

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милош Ж. Рашић

Компјутерско нумерички управљани рутери
Завршни рад

Крагујевац 2016.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 35/2013

Милош Ж. Рашић
Компјутерско нумерички управљани рутери
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба извршити систематизацију и прикупљање података о CNC/NC машинама алаткама са нагласком на CNC рутере. Такође приказати и објаснити структуру, начин управљања, вођења, програмирања ових машина као и дати пример моделирања једног CNC рутера.

Препоручена литература

[1] L.Norberto López de Lacalle

[2] Intro to CNC Vectric 2013

[3] Understanding CNC routers

Крагујевац, 2016.

Ментор
Проф. Др Богдан Недић

Резиме

У овом раду приказане су CNC/NC технологије са нагласком на CNC рутере, такође је приказан и пример пројектовања једног CNC рутера. Кроз овај рад су приказане и детаљно објашњене механичке и електричне компоненте CNC машина алатки њихов начин рада, врсте структуре самих машина и врсте материјала које се користе при изради ових машина. Приказане су и CNC машине алатке за обраду дрвета, метала коришћењем различитих врста алата. Такође су приказане и објашњени принципи рада CNC машина алатки које за обраду користе ласер, плазму, водени млаз.

Кључне речи: CNC, рутер, машине алатке

Abstract

In this work are shown CNC/NC technologies with focus to CNC routers, also is shown one example of designing one CNC router. Through this work is shown and detail explained mechanical and electronic components of CNC machine tool, their work methods, types of structure and materials used for designing this machines. There are shown CNC machine tools for processing wood and metal using different types of tools. Also are show and explained work principles of CNC machine tools for laser, plasma and waterjet processing.

Key words: CNC, router, machine tools

Увод

Људски род се од свог настанка кроз векове мењао, напредовао и усавршавао. У почетку је користио камен за обарање плодова са дрвећа и оруђе од дрвета за лов. Временом се усавршавао у осмишљању и производњи оруђа за лов која би му олакшала сам долазак до хране. Тако је кроз векове усавршавања дошао до садашњих савремених машина и алата. Тако је човек кроз еволуцију све више напредовао и проналазио начине да у што већој мери олакша себи задовољавање својих потреба.

Први ручни алати су били једноставне конструкције и нису захтевали умни рад, већ се све сводило на коришћење физичке снаге. Са развојем машина мењао се и начин управљања тим машинама.

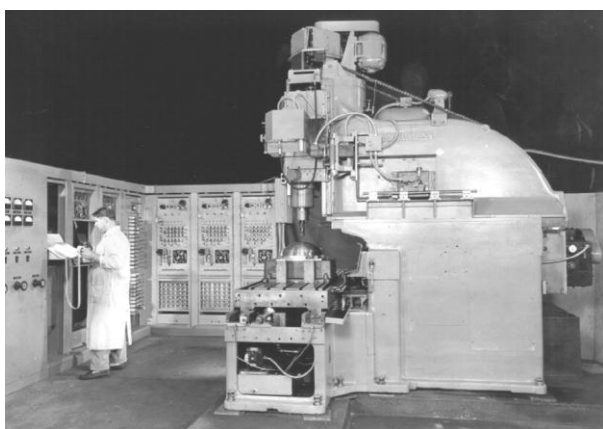
Када су почели да се користе уређаји за аутоматско управљање машинама оне добијају нове могућности и особине. Смањује се физичко учешће човека у управљању, а самим тим се искључује грешка људског фактора. Истовремено се повећава продуктивност, ефикасност и економичност тих машина. Употребом машина које користе програм за аутоматско управљање постиже се већа тачност израде, подједнак квалитет израђених комада, а смањују се трошкови производње по јединици комада. Те машине се називају CNC машине алатке.

