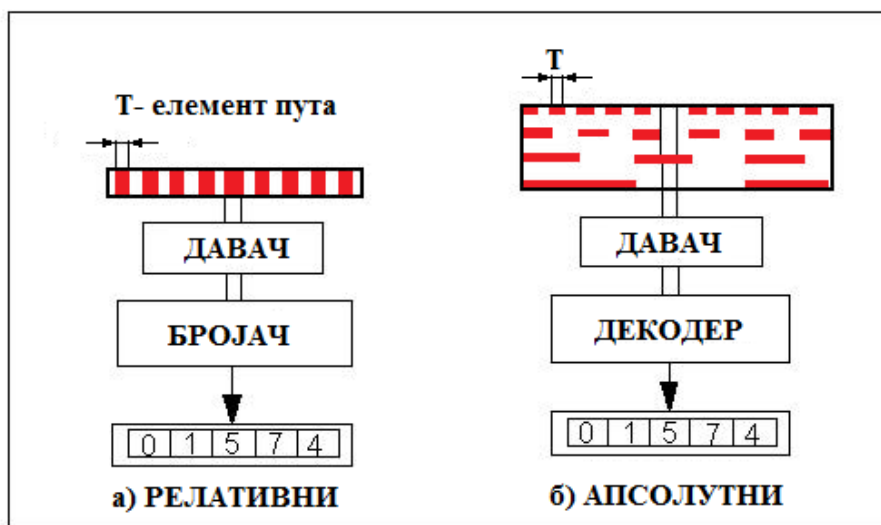
Савремени мерни системи раде као вишестепени. Најпре, мерни систем за грубо и средње фино позиционирање врши грубо позиционирање у близини задате тачке, па затим мерни систем за фино и врло фино позиционирање доводи алат, са високом тачношћу, у задату тачку. То даје велику прецизност и спречава настанак хаварије у машини, на тај начин што алат веома фино прилази предмету обраде и не долази до ударања и зарањања алата у материјал.

4.3 Апсолутни и релативни мерни систем

Са становишта координатног система у коме се врши утврђивање мерне величине, мерни системи могу бити апсолутни и релативни.

Код релативних система (леви део слике 4.2) се одређује само величина пређеног пута, без обзира на положај почетне тачке. Мерни систем се састоји од мерних елемената са поделама (оптичке, магнетне, механичке итд.), који могу бити у виду плоче или лењира и од уређаја са пипком (уређај за регистровање). При релативном кретању између лењира и давача ствара се у најједноставнијем случају, за сваку јединицу пута (вредност поделе скале) 1 импулс. Ради мерења пута ови импулси се броје.

Код апсолутних система (десни део слике 4.2 [6]) се очитава тренутни положај извршног органа у односу на неку непокретну тачку (координатни почетак), па се дужина пређеног пута израчунава као разлика тог и почетног положаја. Другим речима, сваки положај у неком апсолутном систему мерења је јасно дефинисан и то у облику вредности која се само једном појављује.



Слика 4.2 Пример за релативни и апсолутни систем мерења [6]

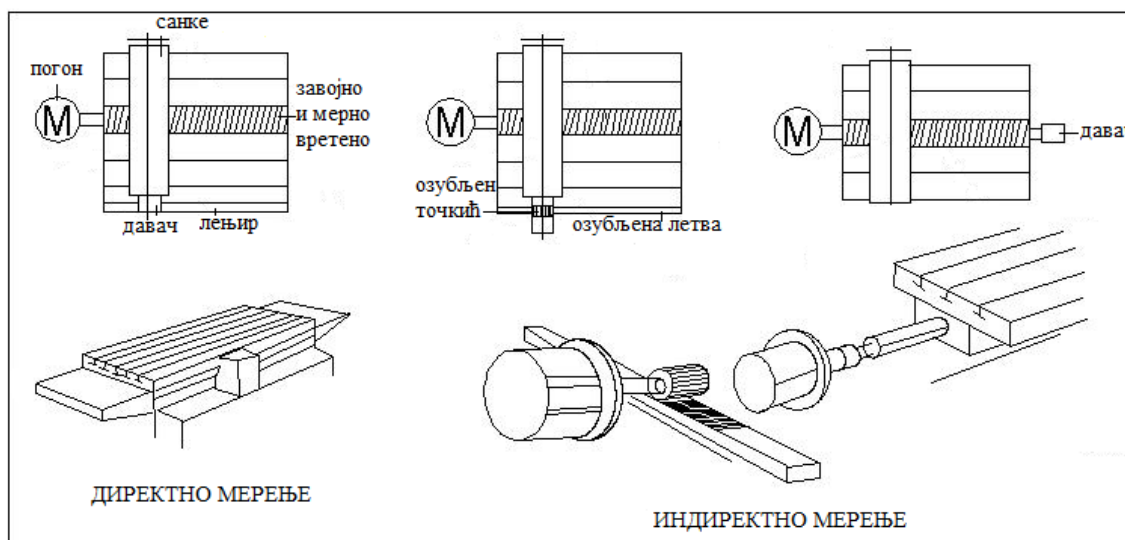
Апсолутни мерни системи су технички веома сложени и скупи па се данас скоро више и не користе код нумерички управљаних машина алатки. Данас се код њих углавном користи апсолутно- циклични мерни системи. Апсолутно се мере мали интервали (до 2 mm), а потом се броје појединачни интервали (инкрементални начин мерења) [4].

4.4 Директни и индиректни мерни системи

У зависности на који се начин остварује мерење пређеног пута, односно где се поставља давач пута, постоје системи са директним и индиректним одређивањем мерне величине. Код директног мерења се мерна вредност добија непосредним поређењем мерне и одговарајуће реперне величине. Код индиректног мерења се тражена мерна величина претвара у неку другу физичку величину па се, преко ње и одговарајућих физичких законитости, израчунава стварна мерна вредност (пређени пут).

На слици 4.3 [4] су приказана три могућа начина одређивања пређеног пута, од којих је први са директним читавањем, а остала два са индиректним одређивањем пута помоћу измерене величине и кинематских односа у систему преноса кретања. У првом случају, приказаном на левом делу слике 4.3, мерни урађај (давач) директно читава пређени пут на лењиру, постављеном на непокретном делу машине (постољу) непосредно уз извршни орган и паралелно са правцем кретања тог органа. Уколико се пређени пут израчунава на основу угла окрета погонског, завојног вретена, и преносног односа у претварачу кретања, као што је то у примеру на десном делу слике 4.3, или угла окрета малог назубљеног точка, са веома ситним зубима, спрегнутог са одговарајућом назубљеном летвом, причвршћене на постоље, као што је био постављен лењир код директног мерења (средњи део слике 4.3), тада је реч о индиректном мерењу пређеног пута [4].

Тачнији резултати мерења се добијају при директном мерењу што проистиче из чињенице да се код тог принципа јавља само грешка у изради и постављању лењира. Код индиректног мерења се морају јавити и додатне грешке услед нетачности механичких преносних елемената (на пример грешке назубљене летве и / или назубљеног точка, грешке у кораку завојног вретена, као и еластичних деформација услед сила које делују на систем).



Слика 4.3 Директни и индиректни принцип мерења пређеног пута [4]

4.5 Аналогни и дигитални мерни систем

Аналогни мерни системи се карактеришу функционалним претварањем неке континуално променљиве величине из једног у други, погоднији, облик да би се затим вредност дате величине, на крају процеса претварања, показала или записала на аналогном дисплеју (скали) или штампачу (дијаграму). Процес трансформације одвија се у давачкој и преносној јединици мерног система, а завршава добијањем непрекидних, најчешће електричних, сигнала у облику, на пример, аналогног електричног напона, чије су вредности сразмерне вредностима дате мерне величине.

Карактеристика аналогних мерних система лежи у томе да, у мерним границама, свакој мерној величини одговара одређена мерна вредност.

Електро магнетни давачи (ресолвер и индуктосин) представљају најчешће коришћене аналогне системе за мерење дужине и угла код машина са нумеричким управљањем. Обзиром на повећану дигиталну обраду мерених вредности, код нумерички управљаних машина алатки све се више користе уређаји за аналогну- дигиталну конверзију мерних сигнала. Електро- магнетни мерни уређаји се базирају на индукциони принципу [4].

Основна карактеристика дигиталних мерних система је аналогно- дигитална конверзија мерних сигнала и приказивање резултата мерења неке континуално променљиве величине на дигиталном индикатору или на нумеричком дисплеју. Код дигиталног мерног система се мерна величина квантификује, односно дели на једнаке одсечка.

За квантификовање мерних сигнала мерне величине (пута или угла) користе се различите физичке појаве. Због захтеване велике тачности позиционирања извршних органа машине са нумеричким управљањем данас се најчешће користе мерни системи са фотоелектричним читавањем оптичких решетки (лењира или дискова са прецизном и равномерном поделом).

Претварање промена карактеристика померања (линијских или угаоних) у електричне сигнале, у фотоелектричном мерном прибору са фотоћелијом, изводи се у два узастопна претварања величина, помоћу два претварача. У првом претварачу се линијско или угаоно померање преводи у промену јачине светлости или промену светлосног флукса у фотоћелијама. Други претварач претвара промену јачине светлости у електричне сигнале помоћу фотоћелије, јер се фотоћелија наизменично осветљава у ритму промене јачине светлости. Овако настали светлосни импулси се претварају, у фотоћелијску, пулсирајућу електричну струју, дакле, у електричне сигнале. Пошто је број импулса, при строго равномерном распореду провидних и непровидних црта на оптичкој решетки, сразмеран промени вредности померања, лако се помоћу бројача импулса, одређује вредност датог померања [4].

Поред фотоелектричног давача са лењирима, за директно мерење праволинијских померања, развијене су и конструкције давача са дисковима, које су предвиђене за

индиректно мерење вредности датих праволинијских померања. Принцип рада ових давача идентичан је давачима са лењирима. Разлика је у облику оптичких решетки које су, код овог давача, изведене у облику диска. Покретни диск се поставља на завојно вретено. Завојни пар вретена и клизача подлеже прецизној изради. Окретањем завојног вретена, односно покретног диска, генеришу се у фотоћелијама и електронском блоку, електрични сигнали сразмерни величини обртног померања, а тиме, на индиректан начин, величина датог праволинијског кретања.

Код апсолутног мерног система (слика 4.4- а, б [4]) сваком померању одговара одређена бројна вредност у односу на нулту тачку машине. Мерни елементи са оптичком решетком су израђени у облику лењира или диска. Оптичке решетке су кодиране, тј. прецизно су нанешене на лењир односно на диск, са одређеном комбинацијом црно- белих поља, при чему свакој комбинацији одговара бројка која означава растојање од нулте тачке.

За релативни мерни систем (слика 4.4- ц, д [4]) карактеристично је то што свако ново померање почиње од новог координатног почетка, који се поклапа са почетком померања. И овде се елементи са оптичким решеткама израђују у облику лењира или диска. На њих су врло прецизно нанешена црно- бела поља, која у процесу мерења пређеног пута, не пропуштају, односно пропуштају светлосне зраке усмерене ка фотоћелијама. За сваки инкремент (корак, јединицу пута) ствара се у фотоћелија 1 струјни сигнал. Бројањем насталих импулса мери се величина насталог померања.

Мерни систем

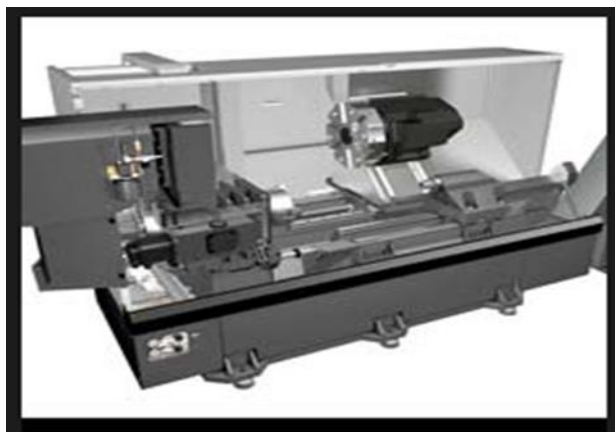


Слика 4.4 Апсолутни и релативни мерни систем [4]

4.6 Носећи и ослони елементи

Постоља, кућишта, стубови и попречне греде су носећи и ослони елементи структуре машине алатке. Димензије, облик и крутост зависе од улоге коју елементи имају у процесу обраде материјала, од тежине припремка и од величине сила које се јављају при обради. Елементи структуре могу бити статички и покретни.

Статички елементи обликују део структуре која може да буде отвореног или затвореног типа (рам, постолја и кућишта). Покретни елементи су носач алата и / или носач обратка. Статички елементи структуре спајају се са елементима чврсте раздвојиве везе и формирају рам машине. Покретни делови структуре, који могу бити померљиви током процеса обраде или пре и после обраде, ослањају се и воде помоћу вођица на структури. Код вођења се користе принципи клизања, котрљања или пливања, од чега зависи облик конструкција вођице. У наведеним случајевима захтеви статичке и динамичке крутости, као и геометријске тачности, морају да буду остварени (слика 4.5 [4]).



Слика 4.5 Приказ кућишта обрадног центра

Сви елементи структуре, покретни и непокретни повезани у целину, заједно са алатом и обратком, затварају ток сила и напрезања унутар структуре, а на темељ се преноси само тежина машине и обратка, у режим случајевима и инерцијалне силе.

Елементи структуре машине алатке изводе се ливењем и заваривањем од сивог лива и у комбинацији разних материјала, који су природним или вештачким путем, ослобођени напона унетих у материјал током процеса ливења, заваривања и процеса обраде.

Решења постолја могу бити различита, а каква ће конструкција бити зависи од намене машине алатке. При томе треба водити рачуна о статичком и динамичком оптерећењу машине алатке, која се понаша као еластични систем који има одређену статичну и динамичку крутост.

Како се конфигурација нумерички управљане машине алатке битно разликује од конфигурације конвенционалне, поставља се проблем брзог и ефикасног одвођења струготине из зоне резања. Тако се израђују постолја под углом и вертикална постолја, која омогућавају да се струготина удаљава из зоне обраде слободним падом и допушта опслуживоцу машине лакши приступ предмету обраде и алатима. Конфигурација хоризонталног постолја обезбеђује бољи ослонац за клизаче и носач алата, али теже одвођење струготине [4].

4.7 Клизне вођице

Вођице и непокретни елементи код конвенционалних машина алатки су у директном контакту. Код нумерички управљаних машина алатки брзине покретних делова су далеко веће, а и учесталије им је кретање, па се за клизне вођице постављају строжији захтеви у односу на конвенционалне машине. Основни захтеви за клизне површине су отпорност на хабање, висока крутост и добре карактеристике пригушења.

Код праволинијских вођица, трење клизања замењено је трењем котрљања. У систем вођица за транслаторна кретања уграђују се котрљајни елементи (слика 4.6 [7]). У новије време код тежих машина уграђују се хидростатичка и аеростатичка вођења. Сматра се да је ваздух у предности јер се после једне употребе не враћа у компресор, а уље треба да се охлади посебним агрегатом и поново врати у инсталацију.



Слика 4.6 Приказ вођица [7]

Врло често се између покретних и непокретних клизача постављају пластичне масе, и то на два начина. Први је, када се траке лепе на краћи покретни део клизача чиме се добија клизни пар: метал- пластична маса. Други начин је да, када се клизач постави на вођице по којима клизи, мали зазор између површина за налагање испуни наливном масом, после чега се површине налагања мало поправе и прилагоде вођицама. Оба ова решења су добра, али ипак су лошија од котрљајних, аеро и хидростатичких решења.



Слика 4.7 Спирално вретено са рецикулаторним навртком [1]

Завојно вретено, које се налази на већини конвенционалних машина алатки, није погодно за нумерички управљане машине алатке. Велико је трење и хабање, велики је зазор, користи се за релативно мале брзине, не обезбеђује жељену тачност и зато је замењено спиралним вретеном са рециркулационом навртком (слика 4.7 [1]). Код ове врсте завојних вретена трење клизања ефикасно је замењено трењем котрљања.

Завојно вретено и навртка имају прецизно израђене завојне жлебове по којима циркулишу куглице. Геометријски облик завојног жлеба може бити полукруг или готички лук. Крутост погонског система и тачност позиционирања може се повећати преднапрезањем склопа завојно вретено- навртка. Преднапрезање се остварује помоћу две навртке које се постављају тако да се између њих оствари преднапрезање на истезање или притисак. Стварна еластична линија вретена одржава се у дозвољеним границама одступања од осе вретена, што повољно утиче на тачност позиционирања. Ово је посебно важно за нумеричке машине алатке са индиректним мерним системима.

Завојна вретена са рециркулационом навртком имају врло мала трења, тако да су губици енергије и стварања топлоте у њима занемарљиво мали.

4.8 Системи за измену алата

Системи за измену алата у аутоматизацији процеса обраде имају битну улогу. Све већи захтеви за тачношћу и сложенијом конфигурацијом делова намећу потребу обраде из једног радног положаја- 1 стезања, а са друге стране се захтева употреба више различитих алата. Смањење помоћног времена доноси одговарајуће уштеде и директно оправдава увођење система за измену алата.

Резне алате може да замени и послужилац машине ручно. У пракси таква измена је код неких *NU* глодалица и *NU* бушилица. Ово је могуће зато што су њихови носачи резних алата лако приступачни. Међутим, *NU* стругови и обрадни центри за потребе аутоматизоване производње по правилу поседују аутоматске уређаје за измену резних алата, који зависно од конструкције, могу да приме различит број резних алата.

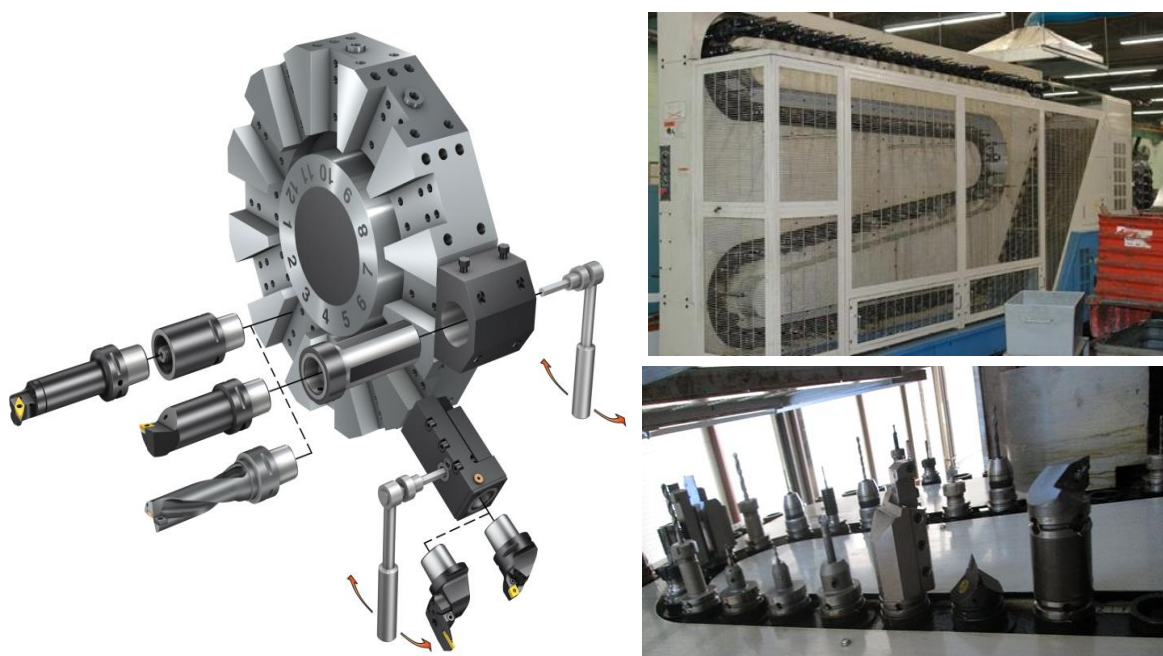
За аутоматску измену алата у примени су:

- револверске главе и
- магацини алата.

Револверска глава је посебна целина машине алатке (слика). Она омогућава аутоматску измену алата. Већина *NU* стругова има једну или две револверске главе које могу бити хоризонталне и вертикалне.

Да би се повећала продуктивност у употреби су конструкције са два или више независно контролисаних револвера који раде симултано. Држачи алата су стандардизовани

и произвођачима револверских глава намећу се захтеви у односу на системе стезања, односно чауре за прихват алата. Могућност причвршћивања резних алата у револверу је различита. На пример, сваки алат има своју касету, касетни систем, или може бити револвер са директним стезањем и спајањем са изменљивим стандардизованим држачима. Магацин алата је посебан функционални систем код *NU* машина. Сложенији израдак захтева већи број различитих алата за обраду. Револвери са великим бројем алата постају гломазни, захтевају више простора и отежавају приступ радном простору машине. Због тога се за смештај већег броја алата код сложенијих машина користе магацини алата. Примена им је код сложених обрадних система, обрадних центара. Магацин има најчешће облик карусела. Кретање им је управљиво. Конструктивно решење је такво да елиминише проблеме судара алата и обратка при измени алата. За стругарске обрадне центре постоје још две опције магацина алата то је VDI и магацин алата у облику гусенице (слика 4.8 [7]).

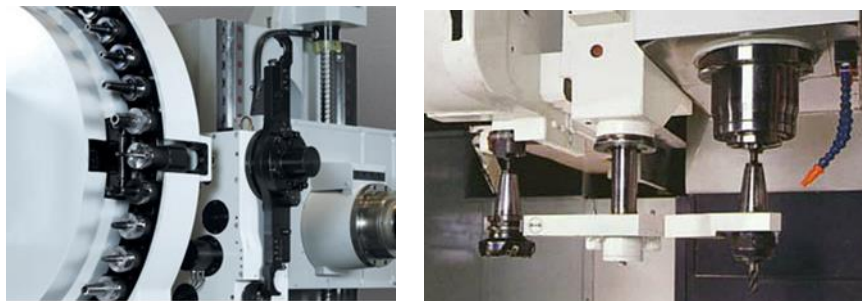


Слика 4.8 Приказ револвер главе и магацина алата код CNC машина [7]

Из приложеног може се рећи да систем за измену алата треба да испуни одређене услове:

- лаку и брзу измена алата,
- приступачност обради,
- добру снабдевеност средством за хлађење,
- поновљивост позиционирања истих алата и
- приступачност опслуживоца машине.

Обрадни центри поседују аутоматску измену алата (слика 4.9 [7]), што подразумева да механичка рука аутоматски врши измену алата, дефинисану програмом, из магацина алата који може садржати велики број стругарских ножева, глодала, бургија, развртача и др. Поред тога постоје обрадни центри са реворвел главом на којој се налази већи број алата потребних за обраду и сама реворвел глава се аутоматски окреће на позицију траженог алата, измена алата је такође дефинисана програмом унетим у управљачку јединицу.



Слика 4.9 Механизам за аутоматску измену алата код ЦНЦ машина [7]

4.9 Системи за подмазивање

За добар и поуздан рад *NU* машине потребно је исправно подмазивање свих покретних склопова. Подмазују се све клизне површине, преносници и вретеништа, рецикулациони навртке, као и други витални елементи машине. Подмазивање може бити ручно и аутоматско.

Ручно подмазивање изводи опслужиоц машине у одређеном временском интервалу, средствима инсталираним на самој машини. Ручно подмазивање у потпуности је одвојено од система за упријављање машином. Најчешће се користе зупчасте пумпе које се активирају ручним обртањем, а у употреби могу бити и клипне пумпе.

Аутоматско подмазивање има знатно већу ефикасност у односу на ручно и више је у примени код *NU* машина, не зависи од опслужиоца, врши се са централног места, а контролише га управљачка јединица.

4.10 Систем за хлађење и подмазивање

Основни задатак система за хлађење и подмазивање је довођење средстава за хлађење у зону сечења. *NU* машине у односу на конвенционалне имају веће брзине резања, резне алате од новијих материјала и захтеви за хлађењем су већи.