1. Основи CNC/NC технологија и основни појмови	1
1.1 Начин управљања NC/CNC машинама.....	2
1.2 Разлике између CNC и конвенцијалних машина алатки.....	3
1.3 Врсте и структура CNC машина алатки	4
1.3.1 CNC глодалице и њихова структура	4
1.3.2 CNC стругови и њихова струкутра	5
1.3.3 CNC машине за пробијање и њихова структура.....	6
2. Структура CNC рутера	7
2.1 Типови структуре CNC рутера.....	7
2.2 Структурни материјали	11
3. Клизне површине CNC рутера.....	12
3.1 Равне клизне површине	12
3.2 Клизне површине са кугличним и цилиндричним додиром.....	13
4. Главно и помоћно кретање CNC рутера	14
4.1 Помоћно кретање CNC рутера.....	14
4.1.1 Корачни (Step) мотори	14
4.1.2 Серво мотори	16
4.1.3 Предности и мане корачних и серво мотора	17
4.2. Претварачи кретања код CNC рутера	18
4.2.1. Завојно вретено.....	18
4.2.2 Зупчаник-зупчаста летва	19
4.2.3 Каишни преносник.....	19
4.3 Погон главног кретања	20
5. Програмирање CNC рутера	21
5.1 Карактеристичне тачке CNC рутера.....	22
5.2 Координатни систем CNC рутера.....	22
5.3 Ручно програмирање.....	23
5.4 Програмирање помоћу рачунара	24
6. Подела CNC рутера.....	25
6.1 CNC рутери за обраду дрвета.....	25
6.2 CNC рутери за обраду метала	27
6.3 CNC рутери за обраду метала просецањем	29
6.3.1 CNC рутери за обраду плазмом	29
6.3.2 CNC рутери за обраду ласером.....	30
6.3.3 CNC рутери за сечење воденим млазом (Water-jet).....	31
7. Пример пројектовања CNC рутера.....	32
7.1 Структура пројектованог CNC рутера	36
7.2 Клизне површине пројектованог CNC рутера.....	37
7.3 Претварач помоћног кретања.....	38
7.4 Погон главног кретања	39
7.5 Погон помоћног кретања.....	40
Закључак	42
Литература	43

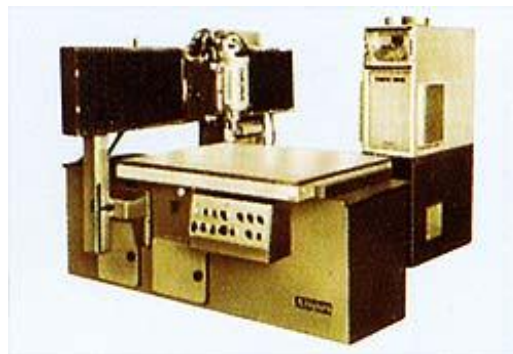
1. Основи CNC/NC технологија и основни појмови

CNC (*Computer Numerical Control*) компјутерско нумерички управљане машине алатке су се појавиле након другог светског рата као потреба индустрије за производњом све комплекснијих делова, као и делова са већом тачношћу уз истовремено одржив висок квалитет. Многе CNC машине могу да врше своју функцију без додатних надгледања човека, што елиминише грешке које може човек узроковати. Такође је време обраде дато програмски и може се веома прецизно одредити.

Еволуција CNC машина почиње са NC (*Numerical Control*) нумерички управљаним машинама крајем четрдесетих година и почетком педесетих година прошлог века. John T. Parsons је развијао у сарадњи са MIT-ом (*Massachusetts Institute of Technology*) NC а касније и CNC технологије. Прва NC машина се појавила 1952. године (слика 1.1).



Слика 1.1 Прва NC машина алатка [1]



Слика 1.2 Први NC рутер [3]

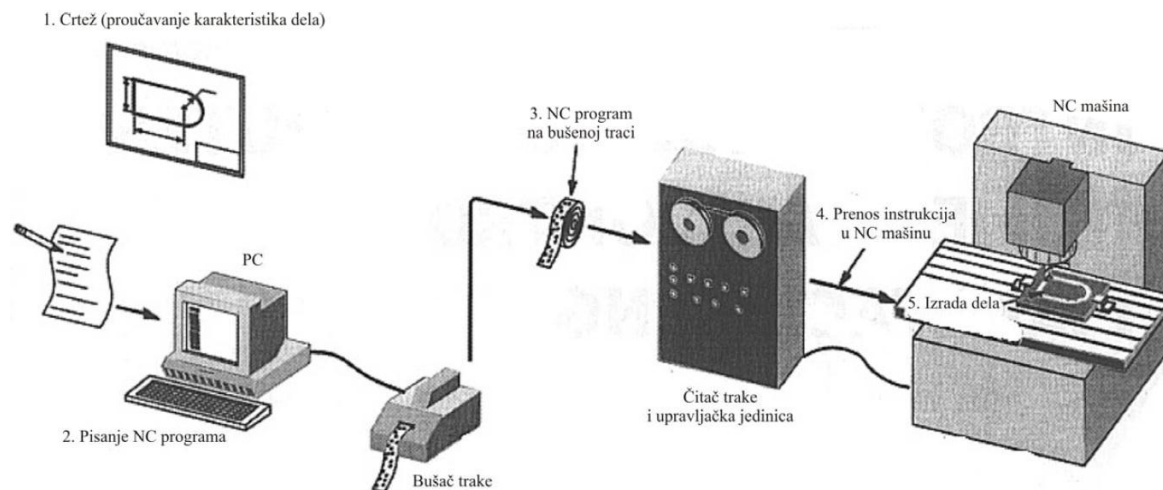
Средином шездесетих година NC технологија је играла кључну улогу у индустрији, у то време није био проблем остварити високо серијску производњу већ је био проблем одржати квалитет производа а највећу улогу је ту имао људски фактор. Развојем NC машина повећана је продуктивност, повећан је ниво квалитета производа и тачност делова као и могућност израде веома сложених производних задатака и операција.

Прва NC машина алатка на нашим просторима се појавила 1969. године у фирми “Првомајска” из Загреба то је била конзолна NC глодалица *SHARMANN FB100* са управљачком јединицом *DEKAMAT*.

CNC рутер је компјутерско нумерички управљана машина алатка најсличнија глодалици, код које се кретање може вршити по више оса истовремено. *Isao Shoda* тврди да је први на свету направио NC рутер за обраду дрвета (слика 1.2) и изложио га на интернационалном сајму у Осаки 1968. године. Крајем 70-их година прво су се појавиле NC бушилице за обраду дрвета и могле су да померају бургију од једне тачке до друге и да буше рупе.

1.1 Начин управљања NC/CNC машинама

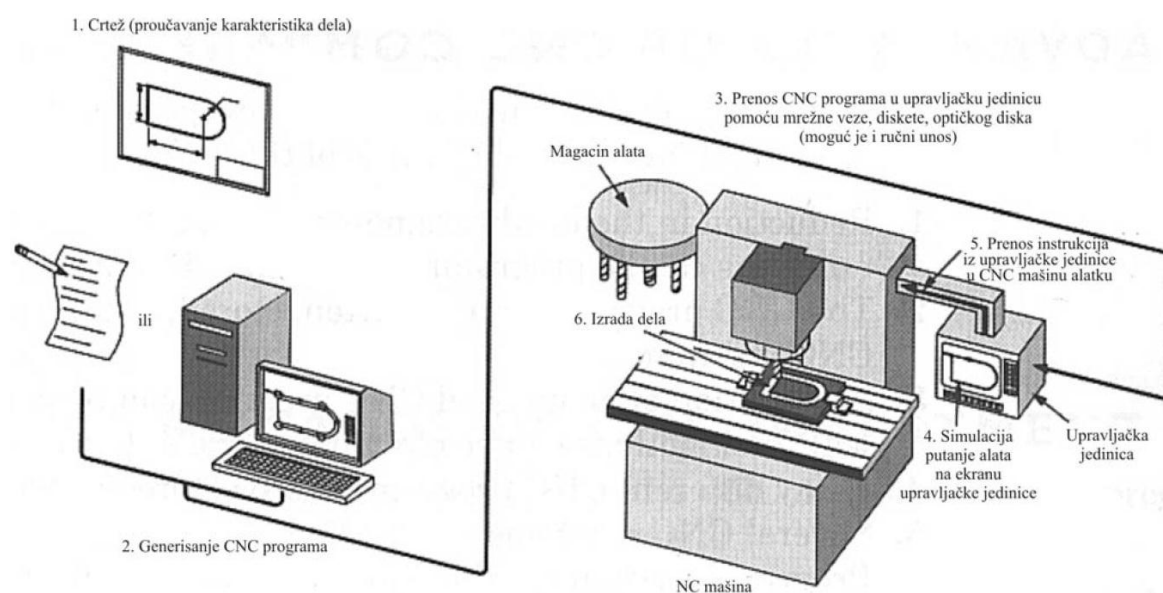
Управљање NC машинама алаткама (слика 1.3) се одвија путем рачунарског програма унетог у управљачку јединицу машине. Првобитне верзије NC машина су захтевале унос програма путем бушених трака.