Течност за хлађење циркулише помоћу пумпе која је смештена испод нивоа решетке за скупљање течности. У резервоару се течност цеди, таложи, хлади и филтрира. Укључивање и искључивање система за хлађење може се активирати програмски, наредбом управљачке јединице или тастером на командној табли. За правилно функционисање система неопходно је редовно одржавање: чишћење резервоара, промена средстава за хлађење у одређеном времену, контрола нивоа и одржавање филтера (слика 4.10).

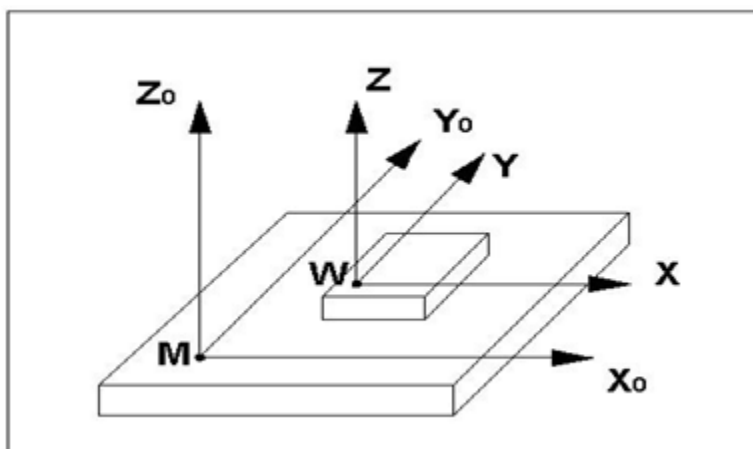


Слика 4.10 Приказ система за хлађење и подмазивање [7]

5 Координатни системи CNC машина алатки

За дефинисање узајамних положаја алата и предмета обраде најчешће се примењује декартов правоугли координатни систем. Осе овог система су осе транслације а око њих се дефинишу обртна кретања. Међусобни положај алата и предмета обраде у основи се дефинише координатним системом машине и координатним системом предмета обраде (слика 5.1 [4]). За координатни систем машине је преко референтне и нулте тачке машине везан положај алата, док се преко координатног система предмета обраде дефинише геометрија коју је потребно постићи обрадом. Координатни системи машине за тродимензионалну обраду се најчешће постављају у левом доњем углу машине како би координате увек биле позитивне.

M – нулта тачка машине,
 W – нулта тачка предмета обраде,
 X_0, Y_0, Z_0 – координатни систем машине,
 X, Y, Z – координатни систем предмета обраде [4].



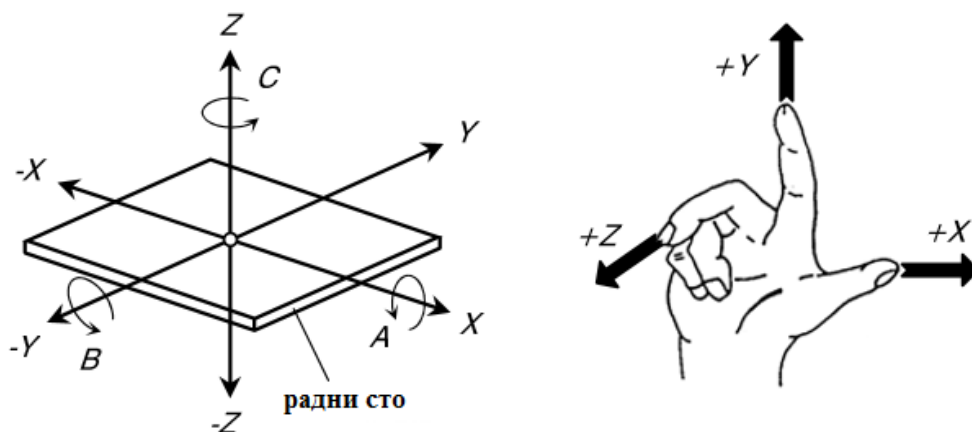
Слика 5.1 Координатни систем машине и предмета обраде [4]

5.1 Геометрија радног простора

Број и врста оса зависи од машине, позитивни смер Z осе је од радног комада ка алату или, у случају струга, од главног вретена ка подупирачу. X оса је главна оса, лежи у равни позиционирања радног комада и хоризонтална је где год је то могуће извести. Ако има и других координатних оса, које су паралелне са X, Y и Z осама, означавају се са U, V и W . Са A, B и C идентификују се ротације око X, Y и Z осе. Конвенцијом је усвојено да је позитиван смер ротације у супротном смеру кретања казаљке на сату (слика 5.2 [1]).

У току обраде, зависно од врсте операције, кретање изводи алат или радни комад. Ако се креће алат, тада се позитиван смер кретања подудара са позитивним смером одговарајуће осе ($+X$, $+Y$ или $+Z$).

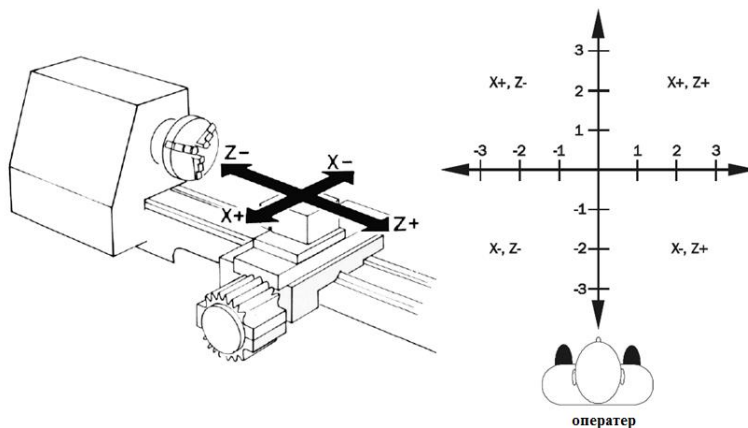
Међутим, ако се креће радни комад, позитиван смер је супротан од смера осе и означава се као $+X'$, $+Y'$ итд. У првом случају се користи термин "координатни систем радног комада", а у другом случају "координатни систем машине".



Слика 5.2 Орјентација координатног система правилом десне руке [1]

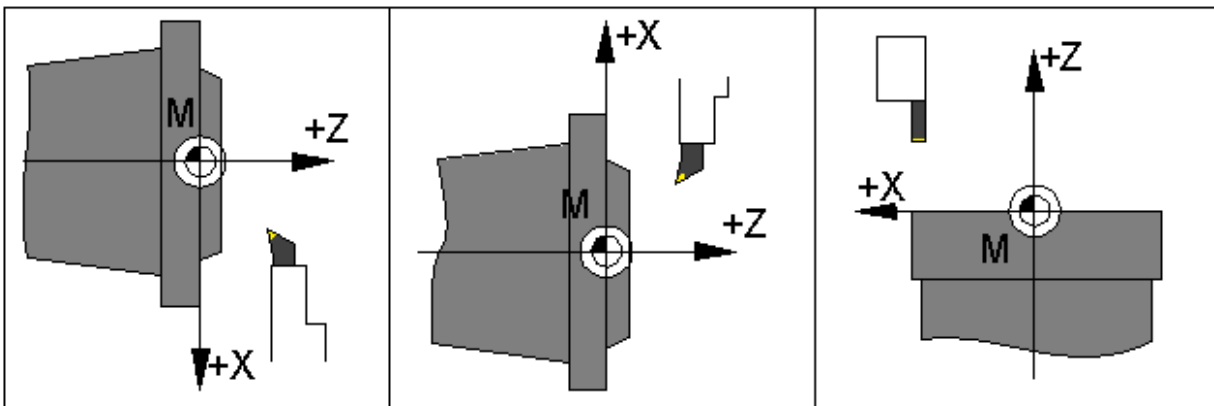
5.2 Положај радних оса код NC струга

Нумеричким управљани стругови, као машине са два степена слободе кретања алата, у односу на обрадак, имају у принципу две осе па је њихов радни простор сведен на раван. Оса X код стругова је управна на осу ротације обратка. Ова оса, будући да дефинише пречник, узима увек два пута увећане вредности. На слици 5.3 је приказан координатни систем струга.



Слика 5.3 Координатни систем струга [4]

Код машина са хоризонталном осом ротације, код којих је носач алат смештен са предње стране, осе су оријентисане као што је приказано на слици 5.4 [4].



Слика 5.4 Оријентације осе NC струга када је носач алата са предње стране, са задње стране и са вертикалном осом ротације обрадака [4]

Код свих NC стругова оса Z се поклапа са осом ротације обратка, а смер се поклапа са порастом дужине обратка.

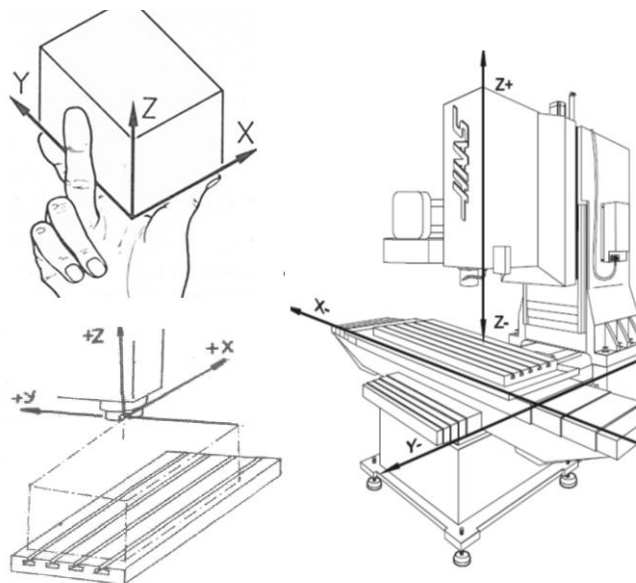
Велики број NC стругова поседује носач алата са задње стране. Код оваквих концепција машине имамо две могућности при оријентацији осе X. Правило је да оса X у овом случају има негативан предзнак, но постоје машине код којих положај и смер осе Z остаје непромењен.

Код великих нумерички контролисаних стругова, оса ротације обратка је вертикална. Код оваквих машина оса Z има вертикалан правац са смером на горе. Позитиван смер X осе је најчешће окренут на ону страну на којој се налази носач алата. Зато код овако конципираних машина долази до одступања од правила десно оријентисаног координатног система.

5.3 Положај радних осе код NC глодалица

Код глодалица, алат у односу на обрадак има три степена слободе, постоје три осе X, Y и Z. Код свих глодалица се посматра кретање алата у односу на обрадак, који се условно сматра непокретним. Који део машине врши кретање је питање концепције машине. На

већини глодалица кретање у равни XY врши радни сто, на коме се налази обрадак, а алат се креће у правцу осе Z , као што је приказано на слици 5.5 [4] (лева страна).



Слика 5.5 Радни простор NC глодалица са међусобним положајем оса [4]

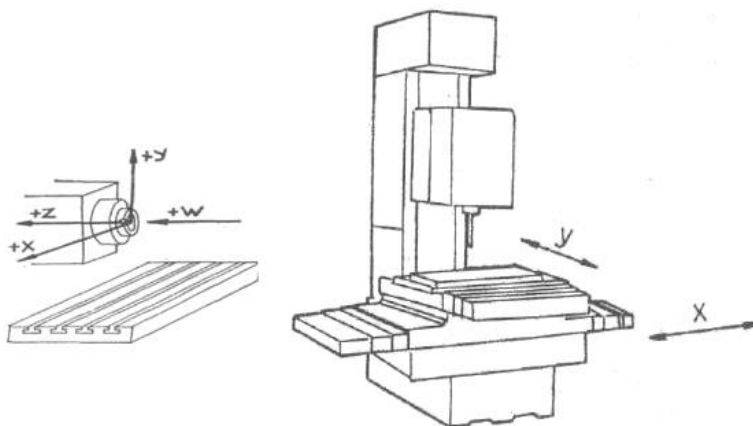
Код глодалица код којих је оса ротације алата хоризонтална, међусобни положај оса остаје исти, с тим што се цео координатни систем заокренуће за 90° . Код већине оваквих глодалица обрадак врши кретање у правцу осе X , док се алат креће у равни YZ .

5.4 Положај радних оса код NC бушилица

Нумерички управљане бушилице најчешће се изводе као хоризонталне машине. Наиме оса обраћа радног вретена код ових машина је хоризонтална.

Због специфичних проблема који се јављају при операцији бушења, паралелно оси Z уводи се често још једна оса W . Три основне осе X , Y и Z нормално образују десно оријентисан координатни систем, као и код осталих NC машина са три осе. Кретање у правцу осе Z односно W , ако се посматра само алат, потпуно је идентично. Међутим по оси Z се креће цела конзола, са преносником за главно кретање, док оса W представља увлачење односно извлачење главног вретена. На овај начин су знатно побољшане перформансе ових машина.

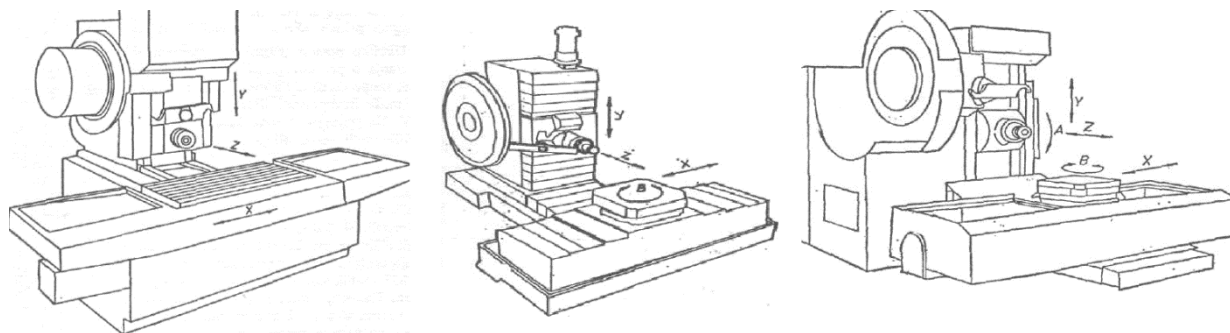
На слици 5.6 [4] је приказан координатни систем код хоризонталне и вертикалне NC бушилице.



Слика 5.6 Координатни систем хоризонталне и вертикалне NC бушилице [4]

5.5 Положај радних оса код обрадних центара

Обрадни центри поседују могућност кретања по великом броју оса. Ипак највећи број ових машина које се данас користе поседују могућност кретања у правцу три осе, три translације, као и глодалице. У том случају међусобни положај радних оса, као и радни простор, потпуно су исти као и код глодалица (5.7 слика [4]). Нешто мање обрадни центри поседују четири степена слободe, то су по правилу три translације и једна ротација. Нешто ређе се срећу машине које имају могућност три translације и две ротације (5.7 слика ц).



Слика 5.7 Обрадни центри са три, четири и пет управљачких оса [4]

Машине са шест степени слободe се врло ретко срећу. У сваком од наведених случајева координатни систем је десно оријентисан декартов координатни систем са

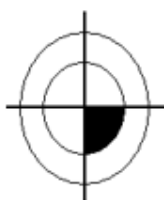
ротационим осама. Обрадни центри са четири, пет, а поготово шест контролисаних оса користе се за обраду геометријски најсложенијих површина.

5.6 Карактеристичне тачке радног простора NC машина алатки

Приликом програмирања обрадних процеса после дефинисања координатног система приступа се дефинисању карактеристичних тачака обрадног система. Неке од могућих карактеристичних тачака обрадног система су:

- нулта тачка машине,
- референтна тачка алата (носача и држача алата),
- нулта тачка предмета обраде,
- нулта тачка подешавања,
- стартна и завршна тачка и
- тачка измене алата [5].

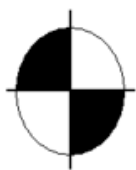
Карактеристичне тачке омогућавају дефинисање положаја елемената обрадног система потребних за програмирање кретања у процесу обраде.



M

M- Нулта тачка машине (*Machine zero point*)

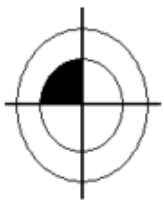
Машинска нулта тачка је почетак координатног система, односно машине. Њен положај код стругова и брусница за округло брушење је сталан и не може се мењати, па се због тога налази на некој чврстој површини. Готово редовно ова тачка се налази на оси обртања обратка, на завршетку радног вретена. Обележава се великим словом *M*.



N

N- Референтна тачка алата (*Tool mount reference pint*)

Референтна тачка носача алата је тачка дефинисана на носачу алата у односу на коју се могу одредити сви положаји носача алата у координатном систему машине. Најчешће се означавају словима *F* или *R*. Референтна тачка је битна код машина код којих се кретање врха алата врши у једној равни. Ту се пре свега мисли на нумерички управљане стругове и на неке врсте нумерички контролисаних брусница. Референтна тачка се обавезно налази на носачу алата, односно на покретном делу машине, за разлику од машинске нулте тачке.



W

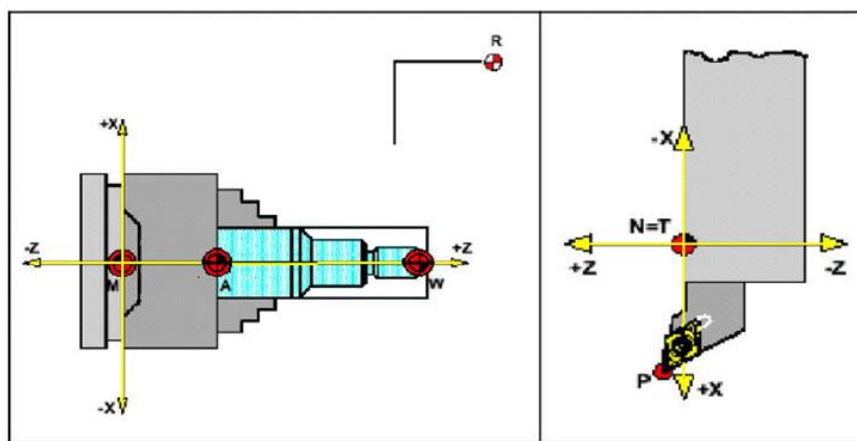
W- Нулта тачка предмета обраде (*Workpiece zero point*)

Ова тачка је везана за предмет обраде. Слободно се мења према потребама конструкције или израде. Ова тачка такође представља почетак координатног система и она олакшава програмирање. Нулта тачка је од великог значаја, одређује је програмер и у принципу може бити постављена на било ком месту израдка.

**B****B – Стартна тачка (Begin point)**

Тачка *B* је дефинисана координатама X_b , Y_b и Z_b које представљају положај тачке *B* у односу на тачку *W*. Алат се у стартну тачку *B* доводи у ручном моду на основу података који су дати планом обраде. Ова тачка се најчешће одређује тако да буде нешто померена од десног краја обрадка у позитивном смеру *X*, *Y* и *Z* осе.

У оквиру програмирања потребно је знати референтне тачке машине и положај координатног система. У зависности од типа машине зависи и распоред референтних тачака па је за CNC струг и стругарски обрадни центар приказан на следећој слици 5.8 [7].



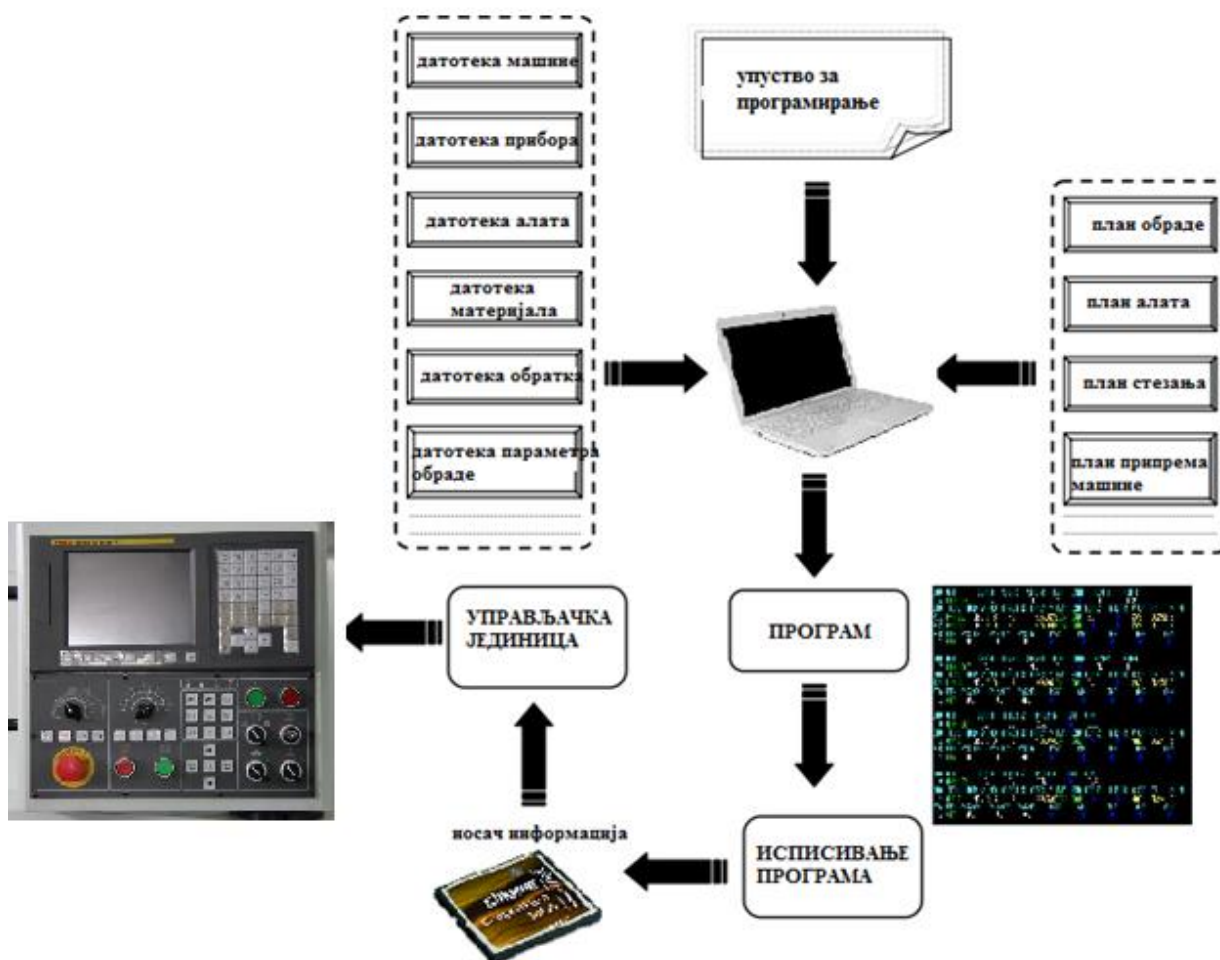
Слика 5.8 Карактеристичне тачке обраде код CNC струга [7]

Предмет обраде се пажљиво стегне у чељуст стезне главе, укључи се радно вретено и провери бацање предмета обраде. Уколико се све ово провери нож се доводи на пречник већи од пречника предмета обраде, приближи се предмету обраде и тангира га по обиму. Када се изврши тангирање унули се *X* оса притиском на тастер *DEL*. После овога нож се удаљи по *X* правцу од предмета обраде, затим се креће у позитивном смеру *Z* осе док недође испред чеоне површине предмета обраде затим у негативном смеру *X* осе док се не доведе нож на пречник мањи од пречника предмета обраде. После овога нож се покреће у негативном смеру *Z* осе и тангира чело предмета обраде. Када се ово уради унули се *Z* оса притиском на тастер *DEL* и потом у позитивном смеру *Z* осе одвоји се нож од предмета обраде. Предходно се већ одредила величина $X = (X_b - d)/2$ и величина $Z = Z_b - a$. Сада је потребно извршити померање ножа по *X* и *Z* правцу док се на екрану не остваре ове вредности. Овим је завршено постављање алата у стартну тачку [7].

6. Програмирање CNC машина

Програмирање рада CNC машине представља поступак израде програма помоћу ког се управља радом машине. Програмирање обухвата низ активности на систематизацији обрадних информација и њиховом исписивању одговарајућим редоследом и кодом, по правилима програмског језика, у форми управљачког програма. Програм садржи информације које управљачка јединица са машине "може да разуме" и да их у одговарајућим фазама обраде "саопштава" машини, тј. њеним извршним и другим органима (слика 6.1 [7]). Као носилац информација програма дуго година се користила бушена трака, али данас постоје могућности преноса ових информација преко CD-а, директно у меморији рачунара и др.