Слика 1.3 Управљање NC машинама алаткама [4]

Програми су се писали помоћу рачунара, пребацивали на папирне траке уз помоћ бушача траке, а затим се носиле траке до машине и учитавале се у управљачку јединицу помоћу читача траке. Ова врста уноса програма је стварала велике проблеме, један он најбитнијих је немогућност провере програма пре пуштања у рад, ту су били и други проблеми као што су могућност оштећења трака такође и њихово отежано чување и складиштење.

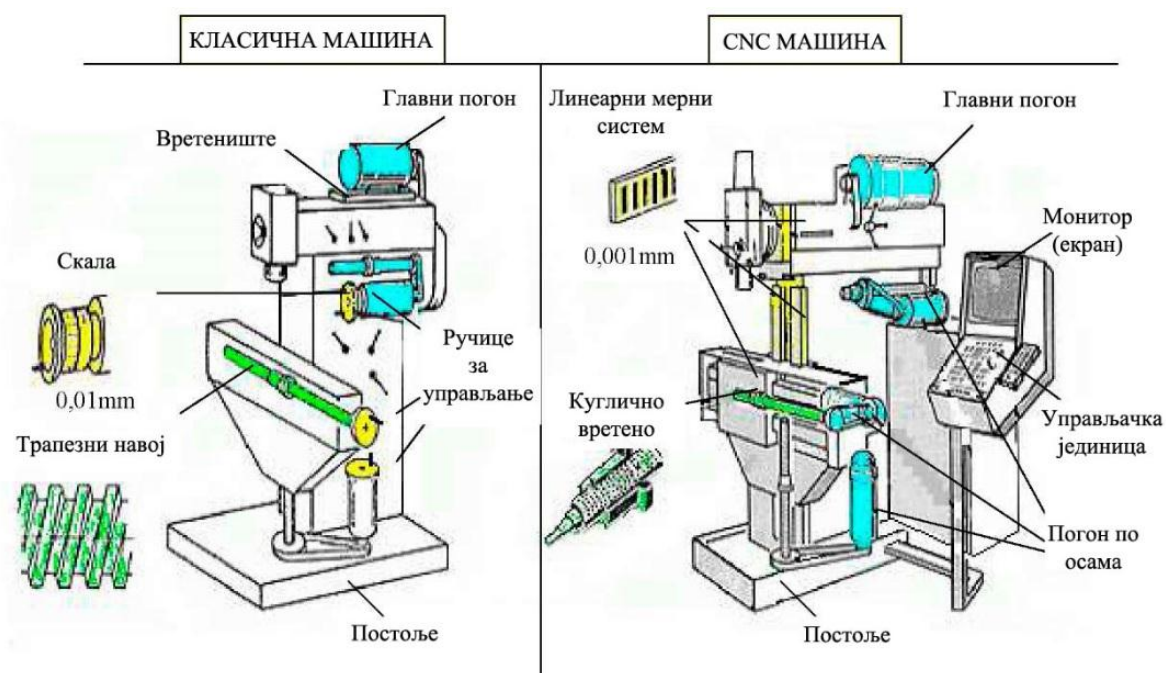
До 70-их и 80-их година бушене траке су доминирале при програмирању ових машина док није дошло до експанзије развоја микропроцесора који су омогућавали да се NC машина алатка директно повеже са компјутером и одатле долази назив CNC машина алатка (слика 1.4).