Информације садржане у програму се односе на потребна кретања (главно, помична и помоћна), укључивање и искључивање извршних органа машине, почетак и заустављање програма, аутоматску измену резног алата и др.



Слика 6.1 Принцип програмирања CNC машина [7]

6.1 Појам програма и структура програма

Програм представља скуп инструкција у обрадном систему, урађених по редоследу операција и захвата за извршење процеса обраде. Програмирање у ширем смислу представља активности у циљу решавања проблема користећи рачунар. Сем процес програмирања обухвата фазе:

- анализа проблема,
- писање програма,
- тестирање програма,
- израде потребне документације и
- израде програма на одређеном носиоцу информације [1].

Програмирање у ужем смислу подразумева писање односно кодирање програма.

Програм је сачињен од реченица-блокова, једна реченица садржи све податке неопходне за спровођење једног захвата. Оне могу да бити са променљивим бројем знакова. Свака реченица се састоји од више речи свака реч има одређено значење. Програмска реч је основни носилац информација.

Табела 6.1 Пример програмских речи које сачињавају реченицу [1]

N	G (M)	X (I, D)	Y (J, S)	Z (K)	F (L, T, H)
00	92	-1000	-1000	2000	/
01	M 06	D 50	S 1800	00	T01

Табела 6. 2 Програмска реченица са фиксном дужином речи [1]

N0010	G00	X005000	Y003000	F050
-------	-----	---------	---------	------

Табела 6.3 Програмска реченица са променљивом дужином речи [1]

N10	G0	X5000	Z3000	F50
-----	----	-------	-------	-----

Програмска реч представља комбинацију слова, знакова и цифара.

Формат блока може бити дефинисан на бази фиксне и променљиве дужине речи. Код фиксног формата речи број карактера у реченици је фиксан ако је сама дужина блока

фиксна. У блоковима са променљивом дужином речи дужина блока зависи од броја карактера у њој- који може бити променљив. Управљачки систем који прима информације путем програма са променљивом дужином речи има предност јер се скраћује време програма и време програмирања.

6.2 Функције и адресе

G- функције

G- функције или како се називају, услови пута, одређују кретање алата, током обраде.

G - функције се деле на функције једноставног кретања и функције сложеног кретања или тзв. "циклусе".

M- функције

M- функције су помоћне функције помоћу којих се осигуравају разне (помоћне) радње машине.

Могу се поделити на следеће групе:

- помоћне функције за дефинисање различитих врста заустављања- стоп команде,
- помоћне функције генералног вретена,
- помоћне функције за дефинисање подручја броја обртаја,
- помоћне функције за управљање расхладним средством,
- помоћне функције за измену алата и
- остале, по потреби дефинисане помоћне функције.

T- адресе

T- адресе служе за меморисање, односно позивање одређеног алата. На пример, T03 значи да се позове алат, који је меморисан у машини под редним бројем 3.

H- адресе

H- адреса служи за меморисање, односно позивање дужине одређеног алата, коју машина компензује при обради. На пример, T03 H03 значи да је позван алат под редним бројем три са познатом дужином која је смештена у регистру H под редним бројем 3.

D- адресе

D- адреса служи за меморисање, односно позивање полупречника одређеног алата, ког машина компензује при обради. На пример, T03 D03 значи да је позван алат под редним

бројем три са познатим полупречником који је смештен у регистру D под редним бројем три.

F- адресе

F- адреса служи за дефинисање (задавање) корака. Ако се другачије не намести, машини се задаје корак у mm/min .

S- адресе

S- адреса служи за дефинисање (задавање) броја обртаја главног вретена. Број обртаја се задаје у o/min .

N- адресе

N- адреса служи за обележавање редног броја блока. На пример, N100 G0 X100 говори о томе да се кретање са G0 X100 налази под редним бројем 100. Цифре, блокови, се не морају уносити у програм, али су некада јако корисни (поготово код великих програма) јер се помоћу њих брже пронађе неки блок у програму.

X, Y, Z, A- адресе

X, Y, Z, A- адресе које дефинишу помаке алата, у смеру тих оса.

I, J, K, R, Q- адресе

I, J, K, R, Q- адресе које дефинишу додатне параметре при дефинисању кружне интерполације и циклуса.

O- адреса

O- адреса која уз додатних 5 бројева дефинише број програма (назив програма). На Примеро O00010 представља програм који је меморисан у машини под редним бројем 00010.

P- адреса

P- адреса која уз додатних 5 бројева дефинише број потпрограма (назив потпрограма). Такође, има функцију и адресе у коју се смешта време чекања, односно време мировања алата, у току обраде. На пример, G4 P100 говори да ће алат наредних 100 секунди мировати тамо где се предходно предходно налазио.

L- адреса

L- адреса која представља број понављања циклуса, а такође и потпрограма [1].

6.3 Врсте програмирања

Програмирање CNC алатних машина може бити:

- ручно,
- ручно са помагалима (полуаутоматизовано) или
- аутоматизовано (машинско) [1].

Ручно програмирање

При ручном програмирању полази се од радионичког цртежа. Програмер (технолог) на основу радионичког цртежа и цртежа полуфабриката дефинише план обраде. Из плана обраде произилазе радно место или машина, потребне операције, њихов редослед, бројеви обртаја, помоћна кретања, операције у којима треба извршити замену алата или извршити укључивање и искључивање *SHP*, итд.

На основу података о машини и стезном прибору и плану обраде дефинише се план стезања. Он обухвата информације о положају предмета обраде, координатних оса, димензијама предмета обраде и стезног прибора, те дефинише начин стезања. План стезања омогућава брже постављање предмета обраде на машину, олакшава програмирање и омогућава израду спецификације стезних алата.

На основу плана стезања, информација о алату и режиму обраде дефинише се план алата, који садржи информације о врсти алата, пречнику алата, броју зуба алата, димензијама алата, држачу алата, растојању између врха алата и референтне равни радног вретена, операцијама у којима се алат користи, итд. [1].

На основу података о машини, прибору, алату и режиму обраде, програмер попуњава технолошки програмски лист. Кодирањем овог листа добија се изворни програм. Помоћу бушача траке добија се изворни програм на бушеној траци, који садржи информације померања и информације укључивања.

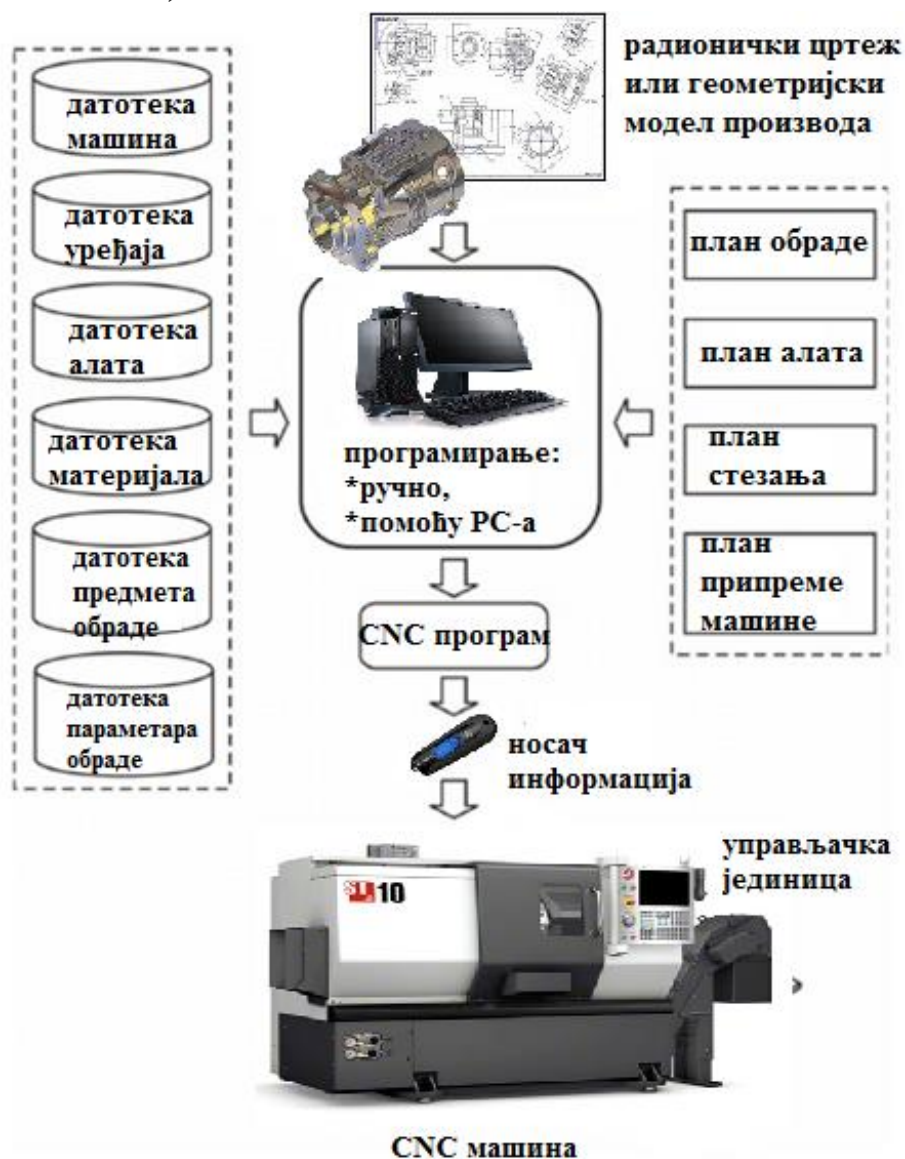
Полуаутоматизовано програмирање

Полуаутоматизовано програмирање остварује се помоћу мини-рачунара или персоналног рачунара (PC). Програмер обухвата већи број података са радионичког цртежа, прибора, машине и алата и на, основу њих, пише изворни програм. Програмирање је поједностављено, јер одговарајући софтвер ослобађа програмера од рутинских операција при писању програма. Посебна предност ових система је у случају када програмер има могућност директног комуницирања са рачунаром [1].

Добијени програм се може за меморисати у екстерној меморији PC или минирачунара. На захтев програмера рачунар испоручује програм, а додатни уређаји, прикључени за терминал, омогућавају добијање програма на бушеној траци и програмском листу.

Аутоматизовано програмирање

Аутоматско програмирање (програмирање помоћу рачунара) подразумева аутоматско програмирање одређених секвенци програма аутоматизованом применом специјалних софтверана на рачунару. Технологи- програмер дефинише параметре као што су димензије припремка, путање алата, избор алата, режима обраде итд. Специјализовани софтвери који се користе за програмирање су: PRO/ENGINEER, CATIA, MASTERCAM, SOLIDCAM и др. Такође је могућа и симулација програма и аутоматски испис самог програма за изабране управљачке јединице. Применом аутоматског програмирања скраћује се време и смањују трошкови израде програма, тј. бржа је израда предмета обраде на машини (слика 6.2 [7]).



Слика 6.2 Шема програмирања обрадних процеса на CNC машинама [7]

6.4 Списак и карактеристике G функција

Табела 6.4 Списак G функција

редни број	речи G функције	значење речи
1.	G0	Брзо позиционирање (ход)
2.	G1	Линеарна итерполација
3.	G2	Кружна итерполација
4.	G3	Кружна итерполација
5.	G4	Време задржавања
6.	G9	Тачно заустављање
7.	G10	Програмско задавање коректуре алата
8.	G12	Кружно глодање цепова
9.	G13	Кружно глодање цепова
10.	G17	Избор равни обраде XY
11.	G18	Избор равни обраде XZ
12.	G19	Избор равни обраде YZ
13.	G20	Програмирање у инчном систему
14.	G21	Програмирање у метричком систему
15.	G28	Одлазак у референтну тачку
16.	G29	Међуположај пре референтне тачке
17.	G31	Функција прескока
18.	G35	Аутоматско мерење пречника алата
19.	G36	Аутоматско мерење нулте тачке
20.	G37	Аутоматско мерење дужине алата
21.	G40	Подешавање коректуре пречника алата
22.	G41	Корекција дужине алата- лева
23.	G42	Корекција дужине алата - десна
24.	G43	Компензација дужине алата- позитивна
25.	G44	Компензација дужине алата - негативна
26.	G47	Гравирање
27.	G49	Поништавање функција G43 i G44
28.	G50	Поништавање функције G51
29.	G51	Скалирање
30.	G52	Постављање координантног система
31.	G53	Опозив текућег координантног система

32.	G54	Нулта тачка
33.	G55	Нулта тачка
34.	G56	Нулта тачка
35.	G57	Нулта тачка
36.	G58	Нулта тачка
37.	G59	Нулта тачка
38.	G60	Позиционирање увек из истог смера
39.	G61	Тачно заустављање
40.	G64	Укидање функције G61
41.	G65	Позив макро потпрограма
42.	G68	Ротација
43.	G69	Поништавање G68
44.	G70	Обрада отвора по кругу
45.	G71	Обрада отвора по кружном луку
46.	G72	Обрада отвора по правцу
47.	G73	Дубоко бушење
48.	G74	Урезивње навоја- леви навој
49.	G76	Фино разбушивање
50.	G77	Разбушивање од дна отвора
51.	G80	Поништавање затворених циклуса
52.	G81	Циклус бушења
53.	G82	Циклус бушења са заустављањем
54.	G83	Циклус бушења са прекидима
55.	G84	Циклус урезивања навоја- леви
56.	G85	Циклус разбушивања и развртања
57.	G86	Циклус разбушивања са заустављањем
58.	G87	Циклус разбушивања са ручним повратником
59.	G88	Циклус разбушивања са чекањем и руч. повр.
60.	G89	Циклус разбушивања са чекањем
61.	G90	Програмирање у апсолутним координатама
62.	G91	Програмирање у инкременталним координатама
63.	G92	Задавање радног координатног система
64.	G93	Задавање радног координатног система
65.	G94	Помоћно кретање дато као померај
66.	G98	Повратак алата у стартну тачку циклуса
67.	G99	Повратак алата у референтну тачку циклуса
68.	G100	Поништавање функције пресликавања око осе
69.	G101	Активирање функције пресликавања око осе
70.	G102	Програмирање излаза RS- 232
71.	G103	Лимитирање блокова гледаних унапред
72.	G110	Нулта тачка
73.	G111	Нулта тачка
74.	G112	Нулта тачка
75.	G113	Нулта тачка
76.	G114	Нулта тачка
77.	G115	Нулта тачка
78.	G116	Нулта тачка
79.	G117	Нулта тачка

80.	G118	Нулта тачка
81.	G119	Нулта тачка
82.	G120	Нулта тачка
83.	G121	Нулта тачка
84.	G122	Нулта тачка
85.	G123	Нулта тачка
86.	G124	Нулта тачка
87.	G125	Нулта тачка
88.	G126	Нулта тачка
89.	G127	Нулта тачка
90.	G128	Нулта тачка
91.	G129	Нулта тачка
92.	G150	Опште решење глодања цепова
93.	G154	Координатни систем
94.	G187	Контрола тачности обраде угла

Програмирање обрадних процеса на CNC машинама обављају за то обучени стручњаци који се називају програмери. То су у принципу техничка лица која, поред принципа и правила програмирања, треба да поседују знања из технологије обраде, карактеристика алатних машина, резних алата, помоћних прибора, обрадивости, тригонометрије, основе оптимизације и сл..

Улазне информације неопходне за програмирање су садржане у техничком цртежу предмета обраде, технолошком поступку обраде, технолошкој документацији са машине, алата и помоћног прибора и бази података о обрадивости.

Главне функције се означавају словом *G* и дефинишу услове кретања односно услове путање. Главне функције са информацијама пута чине геометријски део програма. Дефинисане су адресом *G* и двоцифреним бројем. У једном програмском блоку може се наћи само једна *G* функција. Све функције управљања тачно су дефинисане у одговарајућим упутствима за руковање одређеном машином.

Подела главних функција по њиховој намени:

- функције за дефинисање система мерења (програмирања): *G90, G91*.
- функције за успостављање везе између координатног система машине и предмета обраде: *G92, G93*.
- функције за дефинисање мода помака: *G94, G95*.
- функције за дефинисање начина кретања: *G00, G01, G02, G03 ...*
- остале функције [4].

6.5 Функције за дефинисање система мерења (програмирања)

Програмирање може бити у апсолутном или инкременталном систему мера. Чешћи случај у пракси је програмирање у апсолутном систему мера.

Програмирање у апсолутном систему мера је програмирање у координатном систему са непроменљивим координатном почетком. Све позиције врха оштрице алата у току обраде се мере у односу на унапред дефинисан непроменљив координатни почетак. Овај координатни почетак се најчешће поклапа са нултом тачком предмета обраде.

Функција која дефинише програмирање у апсолутном систему мера је $G90$ и њен формат је: $N \dots / G90$. Функција $G90$ важи у програму све док је незаменимо функцијом $G91$. Функција која дефинише програмирање у инкрементална (релативном) систему мера је $G91$.

Формат функције $N \dots / G91$

Програмирање у инкременталном систему мера је такав начин програмирања при ком се координате следеће тачке кретања алата мере од тренутног (предходног) положаја алата. Овакав начин дефинисања координата је ближи конвенционалним машинама. При укључивању машина у контролној јединици аутоматски се успоставља инкрементални систем мерења, престанак важења инкременталног мода постиже се функцијом $G90$ [4].

6.6 Функције за успостављање везе између координатног система машине и предмета обраде

Програмирано инкрементално помјерање нулте тачке $G92$

Формат функције је: $N \dots / G92 / x \dots / y \dots / z \dots$

Програмирана функција је $G92$ у контролној јединици успоставља инкрементални систем мерења па из тог разлога није потребно после функције $G92$ програмирати функцију $G91$. Програмирањем функције $G92$ нулта тачка предмета обраде може да се премешта произвољан број пута. Програмирањем нове нулте тачке радног комада поништава се предходна.

Програмирано апсолутно помјерање нулте тачке $G93$

Формат функције је: $N \dots / G93 / x \dots / y \dots / z \dots$

Програмирана функција је $G93$ у управљачкој јединици успоставља апсолутни систем мерења па из тог разлога није потребно после функције $G93$ програмирати функцију $G90$. Програмирањем функције $G93$ нулта тачка предмета обраде може да се премешта

произвољан број пута. Програмирањем нове нулте тачке радног комада поништава се предходна.

6.7 Функције за дефинисање мода помака G94, G95

Употребом функције G94 програмирају се брзине помоћног кретања у милиметрима по минути.

Док функција G95 дефинише брзине помоћног кретања у милиметрима по обрту.

Формати функција су: N.../G94 и N.../G95

6.8 Функције за дефинисање начина кретања

Функције за дефинисање начина кретања су: функција за дефинисање брзог хода G00, функција за дефинисање линеарне итерполације G01 и функција за дефинисање кружне итерполације G02 и G03. Ове функције говоре о начину померања алата из једне тачке у другу.

G00 Кретање брзим ходом

Формат функције је: N.../G00/X... /Y.../Z.../F...

Позиционирање брзим ходом је кретање алата из тренутног положаја дефинисан координатама X,Y и Z. Применом G00 функције смањује се укупно време обраде.

G01 Линеарно кретање радним ходом

Формат функције је: N.../G01/X... /Y.../Z.../F...

Функцијом G01 програмира се линеарно кретање радним ходом алата најкраћим путем из тренутног у нови положај задат координатама x,y и z. G01 функција представља кретање при ком се врши обрада. Брзина радног хода се задаје у F адреси и креће се у распону од 1-400 mm/min.

G02 и G03 Функције за обраду по кружном луку

G02- кружна интерполација у смеру кретања казаљке на сату посматрано из врха треће осе.

Формат функције је: N.../G02/X.../Y... /R... за ravan XY

N.../G02/X.../Z... /R... за ravan XZ

N.../G02/Y.../Z... /R... за ravan ZY

G03 - кружна интерполација у смеру супротном кретању казаљке на сату гледано из врха треће осе.

Формат функције је: **N.../G03/X.../Y... /R... за ravan XY**

N.../G03/X.../Z... /R... за ravan XZ

N.../G03/Y.../Z... /R... за ravan ZY

X,Y, Z- координате циљне тачке,

R- радијус алата.

6.9 Функције за дефинисање стандардних циклуса

Циклуси бушења

G79 – циклус позива,

G81 – циклус бушења,

G83 – циклус бушења дубоких отвора,

G84 – циклус резања навоја,

G85 – циклус развртања,

G86 – циклус проширивања.

Циклуси глодања

G79 – позив циклуса,

G87 – циклус глодања правоуглог цепа,

G88 – циклус глодања жлеба,

G89 – циклус глодања кружног цепа [4].

Остале G функције

G04 – Време задржавања алата

Формат функције је: **N.../G04/ X...**

Адреса X означава време задржавања у достигнутом положају алата.

G21 – Празан блок

Формат функције је: **N.../G21**

За време извршења програма празни блокови се прескачу. На њиховим местима накнадно се могу програмирати друге *G* или *M* функције а да се при томе не мења редни број следећим блоковима.

G22 – Позив програма

Формат функције је: **N.../G22/L...**

Често се на једном предмету обраде понавља већи број идентичних геометријских облика, овакви једнаки и понављајући токови обраде могу се програмирати једном и позивати у току обраде, када се за то укаже потреба. Подпрограм се позива из главног програма а може се позвати и из неког другог подпрограма.

У адресу L се уписује број програмског реда од ког почиње подпрограм. Повратак у програм је у програмски ред програма испод блока из кога је позван подпрограм. Подпрограм се завршава блоком са функцијом $M17$.

G29 – Инструкција скока

Формат функције је: $N.../G29/L...$

Овом функцијом се омогућава скок унутар програма унапред или уназад а под адресом L се програмира број блока од кога се наставља извршење програма.

6.10 Помоћне функције- M

Реч за M - функцију даје CNC -управљању додатну технолошку информацију која се не може програмирати у F , S , или T адреси. Ова додатна информација описује функцију машине. Реч за M функцију се састоји од адресног слова M и кодног броја.

Табела 6.5 *Списак M функција*

Редни број	Речи M функције	Значење речи
1.	$M0$	Програм стоп
2.	$M1$	Опциони програм стоп
3.	$M2$	Крај програма
4.	$M3$	Вретено напред
5.	$M4$	Вретено назад
6.	$M5$	Вретено стоп
7.	$M6$	Расхладно средство укључено
8.	$M7$	Расхладно средство искључено
9.	$M8$	Стезање пакнова на хидроуличној стезној глави
10.	$M9$	Отпуштање пакнова на хидроуличној стезној глави
11.	$M10$	Обртање магацина алата увек у наперд
12.	$M11$	Обртање магацина алата увек у супротном смеру
13.	$M17$	Оријентација вретена
14.	$M18$	Излаз навоја укључен
15.	$M19$	Излаз навоја искључен

16.	M23	Крај програма са повратком на почетак
17.	M24	Избацивач струготине напред
18.	M30	Избацивач струготине стоп
19.	M31	Прихватач делова- горе
20.	M33	Прихватач делова- доле
21.	M36	Степен преноса- низи
22.	M37	Степен преноса- виши
23.	M41	Одкључавање магацина алата
24.	M42	Закључавање магацина алата
25.	M43	Гашење дисплеја
26.	M44	Активирање дисплеја
27.	M76	Укључивање хлађења високим притиском
28.	M77	Искључивање хлађења високим притиском
29.	M88	Позивање локалног подпрограма
30.	M89	Позивање посебног подпрограма
31.	M97	Повратак из програма или петље

M0– Програм стоп

M0 функција се користи за заустављање програма. Зауставља обртање вретена, хлађење и интерполацију блокова који се припремају унапред. Са поновним стартовањем тастера " *Cycle start* " програм се наставља од наредног блока.

M1– Опциони програм стоп

M1 функција се користи за заустављање програма. Потпуно је иста као и *M0* осим што је потребно активирати дугме са контролног панела "*Optional stop*", тако да када машина наиђе на *M1* у програму- стаје. Са поновним стартовањем тастера "*Optional stop*", програм се наставља од наредног блока.

M3– Вретено напред

M3 служи за давање смера обртаја главног вретена. Сви алати десне оријентације функционишу са овим смером обртања.

M4– Вретено назад

M4 служи за давање смера обртаја главног вретена. Смер обртања је супротан и користи се за алате леве оријентације.

M5– Вретено стоп

M5 служи за заустављање главног вретена. Блок се одлаже док је бр. обртаја испод 10 o/min.

М6– Измена алата

Помоћном функцијом *М6* започиње се измена алата. Уколико се главно вретено обрће, биће заустављено. *Z*– оса ће се аутоматски померити ка машинској нултој тачки, а алат ће се заменити оним који се зада командом *T...* Алат *T..* мора бити задат у истом или предходном блоку у односу на *М6*. Измена захтева поновно задавање броја обртаја вретена *S.....*

М8– Расхладно средство укључено

Помоћном функцијом *М8* стартује се расхладно средство, које се задаје се пре почетка радног хода.

М9– Расхладно средство искључено

Помоћном функцијом *М9* гаси се расхладно средство. Обично се задаје непосредно после последњег радног хода.

М30– Крај програма са повратком на почетак

Користи се за заустављање програма. Такође зауставља вретено и гаси хлађење. Курсор се враћа на почетак програма који је спреман за поновно стартовање. *М30* поништава и корекцију дужине алата.

М41– Нижи степен преноса

Користи се за одабир нижег степена преноса. Вретено стаје када се мења област брзина. Функционише само у случају када је машина са зупчастим преносом.

М42– Виши степен преноса

Користи се за одабир вишег степена преноса. Вретено стаје када се мења област брзина. Функционише само у случају када је машина са зупчастим преносом [1].

7 Моделирање предмета обраде, израда технолошке документације по операцијама и израда NC кода

Савремени начин пословања у металопрерађивачкој индустрији подразумева потпуну имплементацију компјутерских технологија (C- технологија) кроз све фазе пројектовања производа и процеса. Ова имплементација омогућава интеграцију, односно упоредни развој, производа и процеса. Интеграција, пре свега подразумева примену модела, који се фигурише кроз све фазе развоја производа. Модел је компјутерска представа реалног производа који са собом носи све карактеристике које реални производ поседује (геометријске карактеристике, масу, запремину и др.). Моделирање представља процес настанка модела [3].

7.1 Модел и моделирање

Код савремених начина пројектовања помоћу рачунара полази се од раванске (дводимензионалне, 2D) пројекције основног тродимензионалног облика производа који се моделира. У даљем поступку стварања модела додају се остали геометријско- технолошки параметри којима постиже крајња форма производа. Савремени програмски пакети поседују посебне модуле за скицирање основних идеја конструктора, које се током рада могу лако мењати и дорађивати. Зато се често каже да ти или слични модули замењују "бележницу" конструктора што додатно истиче повећану комфорност и природност при раду. То значи да пројектант није од самог почетка оптерећен димензијама ("котама") производа, већ стварањем његовог облика, а тек након тога уводи димензиона и остала функционална ограничења која одликују дати производ.

Овакав поступак суштински мења приступ пројектовању кроз:

- олакшавање извођења активности везаних за стварање модела производа,
- већу флексибилност у раду,
- подизање нивоа креативности,
- подизање нивоа ефикасности,
- смањење трошкова развоја производа,
- већу природност при раду,
- примену кључних принципа модерног инжењерства, итд. [3].

Дакле, суштина приступа и поступака развоја производа и процеса помоћу рачунара огледа се у стварању модела. У различитим фазама развоја модел има различито специфично значење. Оно је повезано карактеристикама и потребама активности које се спроводе у циљу стварања готовог производа. У контексту рачунарског пројектовања производа и процеса може се навести следећа генеричка дефиниција модела:

Модел је рачунарска представа (репрезент) реалног производа или процеса [3].

Ова је дефиниција је општег карактера и има за циљ да укаже како на нематеријалну страну модела, тако и на настојање постизања што реалније представе будућег производа или процеса. Тиме се истичу претпоставке везане за имплементацију концепата модерног инжењерства и испуњење захтева тржишта, у смислу брже, ефикасне и свеобухватне реализације пројекта.

Са друге стране, свака фаза развоја производа и процеса има своје специфичности које на посебан начин истичу особености модела који током њих настаје. Основни модел који се користи током свих фаза развоја производа и процеса, и шире, током читавог животног циклуса производа, је геометријски модел.

Геометријски модел је рачунарска представа геометријских, димензионих и технолошких карактеристика производа.

Стварањем геометријског модела обезбеђују се услови за читав низ анализа и провера. Њима се симулирају експлоатационе карактеристике производа, кроз задавање реалних ограничења. Тиме се отклањају могућности превиђања недовољно добрих решења, односно постиже се формирање оптималне конструкције, уз задовољење захтева безбедности коришћења производа у реалним условима. Такав модел, настао на основу геометријског, назива се инжењерски модел [3].

Инжењерски модел је рачунарска представа кинематских, структурних, термичких и функционалних карактеристика производа.

Кроз пројектовање технолошких поступака обраде помоћу рачунара могу се у највећој мери симулирати стварни услови израде производа. То се, пре свега, односи на путање алата, режиме обраде и спречавање могућности интеракције алата са осталим елементима обрадног система. Сем тога, омогућена је провера и оптимизација програма за нумерички управљане машине алатке, који се аутоматски генеришу и чине део технолошког модела.

Технолошки модел је рачунарска представа карактеристика технолошких поступака израде производа.

Коначно, за симулацију и проверу читаве производње неопходан је производни модел који садржи све релевантне карактеристике неопходне за управљање производном опремом и процесима.

Производни модел је рачунарска представа производних и управљачких карактеристика поступака производње производа.

Да би се креирао модел производа и/или процеса неопходно је испоштовати одговарајуће поступке и процедуре. Они су усмерени ка дефинисању, како општих, тако и специфичних карактеристика модела у појединим фазама развоја. Читав процес назива се моделирање и може се дефинисати на следећи начин:

Моделирање је процес стварања модела кроз дефинисање његових геометријских, димензионих, тополошких, инжењерских, технолошких и производних карактеристика [3].

До сада изнете основне карактеристике *MDPA* система указују да је развој новог производа, процеса израде и пратећих процеса заснован на стварању компонентних рачунарских модела, као организованих скупова релевантних података и информација. Може се приметити да је овако дефинисан модел знатно различит од класичних цртежа и остале техничко- технолошке документације која у традиционалним приступима прати и дефинише развој и реализацију производа.

7.2 Цртање и моделирање

CAD системи који омогућавају запреминско (енгл. "*solid*") моделирање суштински се разликују од система за цртање. Код цртања конструктор је од самог почетка стварања конструкције усредсређен на поштовање исправних димензија, немајући, при том, потпуни увид у њену просторну представу. Може се, чак, рећи да је конструктор оптерећен линијама и котама, губећи понекад нит производних, технолошких, естетских и других ограничења. У оваквом приступу конструкција се моделира на основу цртежа, односно, модел реалног објекта се изводи из цртежа [3].

Основна карактеристика класичног ("цртачког") поступка развоја конструкција- без обзира да ли се тај поступак изводи ручно или уз помоћ одговарајућег *CAD* пакета- кроз стварање техничких цртежа склопа и свих саставних елемената, садржана је у детаљној и прецизној разради сваког елемента и конструкције у целини, готово од самог почетка, односно рађања идеје. Наиме, идеја о конструкцији се најчешће иницијално забележи као низ скица, али се одмах потом прелази на стварање детаљних техничких цртежа, којима се,

пре свега, прецизно дефинишу геометријске (обликовне) и димензионе карактеристике производа. Сама фаза скицирања може се изоставити. Технички цртежи, јасно, садрже и низ других информација и података о производу, као што су начин и квалитет обраде (израде), материјал од кога је направљен, итд. и чине тзв. техничко- технолошке карактеристике производа.

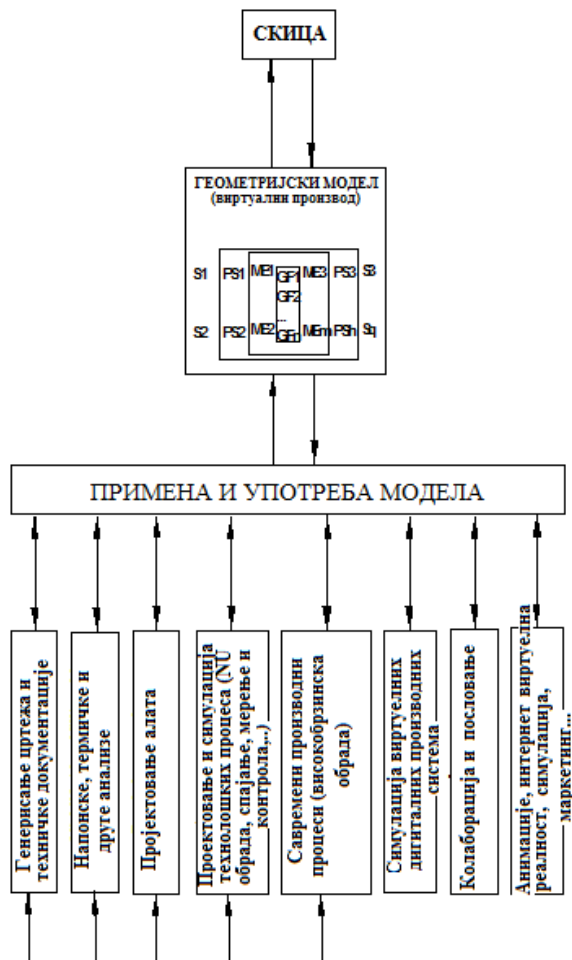
Све ово говори да је овако формиран модел производа дводимензионалне (2D) природе. Кориснику се, стога, не пружа могућност лаког и брзог разумевања стварног (просторног, тродимензионалног- 3D) изгледа производа, нарочито ако се ради о недовољно технички образованој особи. То тим пре што технички цртежи садрже и мноштво помоћних линија (котне линије, шрафуре, линије пресека и сл.), ознака и других техничких елемената који додатно могу отежати разумевање просторног изгледа производа. Технички цртежи, свакако, не искључују примену изометријских или триметријских погледа, али се они у пракси веома ретко користе. Зато се јаснија представа о просторном изгледу производа стиче, заправо, тек након његове израде [3].

Појавом модерних приступа пројектовању производа у CAD програмским пакетима, заснованих на примени концепата и методологија просторног моделирања, наведени проблеми и недостаци су отклоњени у највећој мери. Полазећи од скица, које се такође формирају помоћу рачунара, најпре се генеришу основни просторни геометријски облици, чијом се даљом манипулацијом ствара коначни (3D) облик производа. Дакле, за разлику од цртања, моделирање се заснива на формирању, стварању коначног облика конструкције од тзв. "чврстих запремина материјала". Такав приступ је ближи реалности и природнији је са становишта практичне примене. Сем тога, он конструкторима, а посебно пројектантима и креативним дизајнерима, дозвољава велику флексибилност у раду. Суштина се огледа у дефинисању неопходних правила и ограничења која конструкција мора поштовати да би се задовољили постављени захтеви.

Током скицирања пројектант може, али не мора, да уноси одговарајуће димензије елемената скице. При томе није оптерећен јасним местом кота и прецизним задавањем котних вредности, с обзиром да их током развоја конструкције може модификовати у било ком тренутку.

У поступку моделирања геометријски модел представља основу за даљу примену, употребу и манипулације. Сам геометријски модел настаје од елементарних геометријских тела и ентитета, односно од тзв. геометријских форми (енгл. "*features*"). Заправо, геометријске форме (GF) формирају појединачне делове конструкције, тј. машинске елементе (ME). Њиховим спајањем у мање целине- подсклопове (PS) или у целе производе,

склопове (S)- настаје коначни облик конструкције. Тако креиран модел назива се виртуелни производ (слика 7.1 [3]).



ЛЕГЕНДА:

GF- геометријска (моделска) форма; ME- машински елемент; PS- подсклоп; S- склоп.

Слика 7.1 Савремени приступи пројектовању производа у MDPА програмским пакетима [3]

Примена и употреба модела започиње још у фази концептуалног развоја. Наиме, карактеристике MDPА система омогућавају паралелан развој различитих врста модела у оквиру укупне дефиниције производа и процеса. Зато се одмах након формирања иницијалних геометријских карактеристика виртуелног производа приступа развоју осталих конструкционо- производних карактеристика. То се посебно односи на структурну и друге анализе производа, пројектовање алата неопходних за производњу производа, пројектовање и симулацију технолошких поступака израде, израду интернет презентација, генерисање техничке и производне документације и др. Треба приметити да, за разлику од

традиционалног приступа, у савременом приступу пројектовања израда класичне техничке и производне документације није неопходна. Она се може, али не мора, генерисати на основу развијеног модела производа. На пример, у случају интензивне примене нумеричких машина алатки и директног или дистрибуираног начина управљања производним процесима, класичан технички цртеж није потребан. Сем тога, данас је далеко сврсисходније и ефикасније користити предности интернет технологија и тзв. електронске документације или електронских цртежа (енгл. "*e-documentation*", "*e-drawings*"), за све врсте инжењерског комуницирања између различитих развојних тимова. Треба напоменути да технички цртежи, генерисани на овај начин, поред неопходних пројекција, погледа, пресека, детаља, димензионих и других карактеристика садржи, најчешће, и просторни (изометријски или триметријски) приказ конструкције. Тиме се олакшава "читање" цртежа, а кориснику пружа јаснија представа о производу [3].

Са производног аспекта основна предност оваквог приступа огледа се, пре свега, у могућности сталне контроле производних ограничења. На тај начин се у значајној мери подиже квалитет производа и смањује могућност појаве шкарта.

7.3 Моделске форме

Описани приступ истиче тродимензионалност основног модела. Наиме, реални производи су тродимензионални објекти и људи их на тај начин, природно, посматрају и поимају. Зато се у савременим програмским пакетима за развој производа и процеса полази од (основног) 3D модела који се разним модификацијама преводи у финални облик. Овај поступак је аналоган обрадним трансформацијама које се врше над припремком током производње, генеришући на крају израдак. С обзиром на све поступке и манипулације које се у производњи изводе у циљу израде неког дела (на пример, избор припремка, постављање у стезни прибор и на машину, избори секвенцирање операција и захвата, итд.) потпуно је јасно да је примена аналогних поступака приликом пројектовања сасвим природна. Слично се може констатовати и када је у питању моделирање (под) склопова, односно процес монтаже готових делова у (под) склоп [3].

Дакле, модел одговара радном комаду, тј. машинском елементу или (под) склопу у производњи, а моделирање обрадном или монтажном поступку. Модел се ствара помоћу моделских форми (енгл. "*features*"). Моделска форме се моделу додају кроз моделске операције. Неке моделске операције моделу додају, а неке одузимају материјал, док неке моделу додају неку посебну карактеристику, односно особину. Слично важи и за елементе и карактеристике инжењерских, технолошких и производних модела, па се може навести следећа општа дефиниција:

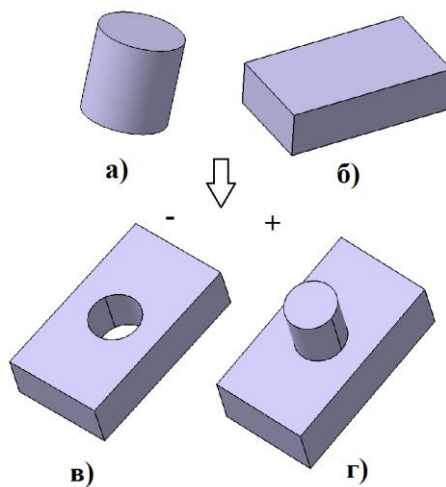
Моделска форма (енгл. "feature") је елементарни геометријски, инжењерски, технолошки и производни облик и карактеристика, односно особина објекта који се моделира, од којих је сачињен и који га одликују [3].

У зависности од врсте модела на који се моделска форма директно односи разликују се следеће основне врсте моделских форми:

- геометријске моделске форме,
- инжењерске моделске форме ,
- технолошке моделске форме ,
- производне моделске форме и
- моделске форме знања [3].

Да би се истакла суштина моделирања применом моделских форми, у овом раду биће објашњен само елементарни поступак стварања геометријских модела, односно примена геометријских моделских форми.

Помоћу геометријских моделских форми формирају се облик, димензије и тополошке карактеристике модела. Током моделирања оне се моделу увек додају. Међутим, неке моделу додају материјал, а неке одузимају. На пример (слика 7.2 [3]), ако се моделској форми облика паралелопипеда дода моделска форма облика ваљка (слика 7.2, а и б), кроз примену (*Boole*- ове) операције одузимања, добиће се модел са отвором (слика 7.2, в). Уколико се, пак, ваљак дода паралелопипеду, кроз примену (*Boole*- ове) операције сабирања, добиће се модел облика ручице или чепа (слика 7.2, г).



Слика 7.2 Стварање модела:

(а,б) моделске форме облика паралелопипеда и ваљка, (в) модел добијен операцијом одузимања, (г) модел добијен операцијом сабирања [3]

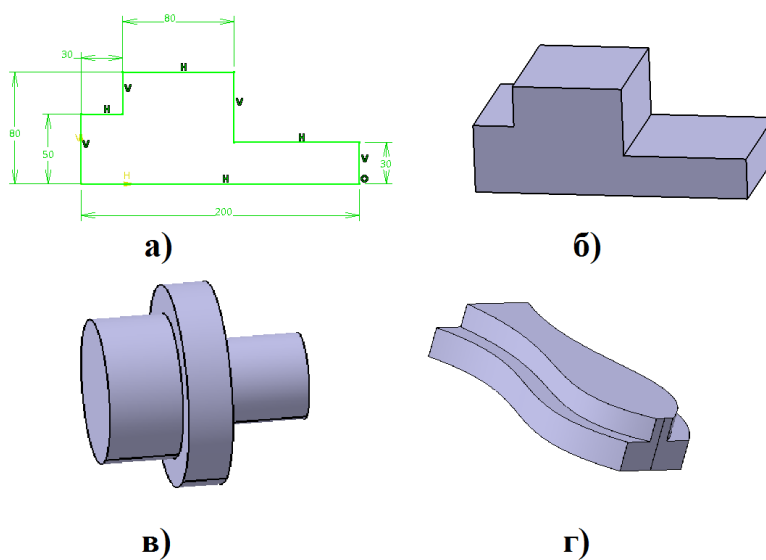
Број типских форми у моделу зависи од сложености самог модела, обучености и вештине корисника, као и од специјалних захтева везаних за евентуалне касније модификације. У вези са последњим треба нагласити да се често препоручује креирање модела кроз већи број моделских форми, јер се на тај начин пружа већа флексибилност у каснијој примени и употреби модела. Типичан пример за то је креирање репрезента групе

технологије на основу кога се релативно једноставним поступком, кроз "укључивање" и "искључивање" појединих моделских форми, може брзо и ефикасно формирати читава фамилија делова.

Да би се створила моделска форма, ма ког облика, неопходно је претходно креирати скицу њене раванске пројекције. Раванске скице су основа за свако моделирање у простору. Могу се користити за дефинисање профила од којих се праве модели или као референца за друге геометријске информације. На пример, скица може бити оса око које се ротирањем неке друге скице добија одговарајућа моделска форма, или путања дуж које се врши додавање или одузимање материјала током моделирања производа и сл. Скице се креирају у равни поступком који се назива скицирање. Током формирања скице могу се увести разне врсте ограничења и зависности којима се иста у потпуности дефинише. Сем тога, помоћу њих се може управљати евентуалним модификацијама и даљим применама. Ограничења и зависности уводе се над ентитетима скице, као што су линије, осе, тачке, координатни системи и сл. У складу са наведеним може се навести следећа дефиниција скице:

Скица је равански (2D) објекат који представља профил, тј. раванску пројекцију, основног (базног) облика моделске форме, или референтна линија којом је дефинисано правило генерисања моделске форме [3].

Помоћу једне скице може се добити више моделских форми, како је то илустративно приказано на слици 7.3 [3].



Слика 7.3 Моделска форме настале од једне скице:

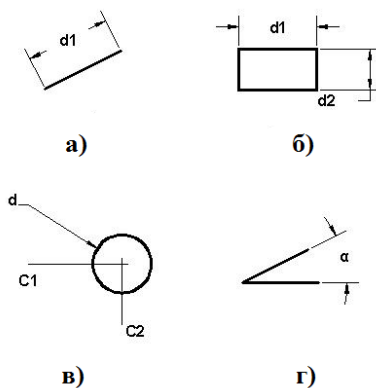
(а) скица, (б) моделска форма добијена извлачењем, (в) моделска форма добијена ротацијом, (г) моделска форма добијена транслацијом по путањи [3]

За дефинисање геометријских моделских форми није увек неопходна скица. На пример, кружни отвори, заобљене и оборене ивице, ливачки и ковачки нагиби и сличне моделске форме настају једноставним позиционирањем (везивањем) на већ формираним моделским формама, уз задавање (додатних) димензионих ограничења (на пример, величине полупречника заобљења). Формирање осталих врста моделских форми не захтева скицирање, већ дефинисање скупа параметара (или процедура) који их одликују.

7.4 Параметарско моделирање

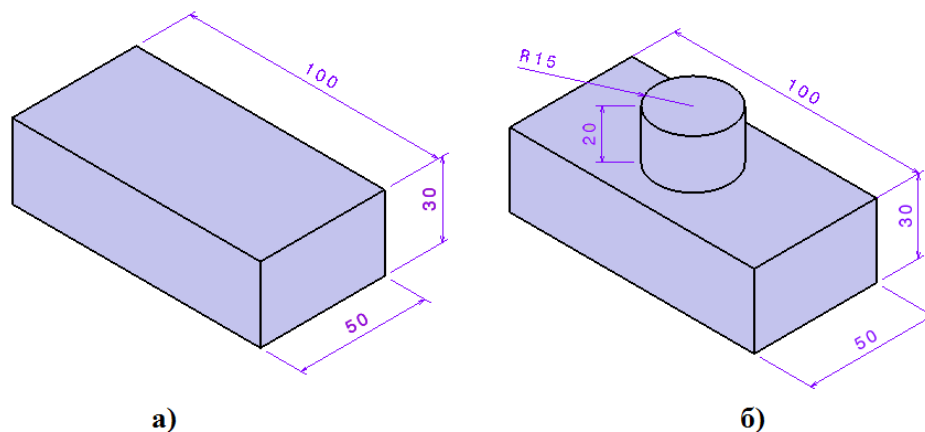
Све димензионе карактеристике модела чувају се као променљиве, односно параметри модела. Вредности параметара се задају: системски, што значи да их сам CAD програмски пакет аутоматски задаје приликом скицирања, сагласно уграђеном систему јединица; ("унутрашњу") јединицу CAD програмског пакета корисник може, сходно својим потребама, прогласити за милиметар, центиметар или неку другу јединицу мера; директно, уношењем одговарајућих вредности на захтев CAD система, или учитавањем из базе података, и индиректно, путем функционалних, односно релационих зависности.

Тип и број параметара који дефинишу једну моделску форму зависи од врсте типске форме која се формира, као и од параметара основног профила. На пример (слика 7.4 [3]), дуж је одређена својом дужином (слика 7.4, а), правоугаоник са два дужинска параметара (слика 7.4, б), кружница координатама центра и пречником (слика 7.4, в), угао својим параметром (слика 7.4, г), итд. То значи да моделска форма облика правоугаоне призме има три параметра: два који дефинишу основни профил и један који дефинише висину призме (слика 7.5, а). Цилиндар или ваљак имају четири параметра: две координате центра, пречник и висину (слика 7.5, б).



Слика 7.4 Примери параметара основних профила (скица) моделских форми: (а) дуж, (б) правоугаоник, (в) кружница, (г) угао [3]

На слици 7.5 [3] је приказан пример цилиндра и правоугаоне призме са својим координатама.



Слика 7.5 Примери параметара моделских форми: (а) правоугаона призма, (б) ваљак [3]

Вредности параметара геометрије профила моделских форми задају се системски одмах наком скицирања, с тим што их конструктор по потреби може променити. За генерисање просторног облика моделске форме на основу скице потребно је директно задати вредност барем још једног параметра на захтев *CAD* система. Директно задавање врши конструктор уношењем тражене вредности или преусмеравањем уноса на одређену базу података. Међутим, један број вредности параметара може се задати и индиректно путем одговарајуће функционалне, односно релационе зависности којом је дефинисана вредност једног параметра у зависности од других параметара.

Могућност промене вредности параметара у било ком тренутку током процеса моделирања представља једну од најважнијих предности параметарског моделирања. При том, нарочиту пажњу треба обратити на начин и редослед задавања параметара модела да би се, касније, током модификација очувала основна намера конструктора и суштина конструкције производа.

Може се закључити да формирање модела производа и процеса применом моделских форми (енгл. "*feature-based modeling*") пружа висок ниво флексибилности током моделирања, обезбеђујући, при том, природност у раду. Сем тога, на овај начин се директно остварују кључни инжењерски приступи концептуалног, конкурентног и бихејвиористичког пројектовања производа и процеса.

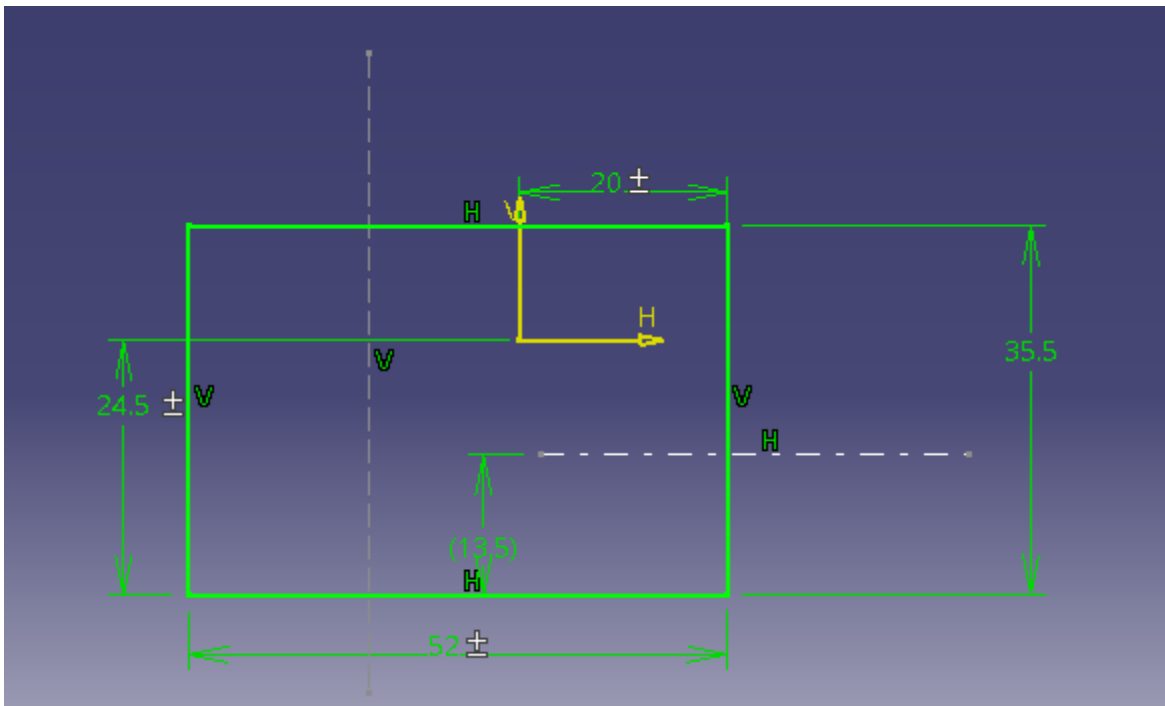
7.5 Моделирање трна амортизера

Практично је изведено моделирање предмета, трна амортизера, за потребе предузећа "ZASTAVA ORUŽJE" D.P. Моделирање се базира на употреби програмског пакета CATIA V5R21.

Моделирање радног комада извршено је применом модула "*Mechanical Design*", а у оквиру њега модула "*Part Design*" и "*Assembly Design*".

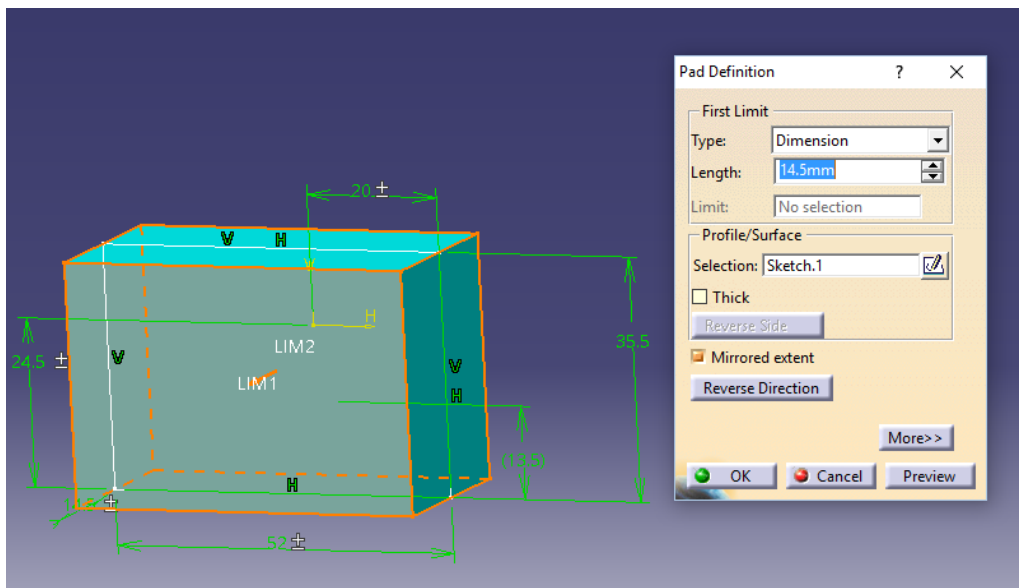
Креирање модела почиње од 2D профила тј. од модула за скицирање који обезбеђује функционалност за креирање и модификацију 2D геометрије која се користи при креирању 3D запремина и површина. Постоји неколико начина да се уђе у окружење за скицирање. Један од њих подразумева избор *Smart* менија, бирање модула *Mechanical Design* и опције *Part Design* на овај начин се покреће скуп алата за креирање делова, бирањем иконе за скуп алата за скицирање- *Sketch*, након чега једноструким кликом бирамо референтну раван прелазимо у модул за скицирање. Сесија режима за скицирање се непогрешиво препознаје по мрежастој структури на екрану, која служи као помоћ при креирању 2D елемента.

Прва фаза моделовања подразумева креирање почетног изгледа моделске форме, користећи стандардне функције *Sketchera* за израду основне геометрије, линија, кружница, constraint-а и др. Што је за конкретан пример моделирања трна амортизера представљено на слици 7.6.



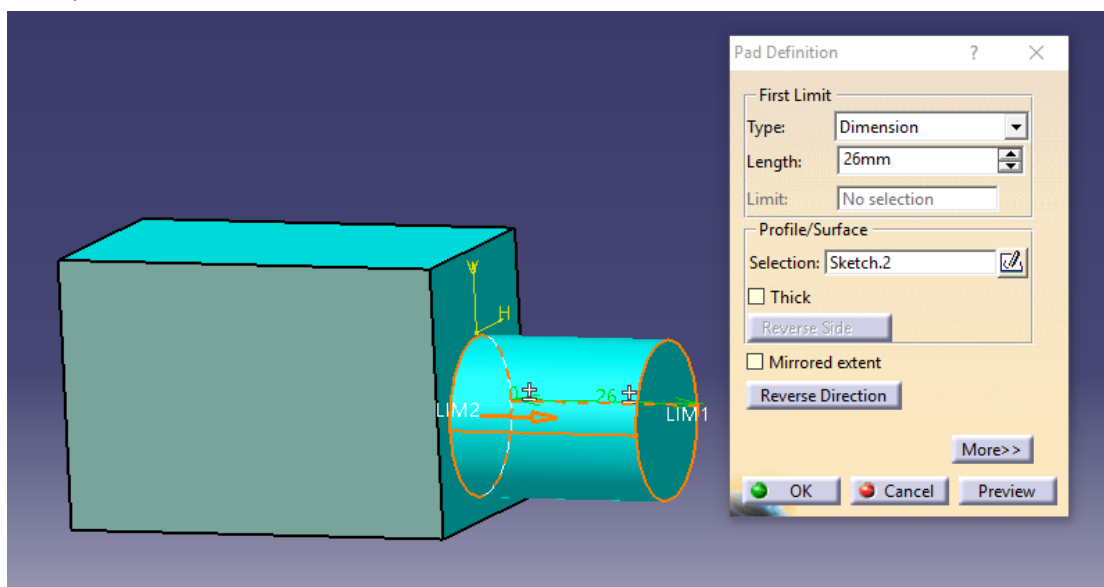
Слика 7.6 Почетни изглед моделске форме

Да би се од постојећег цртежа добио 3D модел, најпре је потребно изаћи из *Sketcher* 1, то се постиже коришћењем иконе *Exit workbench*. Селектовањем иконе *Pad* врши се екструдовање постојеће 2D моделске форме, у пољу *Type* бира се опција *Dimension*, а у пољу *Length* се задаје потребна висина (14.5 mm, *Mirrored extent*)- слика 7.7.



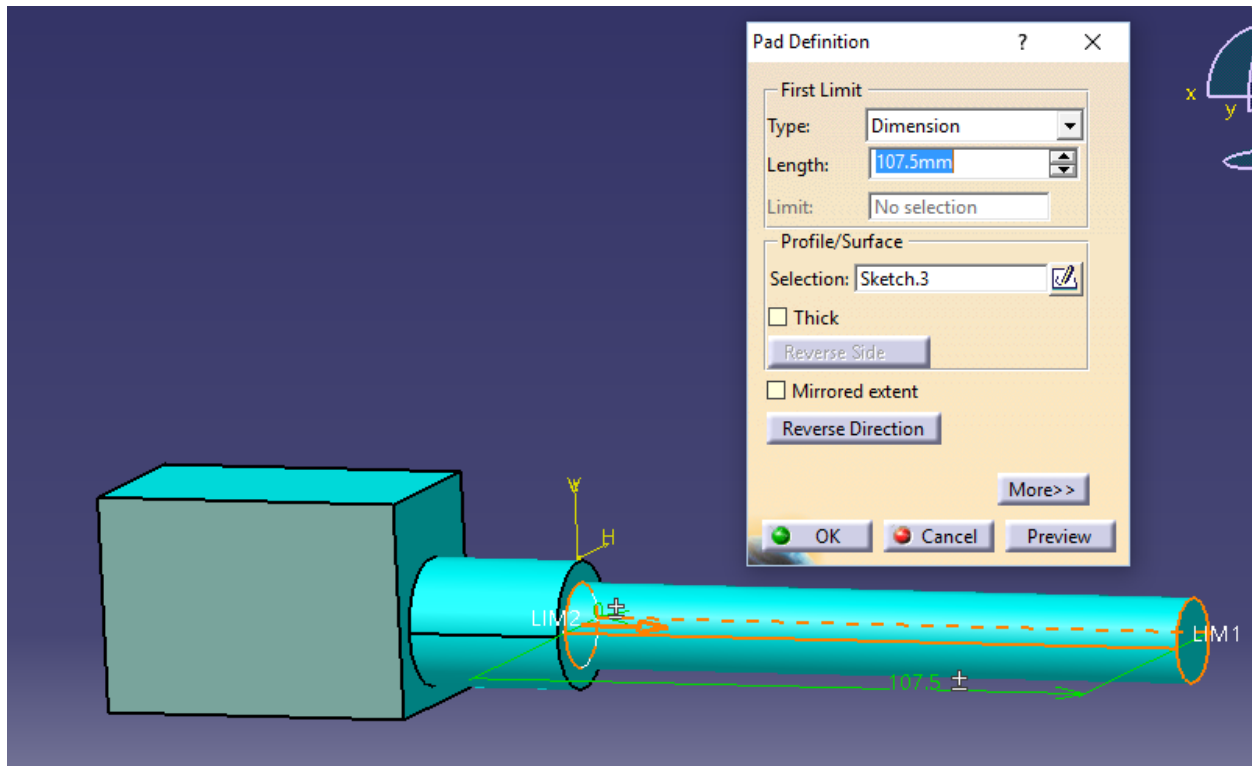
Слика 7.7 Коришћење опције *Pad* над почетном скицом

Селектује се одређени *face* и кликом на икону *Sketch* враћа се у модул за скицирање, врши се скицирање следећег профила (кружнице) његово *Pad*- овање на дужину 26 mm (слика 7.8).



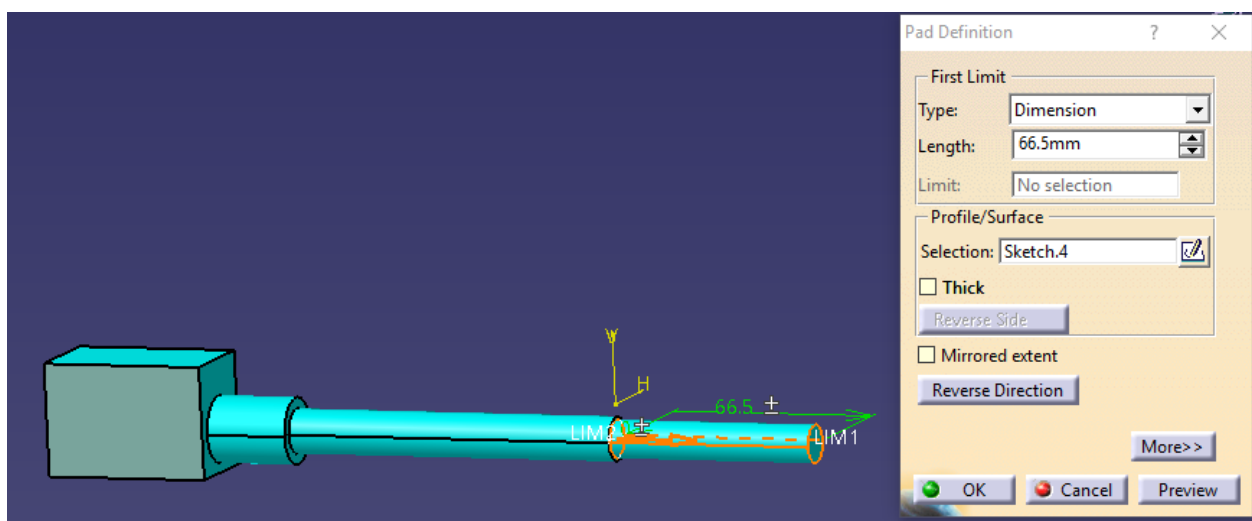
Слика 7.8 Коришћење опције *Pad*

Улази се у *Sketcher 3* скицира следећа геометрија (кружница), стандардним функцијом *Sketcher*- а, а затим се коришћењем опције *Pad* врши њено екструдовање на дужину од 107.5 mm (слика 7.9).



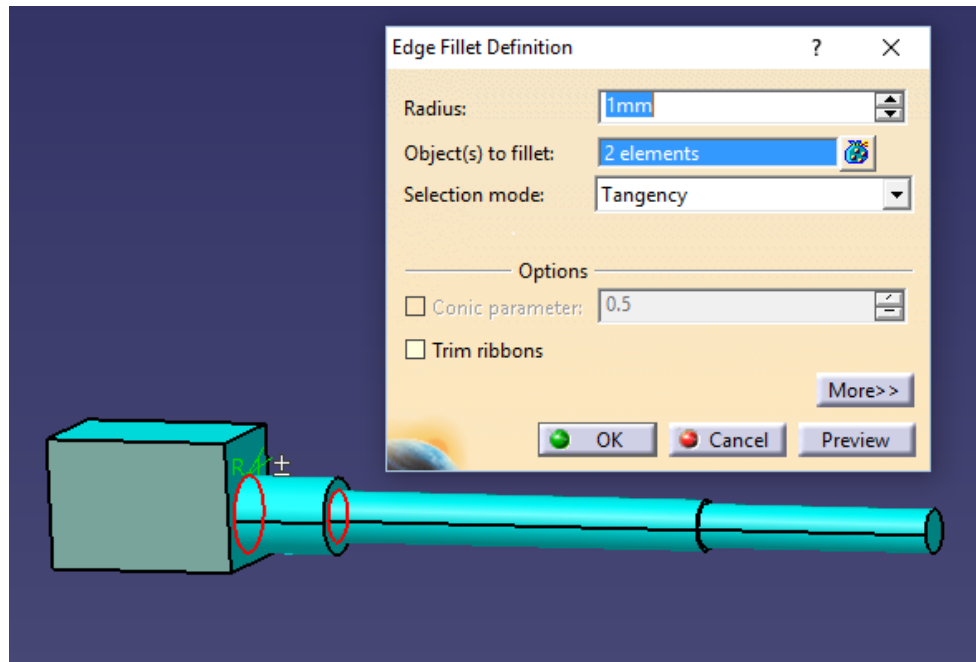
Слика 7.9 Коришћење опције *Pad*

Затим се исти поступак понавља са тим што се односи на кружницу мањег пречника која се *Pad*- ује на дужину од 66.5 mm (слика 7.10).



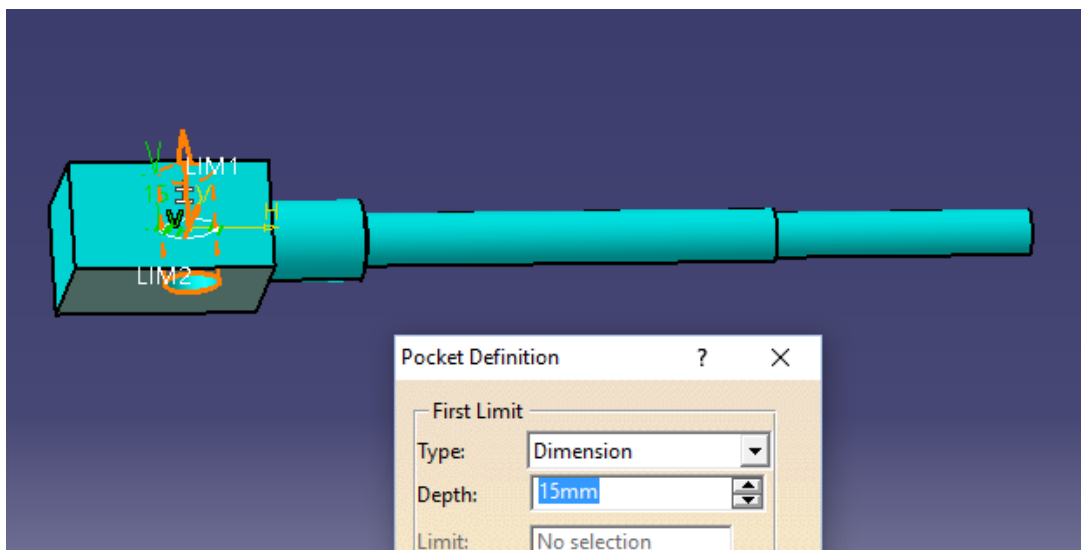
Слика 7.10 Коришћење опције *Pad*

Коришћењем опције *Edge fillet* врши се заобљење ивица два елемента на моделу са радијусом од 1 mm (слика 7.11).



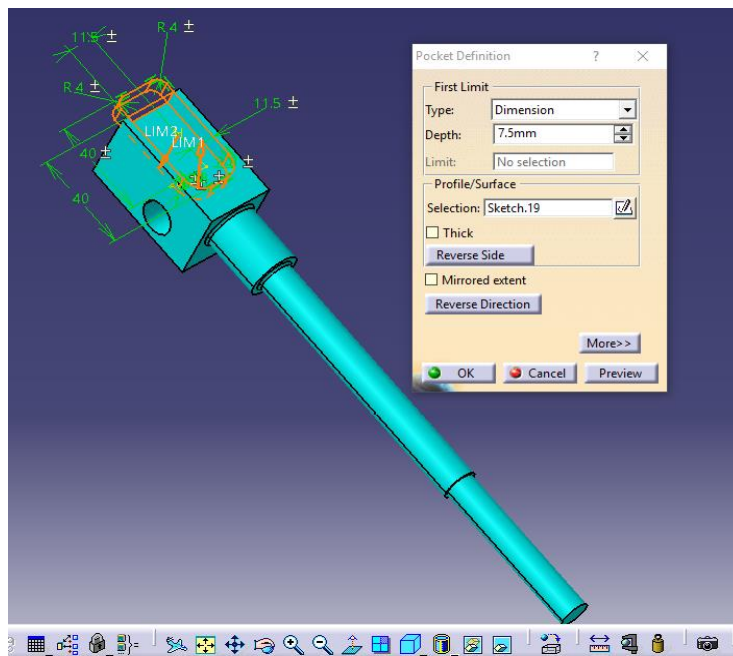
Слика 7.11 Заобљење ивица на моделу

Цртањем кружнице у *Sketch* –у врши се одузимање материјала уз помоћ опције *Pocket*. *Pocket* је опција којим се одузима материјал који је представљен у скици на дубини од 15 mm (слика 7.12).



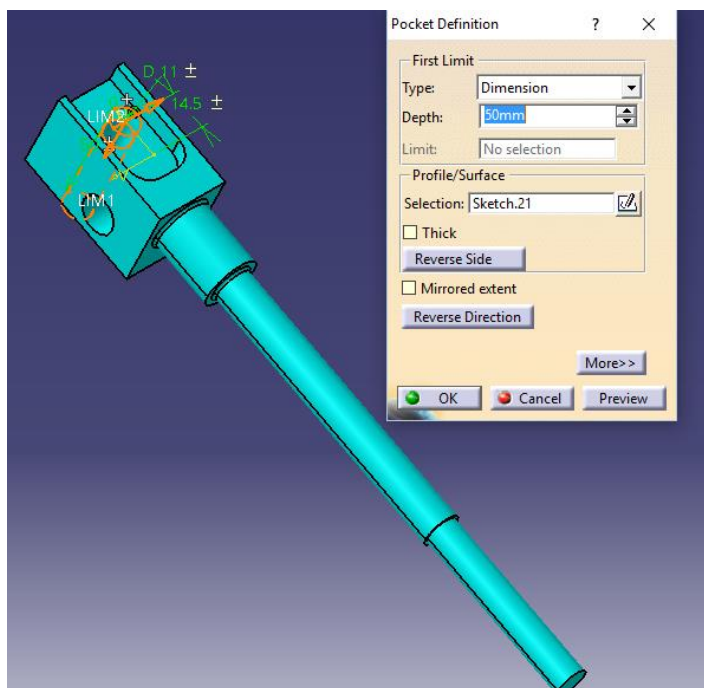
Слика 7.12 Израда отвора на моделу

У следећем *Sketch*-у се врши исцртавање одговарајућег профила који се опцијом *Pocket* одузима моделу на дубини од 7.5 mm (слика 7.13).



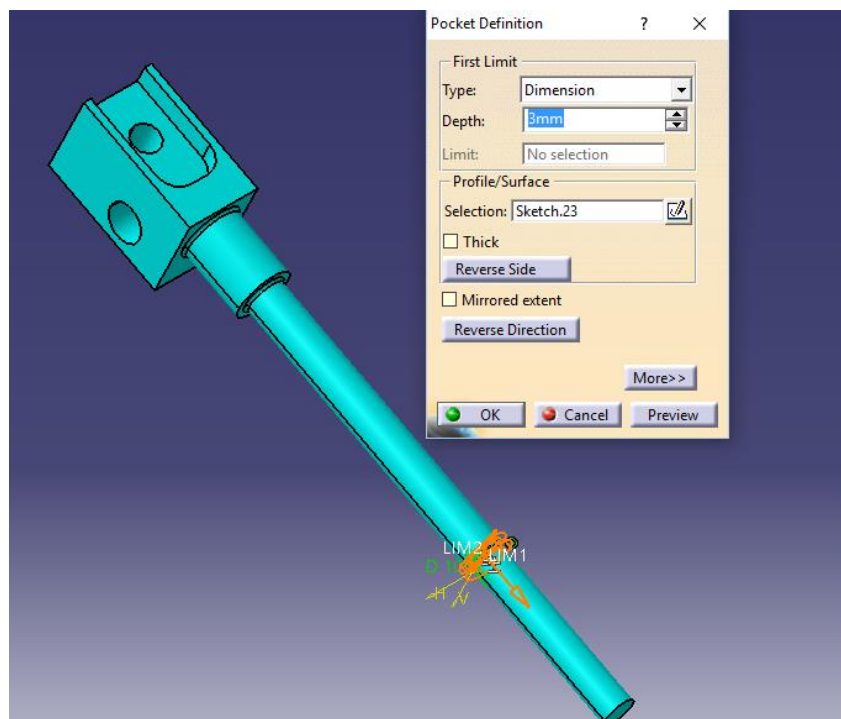
Слика 7.13 Израда профила на моделу

Затим се скицира на одговарајућој површини модела кружница, која се опцијом *Pocket* одстрањује са модела и за крајњи резултат даје отвор пречника 11 mm , на дубини од 50 mm (слика 7.14).



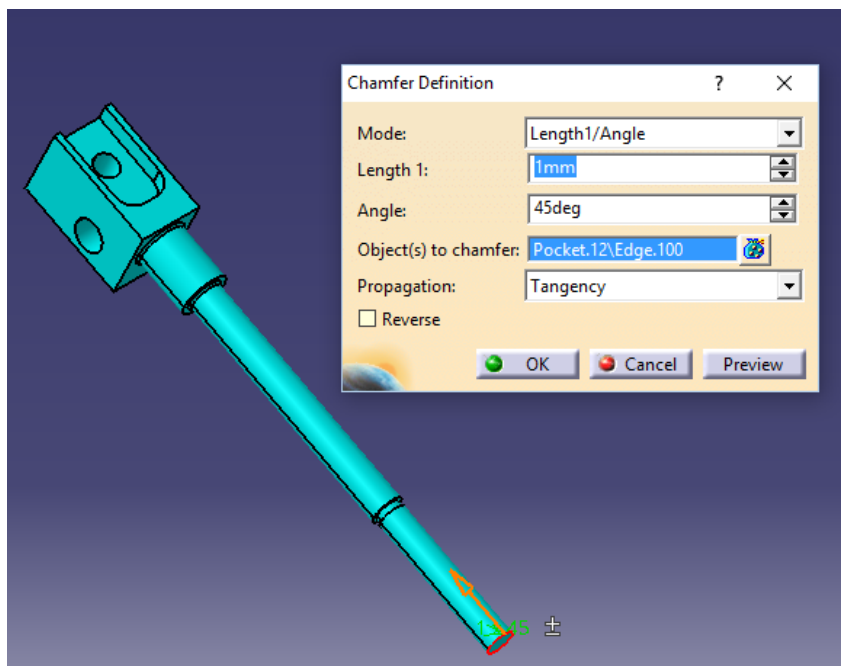
Слика 7.14 Израда отвора на моделу

На основу одговарајуће скице врши се одузимање материјала да би се добио одговарајући жлеб од 3 mm на моделу трна амортизера (слика 7.15).



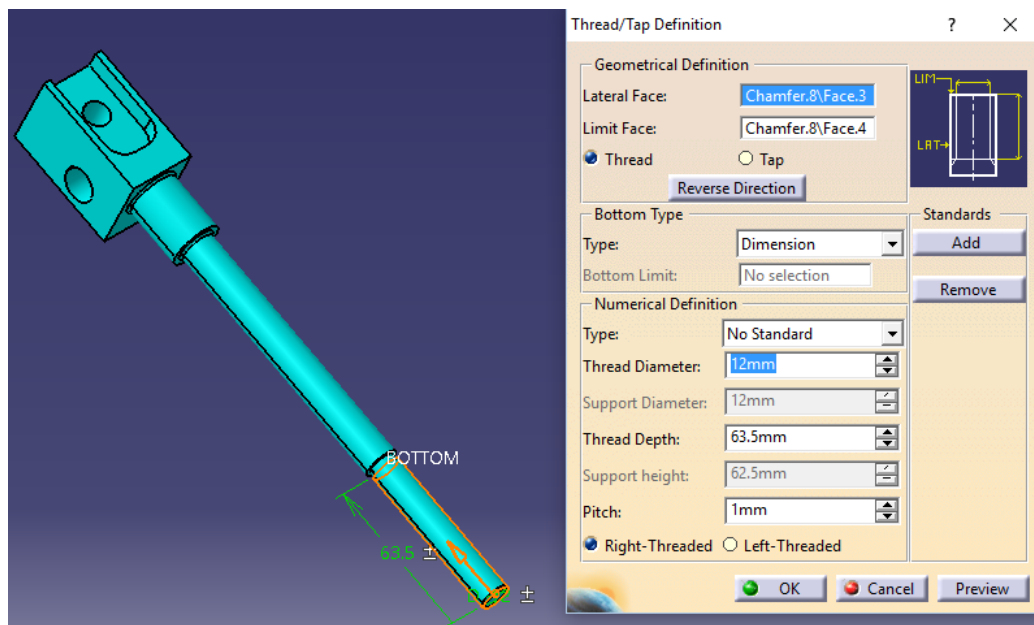
Слика 7.15 Израда жлеба на моделу

Након овога врши се заобљење једне ивице радијуса 1 mm уз помоћ опције *Edge fillet* (слика 7.16).



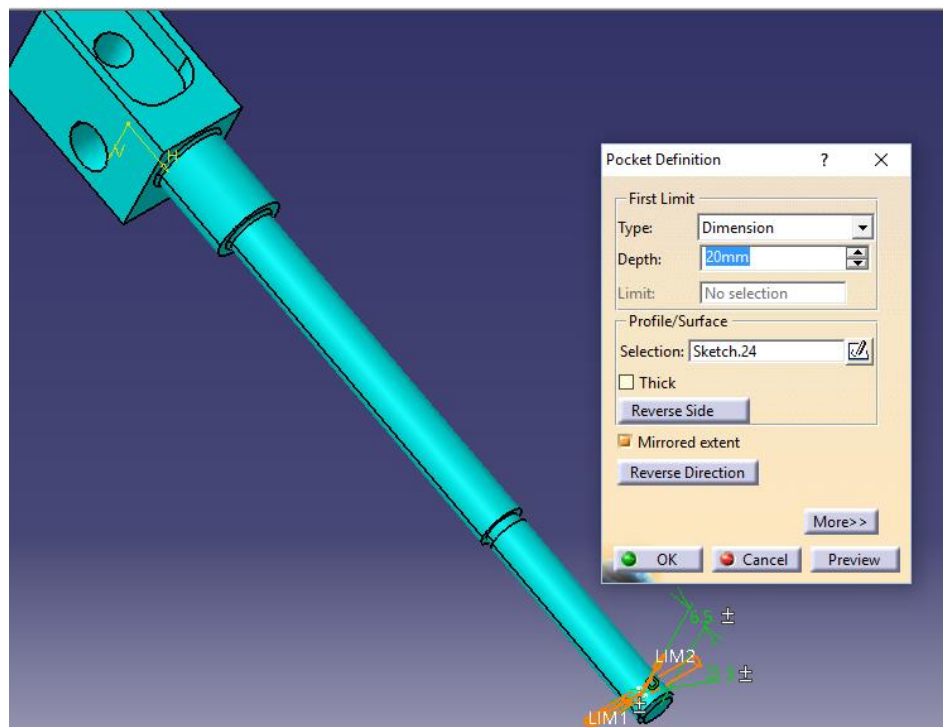
Слика 7.16 Заобљење ивице на моделу

На основу исцртане кружнице врши се помоћу опције *Thread* бушење конусног отвора на дубини од 63.5 mm (слика 7.17).



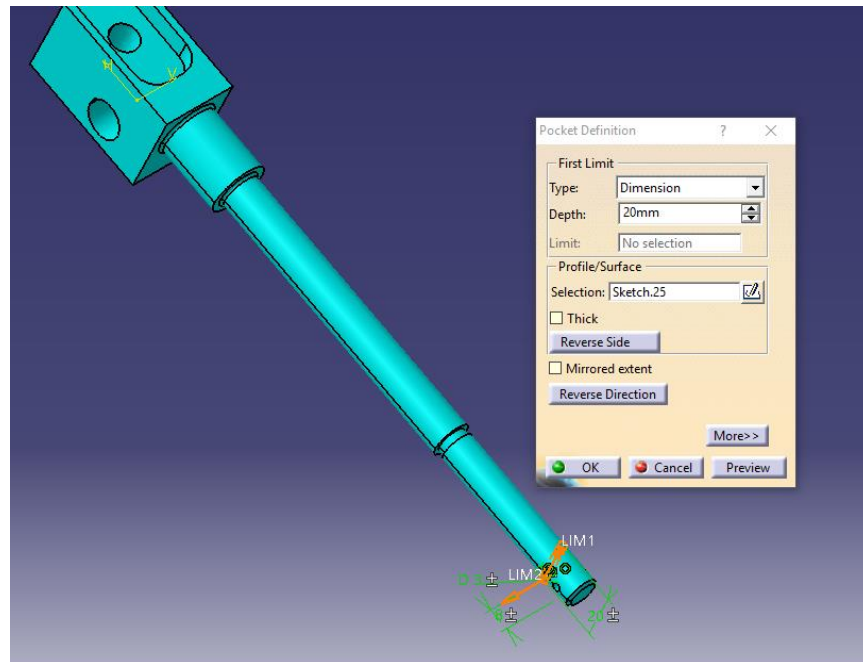
Слика 7.17 Израда конусног отвора

Затим се помоћу опције *Pocket* врши бушење отвора пречника 3 mm на дубини од 20 mm (слика 7.18).



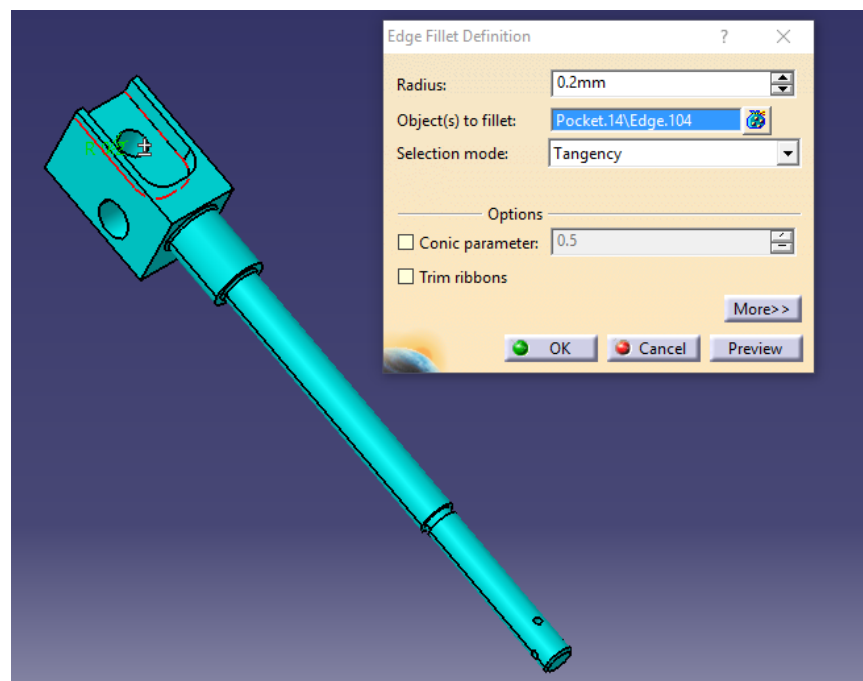
Слика 7.18 Израда отвора на моделу

Коришћењем исте опције врши се бушење отвора на супротној страни у односу на предходни, пречника 3 mm на дубини од 20 mm (слика 7.19).



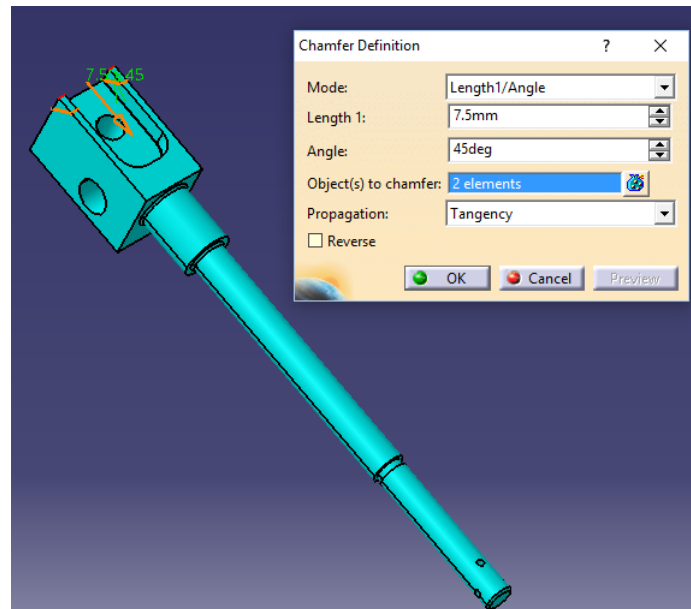
Слика 7.19 Израда отвора на моделу

Заобљење ивица одговарајућег профила опциом *Edge fillet* радиус 0.2 mm (слика 7.20).



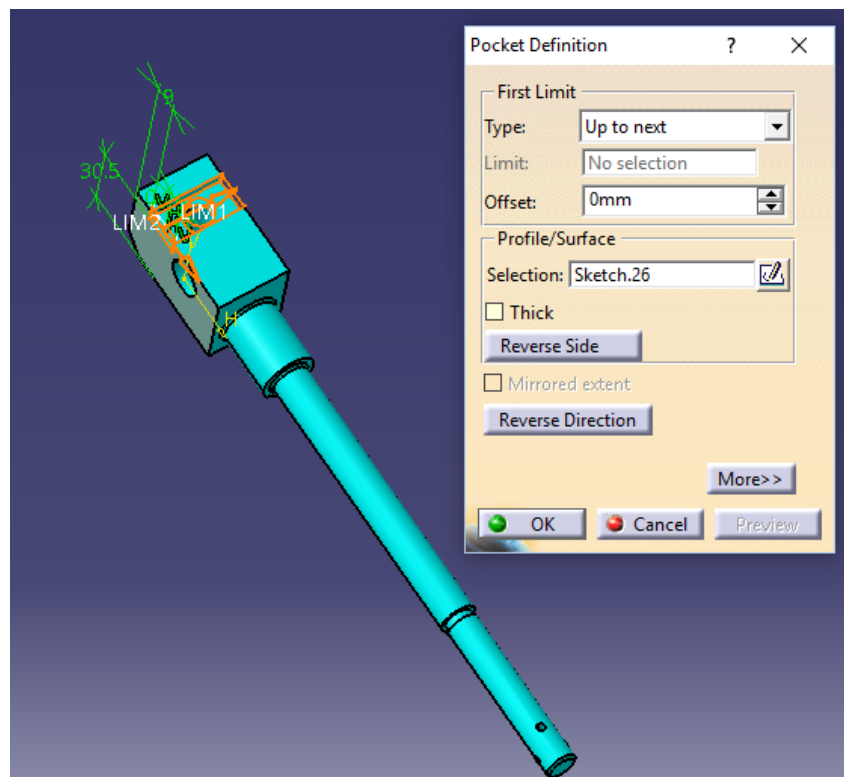
Слика 7.20 Заобљење ивице на моделу

Обарање ивица модела врши се помоћу опције *Chamfer* два елемента на дубини од 7.5 mm и за 45° (слика 7.21).



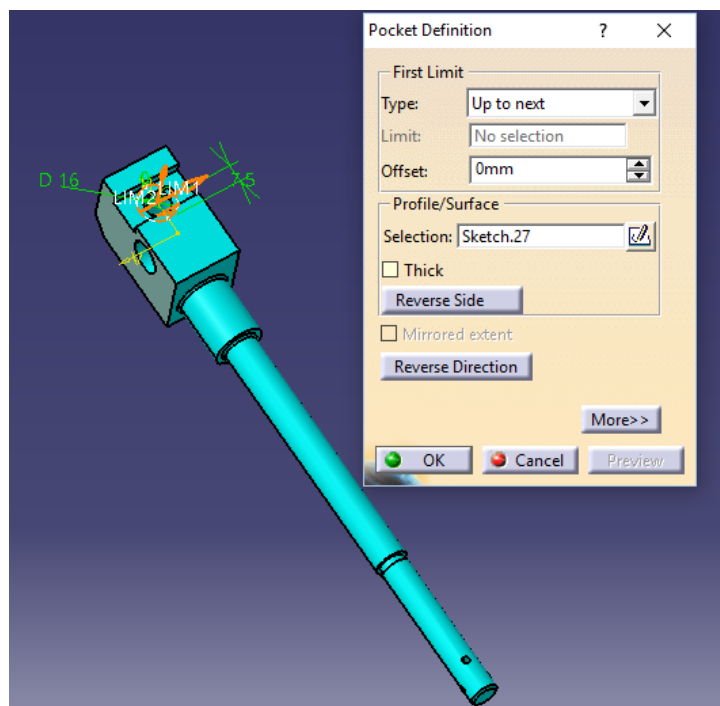
Слика 7.21 Обарање ивица модела

Цртањем одговарајућег профила врши се одузимање материјала са модела опцијом *Pocket* где се у пољу *Type* бира опција *Up to next* (слика 7.22).



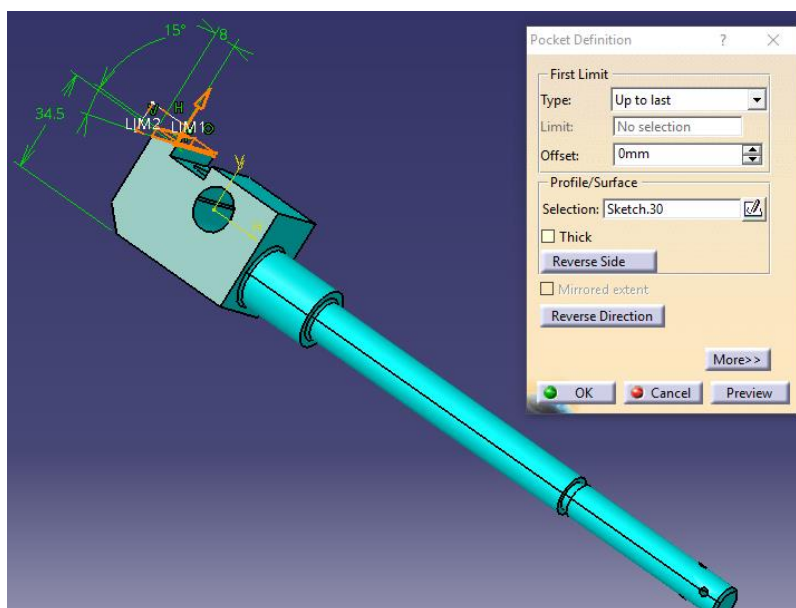
Слика 7.22 Израда профила на моделу

Затим се врши израда отвора пречника 16 mm на предходно израђеном профилу уз помоћ опције *Pocket* (слика 7.23).



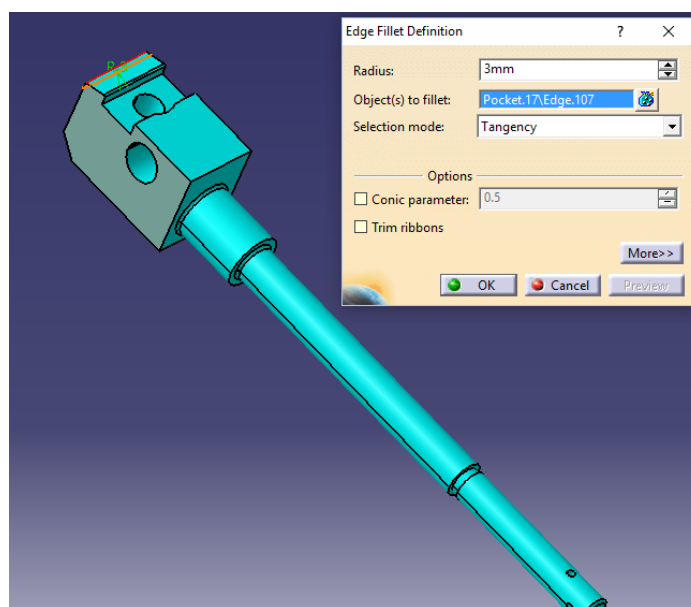
Слика 7.23 Израда отвора на моделу

На основу скицираног профила врши се одузимање материјала са модела под углом од 15° (слика 7.24).



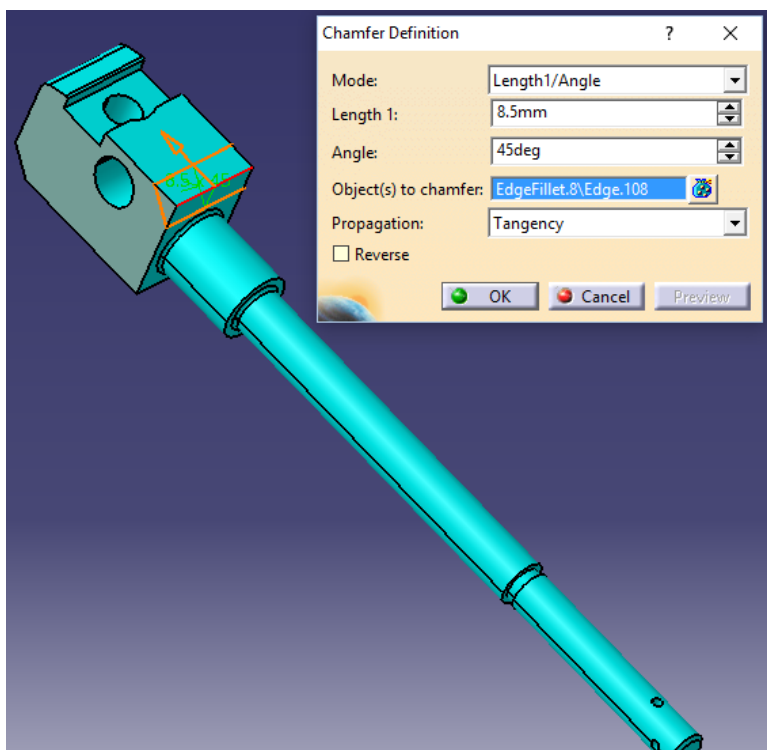
Слика 7.24 Израда конуса на моделу

Заобљење ивице радиуса 3 mm (слика 7.25).



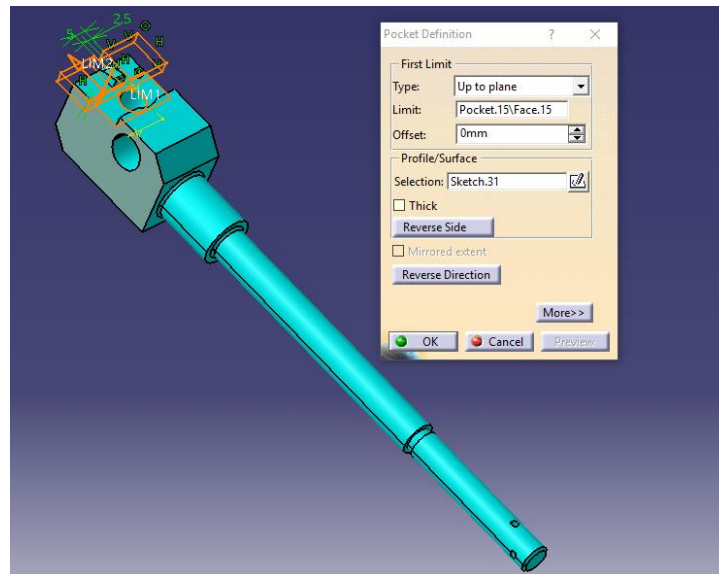
Слика 7.25 Зобљење ивице модела

Обарање ивице на дужину од 8.5 mm и под углом од 45° (слика 7.26).



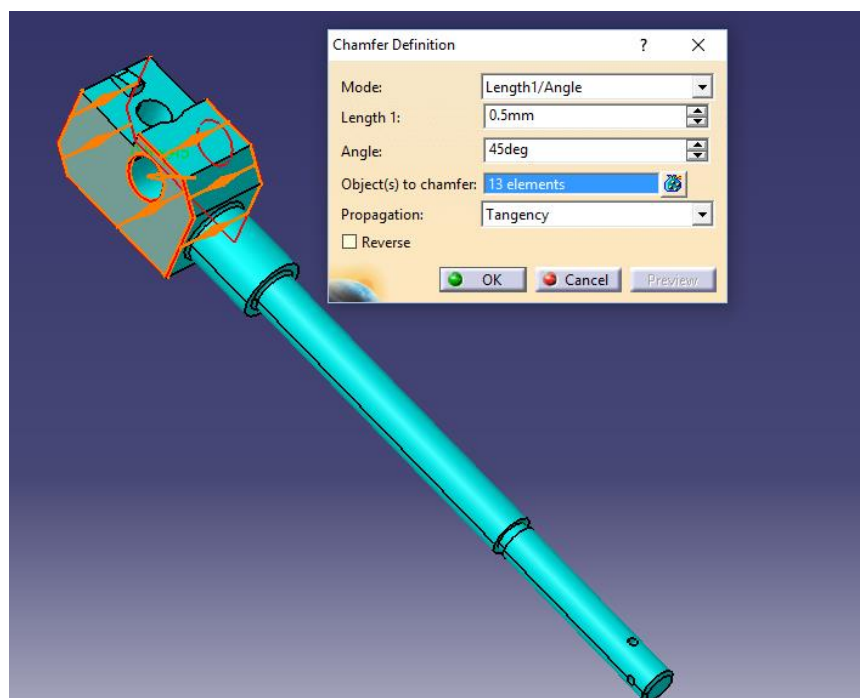
Слика 7.26 Обарање ивице на моделу

Коришћењем опције Pocket врши се одузимање материјала по исцртаном профилу у оквиру *Sketch*-а (слика 7.27).



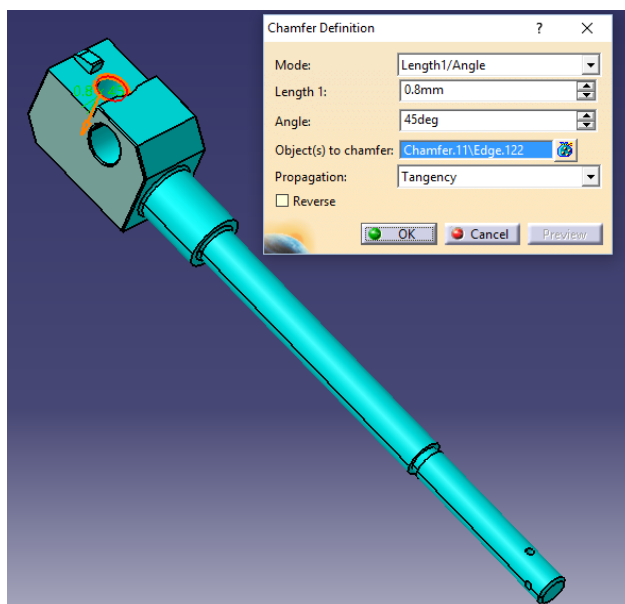
Слика 7.27 Израда профила на моделу

Обарање ивица коришћењем опције *Chamfer* и то 13 елемената дубине 0.5 mm (слика 7.28).



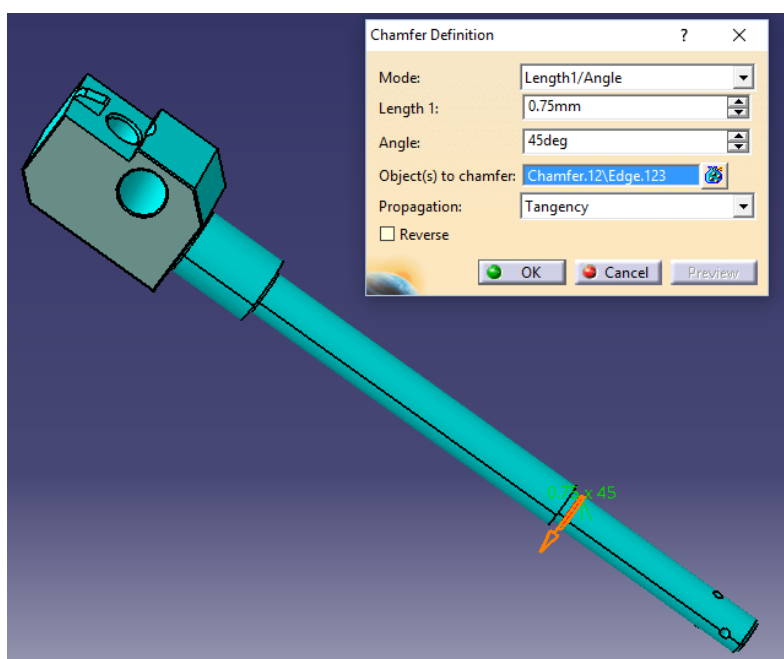
Слика 7.28 Обарање ивица модела

Следећа опција је обарање ивица отвора модела на дубини од 0.8 mm под углом од 45° (слика 7.29).



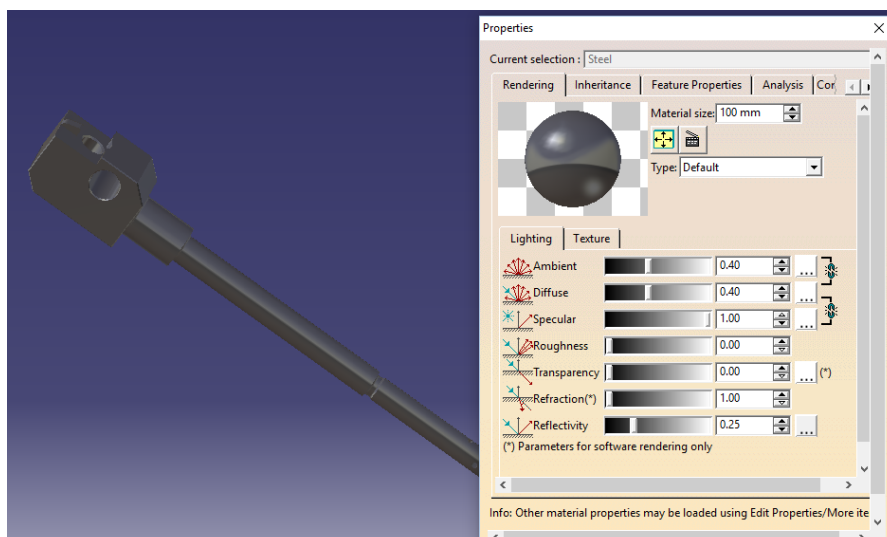
Слика 7.29 Обарање ивице модела

Обарање ивице жлеба се врши уз помоћ опције *Chamfer* на дубини од 0.75 mm (слика 7.30).



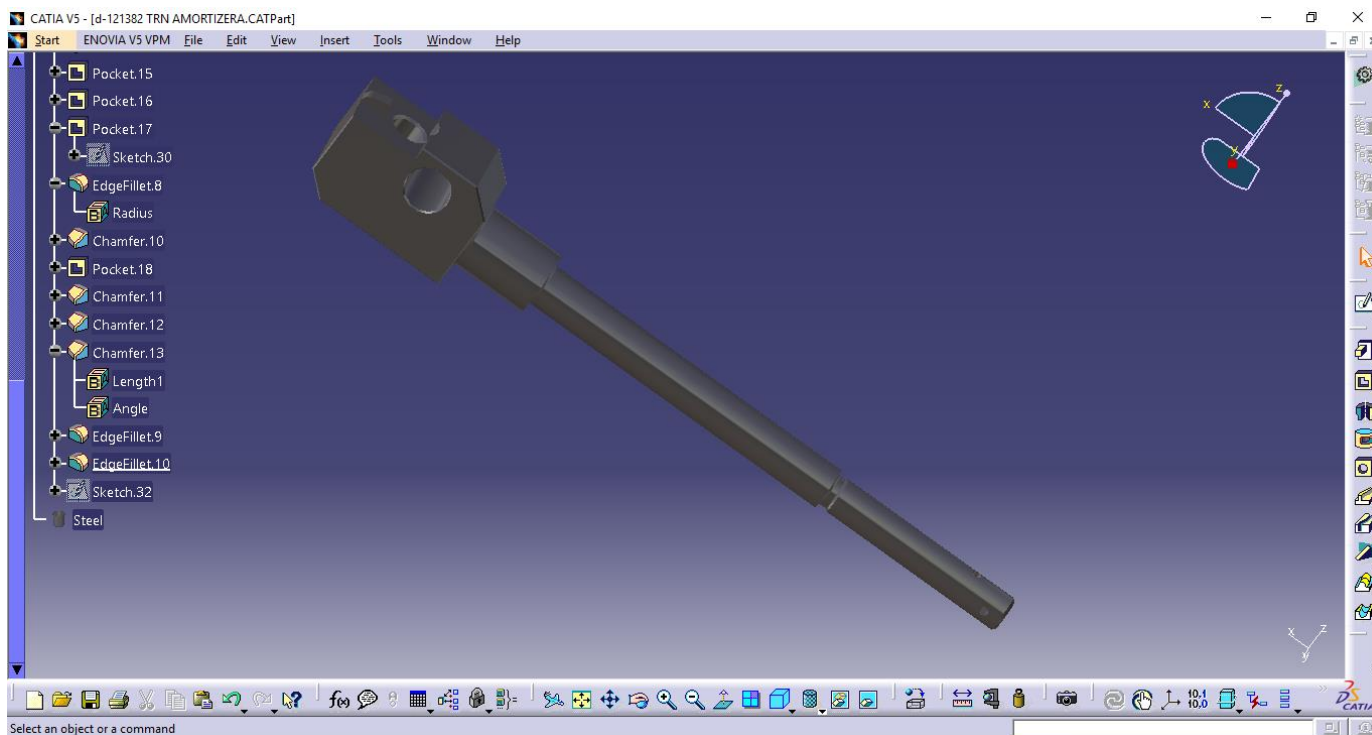
Слика 7.30 Обарање ивице жлеба модела

Преостаје још само одређивање материјала модела. Селектује се иконица *Apply Materijal*, у прозору који се појави одабере се врста материјала и са *ОК* додели материјал (слика 7.31).



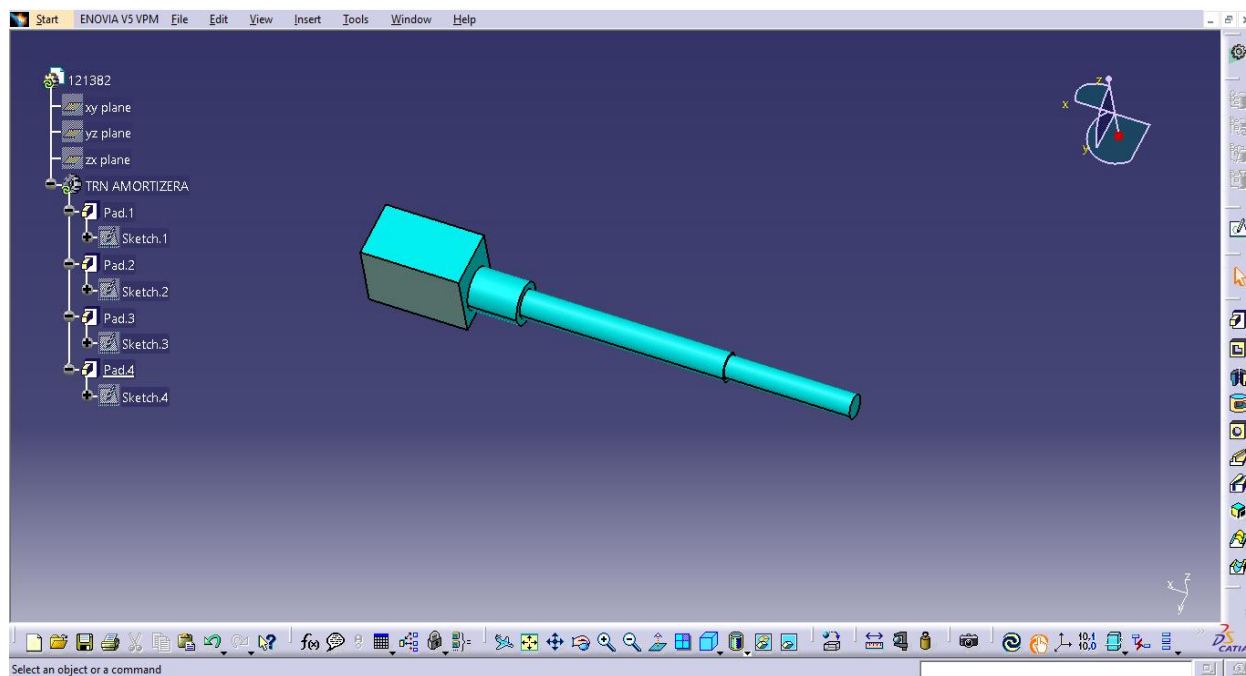
Слика 7.31 Додељивање материјала моделу

На овај начин је завршено моделовање трна амортизера. Коначан облик модела је приказан на следећој слици 7.32.



Слика 7.32 Коначан изглед трна амортизера

За израду овог пројеката на машини потребно је приказати модел отковка трна амортизера који је предходно обрађен на стругу. Модел је дат на следећој слици 7.33.



Слика 7.33 Модел отковка

7.6 Израда технолошке документације трна амортизера

Предмет обраде, чије моделирање је објашњено у предходном поглављу, представља трн амортизера (чија се обрада врши за потребе предузећа "ZASTAVA ORUŽJE" D.P, односно један од важнијих делова митраљеза. Израђује се на CNC Haas обрадном центру (четвороосном) из осам операција.

Под операцијама које се обављају при изради трна амортизера подразумева се пет врста глодања, две врсте бушења отвора и једна операција обарања ивица.

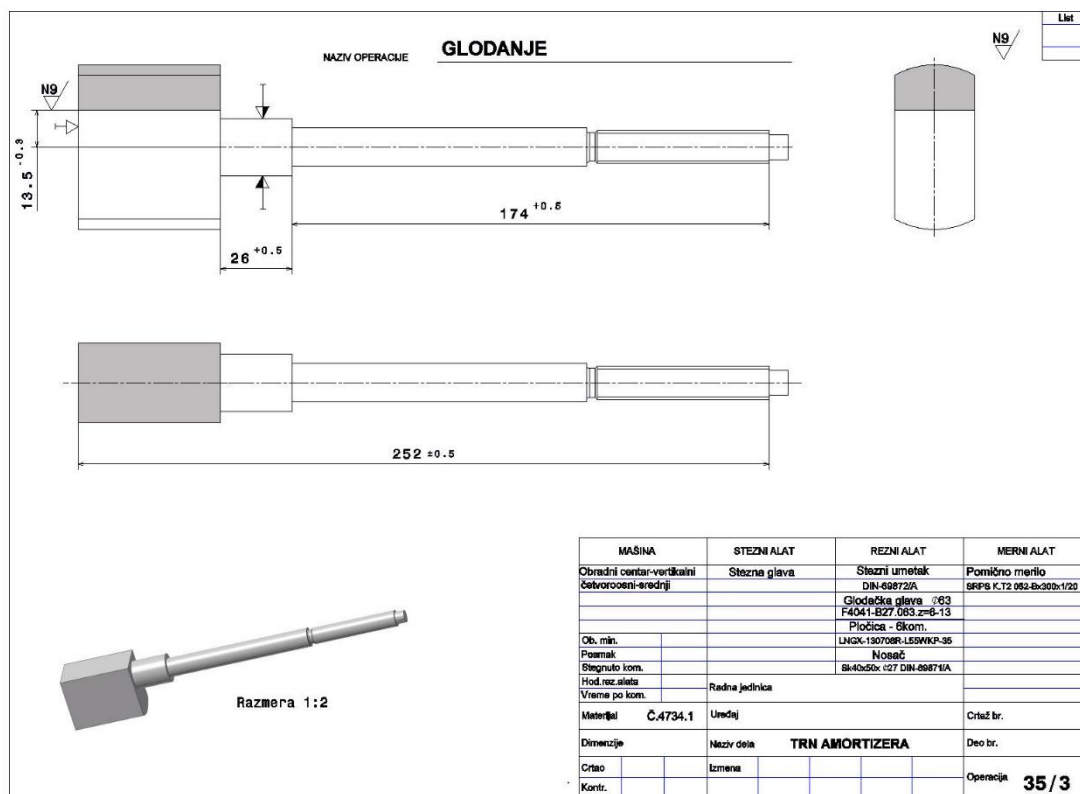
Под операцијом глодања се подразумева уклањање материјала уз појаву струготине, са површине предмета обраде, у циљу добијања жељеног производа. Обрада глодањем се врши помоћу алата- глодала, која постављена у носач алата врше ротациона кретања око сопствене осе уз могућност помоћног праволинијског кретања алата. Предмет обраде врши праволинијско кретање на радном столу машине. Главно кретање је увек ротационо кретање алата, дефинисано брзином резања, док је помоћно кретање праволинијско кретање

предмета обраде и/или алта дефинисано брзином помоћног кретања (може бити дефинисано и кораком по зубу и кораком).

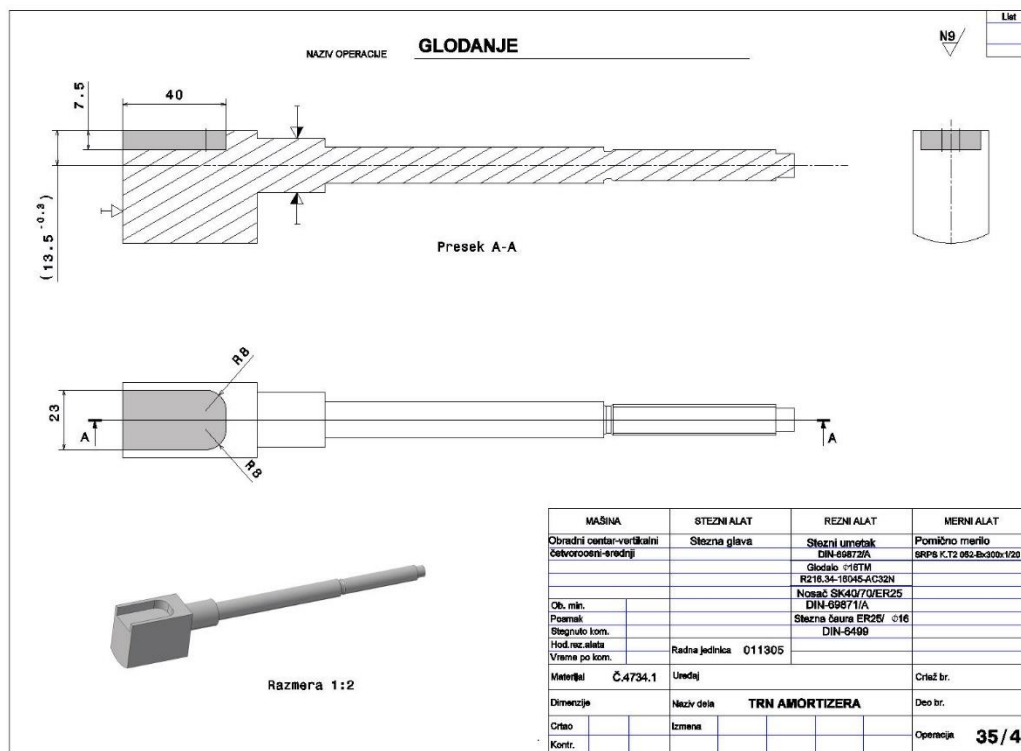
Под операциом бушења подразумева се израда отвора уз помоћ алата- бургије различитог пречника. Алат врши ротационо кретање око своје осе уз праволинијско кретање носача алата у смеру осе ротације (у зависности да ли је носач алата постављен хоризонтално или вертикално). Главно обртно и помоћно праволинијско кретање увек иводи алат. Главно кретање је дефинисано брзином резања или бројем обртаја, а помоћно кораком или брзином помоћног кретања.

На следећим сликама [8] је приказана целокупна техничка документација предмета обраде, хронолошки поређаних операција.

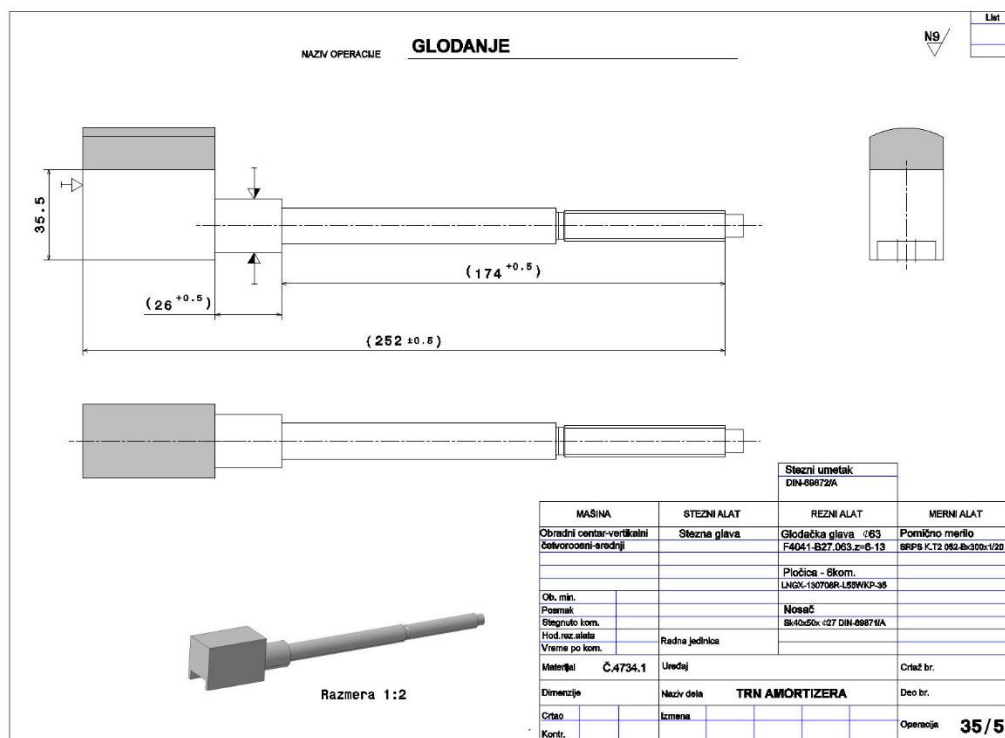
ПРВА ОПЕРАЦИЈА- ГЛОДАЊЕ



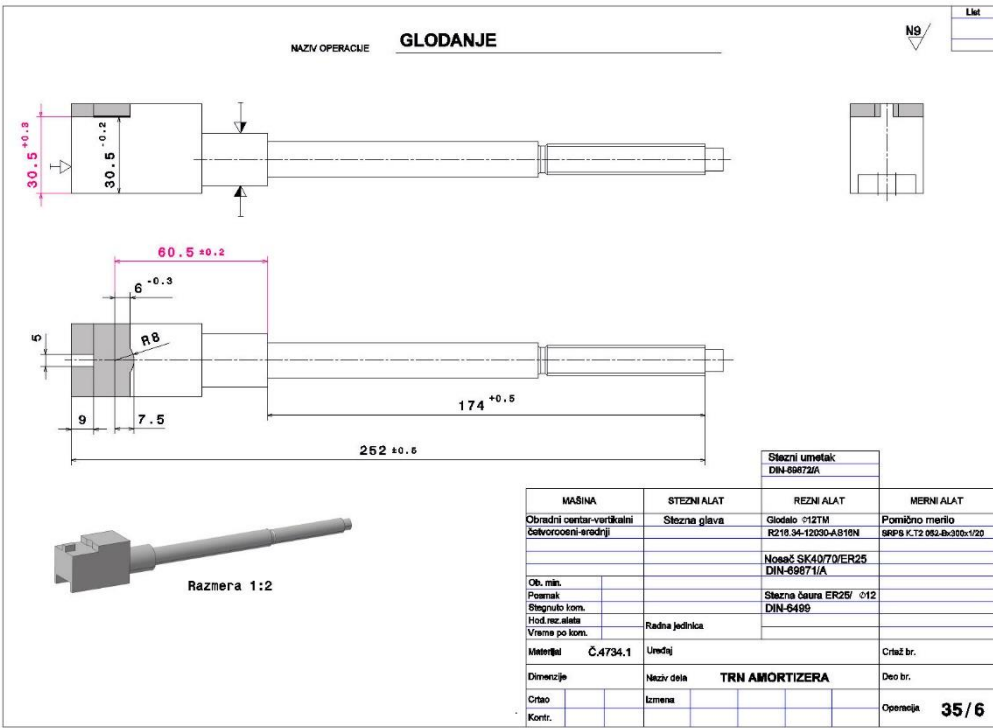
ДРУГА ОПЕРАЦИЈА- ГЛОДАЊЕ



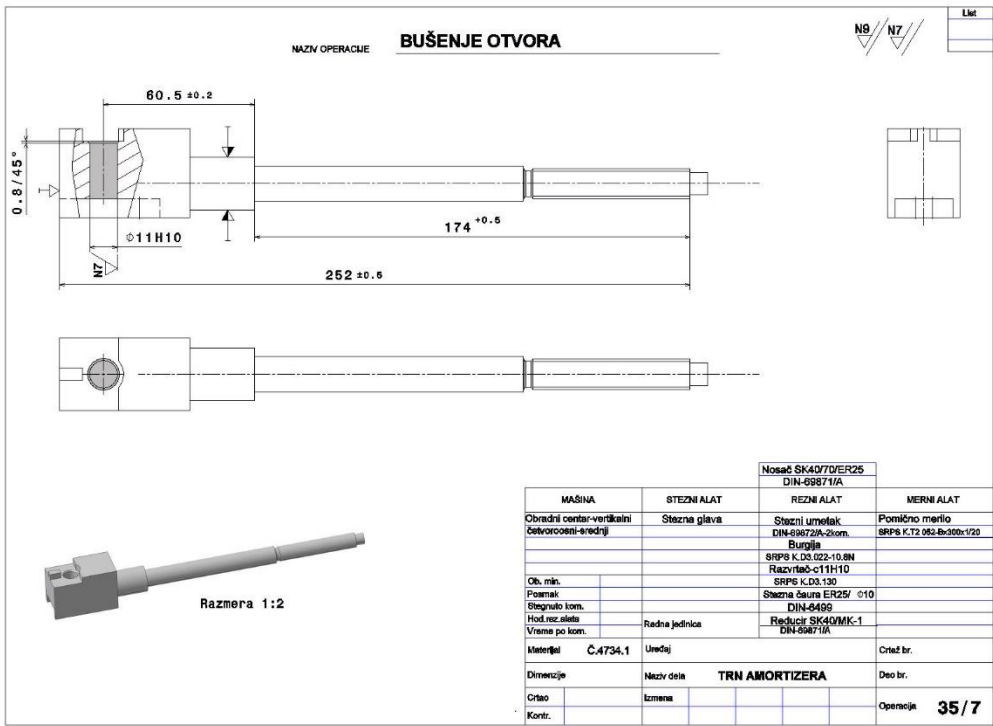
ТРЕЋА ОПЕРАЦИЈА- ГЛОДАЊЕ



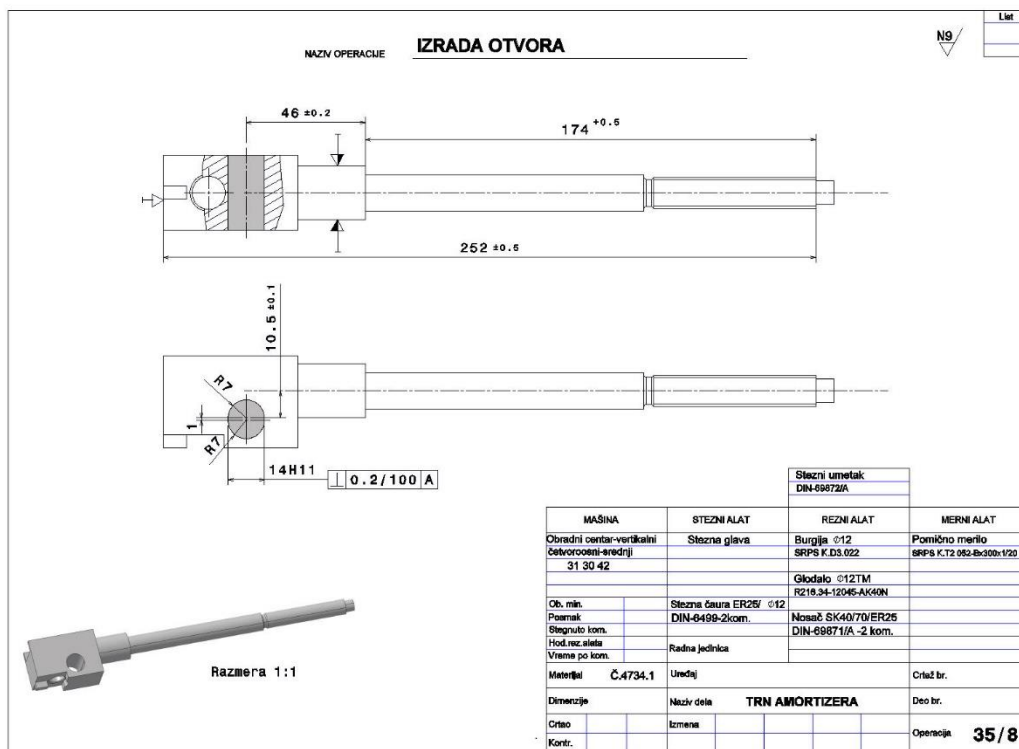
ЧЕТВРТА ОПЕРАЦИЈА- ГЛОДАЊЕ



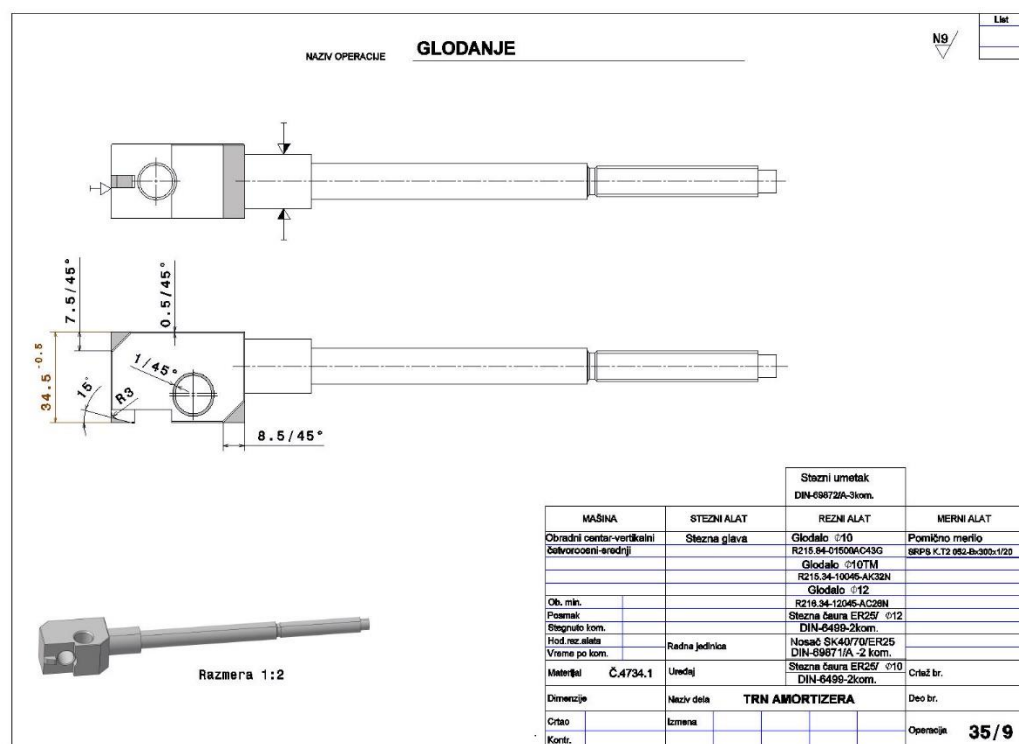
ПЕТА ОПЕРАЦИЈА- БУШЕЊЕ ОТВОРА

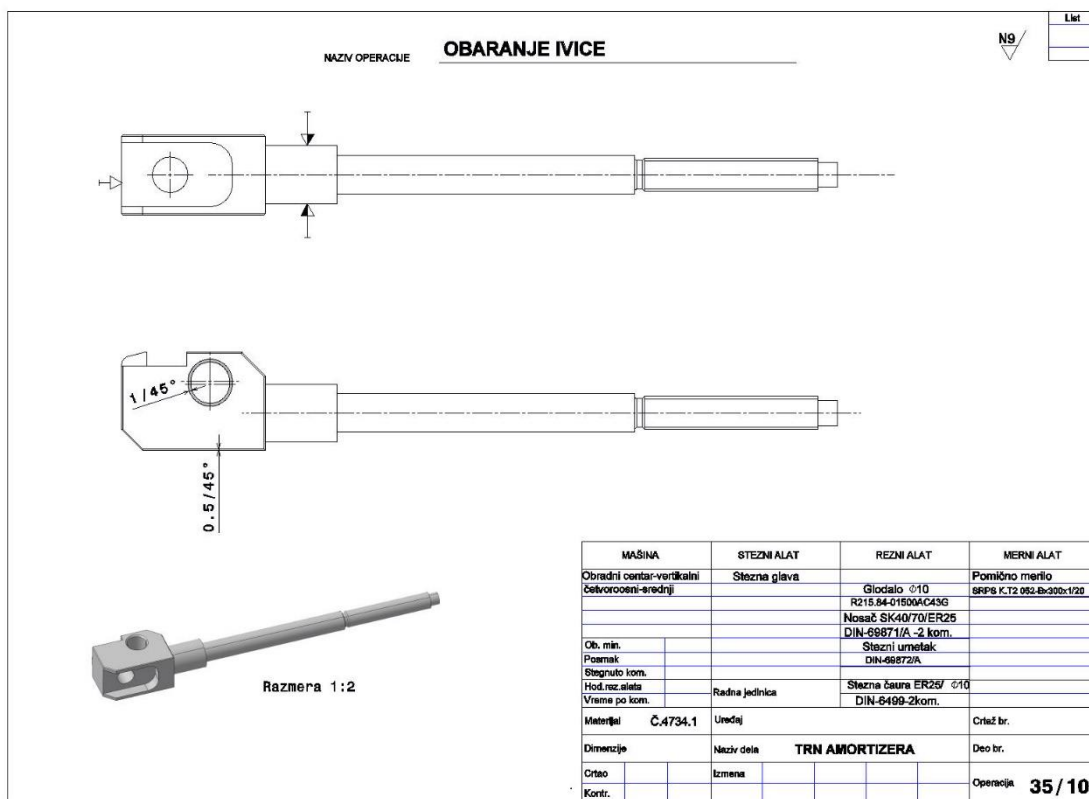


ШЕСТА ОПЕРАЦИЈА- БУШЕЊЕ ОТВОРА



СЕДМА ОПЕРАЦИЈА- ГЛОДАЊЕ



ОСМА ОПЕРАЦИЈА- ОБАРАЊЕ ИВИЦЕ**7.7 Генерисање NC кода трна амортизера**

На основу моделирања и израђене техничке документације врши се генерисање NC кода. Са обзиром на то да се задати предмет обраде обрађује на четвороосном обрадном центру не постоји потреба за његовим окретањем, већ се обрада врши у четвртој оси. Предмет обраде се састоји из цилиндричног дела, добијеног стругањем и призматичног дела чија се обрада врши глодањем. У даљем тексту приказан је NC код намењен практичној изради трна амортизера.

%
 O1235 (TRN AMORTIZERA OP35)
 N5 (REZNI)
 N10 (T1-GLODACKA GLAVA FI63-603381081)
 N15 (T2-GLODALO FI16TM-603211041)
 N20 (T3-GLODALO FI12TM-603211031)
 N25 (T4-BURGIJA 10.8N-602231051)
 N30 (T5-RAZVRTAC C11H10-602621301)

N35 (T6-BURGIJA FI12-602211131)
N40 (T7-GLODALO FI12TM-603211046)
N45 (T8-GLODALO FI10TM-603211043)
N50 (T9-GLODALO FI10TM-603211066)
N55 G0 G17 G80 G40 G90
N60 G54
N65 T1 M6 (GLODACKA GLAVA FI63-603381081)
N70 S800 M3
N75 G0 X26 Y-65 T2
N80 B0
N85 G43 H1 Z50 M8
N90 G1 Z35 F2000
N95 G1 Z26.45 F1000
N100 G1 Y65 F240
N105 Z23.95
N110 Y-65
N115 Z21.45
N120 Y65
N125 Z18.95
N130 Y-65
N135 Z16.45
N140 Y65
N145 Z14.437
N150 Y-65
N155 G1 Z30 F2000
N160 G1 Z100 F3000 M9
N165 B180
N170 G0 X26 Y-65
N175 Z50 M8
N180 G1 Z35 F2000
N185 G1 Z26.45 F1000
N190 G1 Y65 F240
N195 Z23.95
N200 Y-65
N205 Z21.45
N210 Y65
N215 Z18.95
N220 Y-65
N225 Z16.45
N230 Y65
N235 Z14.437
N240 Y-65
N245 G1 Z30 F2000
N250 G1 Z100 F3000 M9
N255 B90
N260 Z50 M8
N265 G1 Z35 F2000
N270 G1 Z26.55 F1000
N275 G1 Y50 F240
N280 Z23.75
N285 Y-50

N290 Z20.95
N295 Y50
N300 Z18.95
N305 Y-50
N310 Z18.15
N315 Y50
N320 Z15.35
N325 Y-50
N330 Z13.35
N335 Y50
N340 G1 Z30 F2000
N345 G1 Z100 F3000 M9
N350 T2 M6 (GLODALO FI16TM-603211041)
N355 S1800 M3
N360 G0 X-12 Y0 T1
N365 G43 H2 Z50 M8
N370 G1 Z20 F2000
N375 G1 Z9.6 F1000
N380 G1 G41 D2 Y-11.5 F300
N385 G1 X32 F200
N390 G3 X40 Y-3.5 R8
N395 G1 Y3.5
N400 G3 X32 Y11.5 R8
N405 G1 X-12
N410 G40 Y0 F500
N415 G1 Z5.85 F1000
N420 G1 G41 Y-11.5 F300
N425 G1 X32 F200
N430 G3 X40 Y-3.5 R8 F200
N435 G1 Y3.5
N440 G3 X32 Y11.5 R8
N445 G1 X-12
N450 G40 Y0 F500
N455 G1 Z30 F2000
N460 G1 Z100 F3000 M9
N465 B180
N470 T1 M6 (GLODACKA GLAVA FI63-603381081)
N475 S800 M3
N480 G0 X26 Y-50 T3
N485 G43 H1 Z50 M8
N490 G1 Z35 F2000
N495 G1 Z26.65 F1000
N500 G1 Y50 F240
N505 Z24.15
N510 Y-50
N515 Z22.15
N520 Y50
N525 G1 Z30 F2000
N530 G1 Z100 F3000 M9
N535 T3 M6 (GLODALO FI12TM-603211031)
N540 S2500 M3

N545 G0 X15 Y-22 T4
N550 G43 H3 Z50 M8
N555 G1 Z35 F2000
N560 G1 Z19 F1000
N565 G1 G41 D3 X23.1 F500
N570 G1 Y-4.866 F220
N575 G3 X23.1 Y4.866 R8
N580 G1 Y15
N585 X-0.5
N590 Y2.5
N595 X9
N600 Y-2.5
N605 X-0.5
N610 Y-22
N615 G40 G1 X15 F300
N620 Z17.3
N625 G1 G41 X23.1
N630 Y-4.866 F220
N635 G3 X23.1 Y4.866 R8
N640 G1 Y15
N645 X-0.5
N650 Y2.5
N655 X9
N660 Y-2.5
N665 X-0.5
N670 Y-22
N675 G40 X15 F500
N680 Z17.05
N685 G1 G41 X23.1
N690 Y-4.866 F220
N695 G3 X23.1 Y4.866 R8
N700 G1 Y15
N705 X9
N710 Y-22
N715 G40 X17 F500
N720 G1 Z30 F2000
N725 G1 Z100 F3000 M9
N730 T4 M6 (BURGIJA 10.8N-602231051)
N735 S410 M3
N740 G0 X17.25 Y0 T5
N745 G43 H4 Z50. M8
N750 G1 Z35. F2000
N755 G1 Z25 F1000
N760 G99 G83 Z-7.85 R27 F50 Q3.
N765 G80
N770 G1 Z30 F2000
N775 G1 Z100 F3000 M9
N780 T5 M6 (RAZVRTAC C11H10-602621301)
N785 S260 M3
N790 G0 X17.25 Y0 T6
N795 G43 H5 Z50. M8

N800 G1 Z35. F2000
N805 G1 Z25 F1000
N810 G99 G85 Z-7.85 R27 F80
N815 G80
N820 G1 Z30 F2000
N825 G1 Z100 F3000 M9
N830 B90
N835 T6 M6 (BURGIJA FI12-602211131)
N840 G0 X31.75 Y-11 T7
N845 S355 M3
N850 G43 H6 Z50. M8
N855 G1 Z35. F2000
N860 G1 Z16. F1000
N865 G83 Z-16. Q2. R16. F50
N870 G80
N875 G1 Z30 F2000
N880 G1 Z100 F3000 M9
N885 T7 M6 (GLODALO FI12TM-603211046)
N890 S2500 M3
N895 G0 X31.75 Y-11 T8
N900 G43 H7 Z50. M8
N905 G1 Z15. F500
N910 M98 P351 L5
N915 G1 G41 D7 X38.75 F200
N920 Y-10.5 F150
N925 G3 X24.75 Y-10.5 R7.
N930 G1 Y-11.5
N935 G3 X38.75 Y-11.5 R7.
N940 G1 Y-10.5
N945 G1 G40 X31.75
N950 G1 Z30 F2000
N955 G1 Z100 F3000 M9
N960 T8 M6 (GLODALO FI10TM-603211043)
N965 S3000 M3
N970 G0 X45.95 Y-29.1 T9
N975 G43 H8 Z50. M8
N980 G1 Z15. F500
N985 M98 P352 L4
N990 G1 Z-4 F500
N995 X11 Y-28
N1000 G1 G41 Y-20.9 F300
N1005 G1 X8 F200
N1010 G1 X2.223 Y-19.352
N1015 G2 X0 Y-16.45 R3
N1020 G1 X0 Y-10.435
N1025 G40 X-7
N1030 Z20 F500
N1035 X4.55 Y20.3
N1040 Z15
N1045 M98 P353 L4
N1050 G1 Z30 F2000

N1055 G1 Z100 F3000 M9
N1060 T9 M6 (GLODALO FI12TM-603211066)
N1065 S2800 M3
N1070 G0 X31.75 Y-11 T1
N1075 G43 H9 Z50. M8
N1080 G1 Z18. F500
N1085 Z14.237
N1090 G1 G41 D9 X38.55 F300
N1095 Y-10.5 F250
N1100 G3 X24.95 Y-10.5 R6.8 F250
N1105 G1 Y-11.5 F300
N1110 G3 X38.55 Y-11.5 R6.8 F250
N1115 G1 Y-10.5
N1120 G40 G1 X31.75
N1125 Z18 F500
N1130 X-7 Y-19.3
N1135 Z13.937
N1140 G1 G41 X0 F300
N1145 Y5.85
N1150 X9.5 Y13.35
N1155 X51.5
N1160 Y-13.65
N1165 X43 Y-22.15
N1170 X21.1
N1175 G40 Y-28
N1180 G1 Z30 F2000
N1185 G1 Z100 F3000 M9
N1190 B180
N1195 G0 X21.1 Y28.465
N1200 SZ50. M8
N1205 G1 Z18 F500
N1210 Z13.937
N1215 G1 G41 Y22.15 F300
N1220 X43
N1225 X51.5 Y13.65
N1230 Y-13.35
N1235 X7.5
N1240 X0 Y-5.85
N1245 Y19.3
N1250 G40 X-7
N1255 G1 Z30 F2000
N1260 G1 Z100 F3000 M9
N1265 G91 G28 Y0 Z0 M5
N1270 M30
%

8 Закључак

Бурни развој производних система у XX веку показује да је физички рад човека могуће успешно заменити радом машине. Блиска будућност сигурно доноси нова решења у управљању и аутоматизацији производње и флексибилних производних система, што је у уској вези са креативним радом човека. Наравно, човек и даље остаје главни чинилац у развијању и одржавању већ остварене технологије. Његову креативност за сада не може да замени рад машине.

Развој микрорачунарске технике и сензора уз стално опадање цене по упоредној јединици (нпр. биту меморије) омогућиће још интензивнију примену ових технологија у области управљања производњом. Увођење *NC* и *CNC* технологија у производне системе мења структуру обрадних система, захтева другачије праћење и управљање процесима и производњом, утиче на промену структуре рада у домену програмирања, припреме, контроле, итд.

Примена *NC* и *CNC* технологија показује предности које нуде ове технологије у односу на класичне производне технологије, које се пре свега огледају у смањењу директног рада, а у неким случајевима и индиректног рада. При томе се област људског рада помера ка области креативног рада, где је задовољство на раду је један од додатних фактора за повећање продуктивности рада.

Ефикасна експлатација савремених технолошких система се не може замислити без примене рачунара и *CAD/CAM/CAE* програмских система најновије генерације. Основни разлози за то су брзина и квалитет пројектовања и израде производа што су неопходни предуслови за његов успешан век на тржиштима модерног света. При томе се као узор производње у будућности најчешће помиње концепција рачунаром интегрисане производње (*CAM*) која обухвата интеграцију свих активности, применом рачунара, у производном процесу почев од фазе планирања до реализације производа, укључујући и примену најсавременијих Internet и Intranet комуникација између учесника у том процесу. Један од важних сегмената тако конципираног производног процеса представља и процес аутоматизованог програмирања, односно аутоматизоване израде управљачких програма за управљање нумерички контролисаним машинама алаткама, што се реализује применом *CAM (Computer Aided Manufacturing)* програмских система [3].

Ради успешнијег и квалитетнијег програмирања, програмер мора имати знање и искуство из области машинског инжињерства, мора да познаје алате, технике пројектовања стезног прибора, коришћење параметара обрадивости, функционисање машина алатки, обрадне процесе, итд.

Конкретно овај мастер рад је имао за циљ да прикаже основе програмирања *CNC* машина алатка, принципе пре свега аутоматског програмирања. Дата је основна структура *CNC* машина, координатни системи, карактеристичне тачке као и веза између њих.

9 Литература

- [1] Богдан Недић, *"Савремени обрадни системи"*, Машински факултет, Крагујевац 2008;
- [2] Арсовски С, Перовић М., *"Флексибилна аутоматизација"*, Машински факултет, Крагујевац 1994;
- [3] Девичић Горан, *"Софтверска решења CAD/CAM система"*, Машински факултет, Крагујевац 2004;
- [4] Душан Војиновић, *"Програмирање NU машина алатки"*, Дипломски рад, Крагујевац 2014;
- [5] Богдан Недић и Миодраг Лазић, *"Обрада метала резањем"*, Машински факултет, Крагујевац 2007;
- [6] Ковачевић Р., *"Алатне машине са нумеричким и компијутерским управљањем"*, Београд 1987.
- [7] Соња Којић, *"Нумерички управљане машине алатке и њихово програмирање"*, Дипломски рад, Крагујевац 2010;
- [8] Техничка документација фирме *"ZASTAVA ORUŽJE" D.P*

Коришћене итернет адресе:

- http://www.hsmworks.com/docs/cncbook/en/#Ch08_LatheComponents, Јун 2016;
- http://menso88.weebly.com/uploads/1/7/5/8/17586891/nc_i_cnc_masine.pdf, Јун 2016;
- <https://www.scribd.com/doc/51270581/68/Obradni-centri>, Јун 2016;
- <https://www.scribd.com/doc/241316955/Cnc-Tehnologije-Marija>, Јун 2016;
- <http://www.cncauto.com/>, Јун 2016;
- <http://www.3ds.com/products-solutions/>, Јун 2016;
- <http://www.ibm.com/solutions/plm/>, Јун 2016.