Слика 1.4 Управљање CNC машинама алаткама [4]

1.2 Разлике између CNC и конвенцијалних машина алатки

CNC машине алатке имају знатно већу прецизност при обради сложенијих делова од конвенцијалних машина алатка (слика 1.5), њихова прецизност позиције и обраде делова је веома висока. CNC машине одликује и велика флексибилност са аспекта измене различитих програма и делова који се обрађују. Прецизност CNC машина алатки се огледа у крутости целокупног система, али такође и у другим факторима као што су убрзање и успоравање по осама, држачима алата као и у стезном прибору. Веома једноставним командама на управљачкој јединици могу се изменити одређени параметри, као и алати са којима се врши обрада. Ова карактеристика је веома битна у данашње време јер је потребно релативно мање времена за израду жељеног дела, али је такође и потребно много мање појединачних машина на којима би се вршиле жељене операције. Стварање ових машина резултирало је смањењем великог броја различитих машина алатки, извесног напора људи као и појаве шкарта. Управљачка јединица садржи у себи рачунар што омогућава лако меморисање, модификацију и доградњу програма, а резултати су видљиви и графички, дводимензионално или тродимензионално, симулирани пре почетка обраде. На слици 1.5 су приказане су битне разлике између CNC машина и класичних машина.



Слика 1.5 Разлика између класичних и CNC машина алатки [25]

1.3 Врсте и структура CNC машина алатки

CNC машине алатке се не разликују много од конвенцијалних машина алатки што се тиче саме структуре. Уз одговарајућу модификацију могуће је у скоро сваку конвенцијалну машину претворити у компјутерски управљану. Тако имамо компјутерски управљане машине алатке: рутере, глодалице, стругове, машине за пробијање и просецање и сл.

1.3.1 CNC глодалице и њихова структура

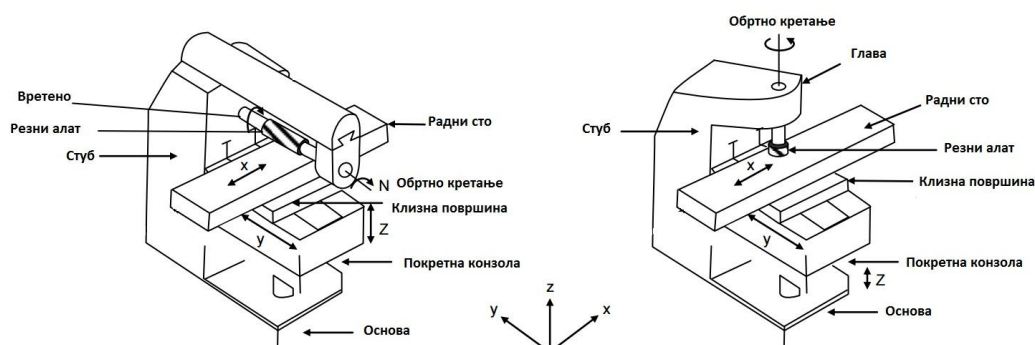
Глодалице спадају у групу машина алатки за обраду материјала резањем. Могу обрађивати делове у великом распону димензија и величина, као и различите врсте материјала како метала тако и неметала. Код глодалица главно кретање је обртно и врши га алат, док радни сто са предметом обраде врши помоћно праволинијско кретање.

Компјутерски управљане глодалице су у принципу исте као и конвенцијалне глодалице са том разликом што их покреће рачунар а не човек. Веће су прецизности и тачности од класичних глодалица због употребе модернијих клизних површина и мерних система. CNC глодалице као и конвенцијалне могу бити хоризонталне и вертикалне (слика 1.6). CNC глодалице се углавном изводе као 2 и 2 ½ D машине. Код 2D машина могуће је остварити кретање само по две осе док 2 ½ D машине могу вршити кретање по све три осе али се операција резања извршава по само две осе.



Слика 1.6 Хоризонтална и вертикална CNC глодалица [31]

Структура CNC глодалица је углавном отвореног С или G типа (слика 1.7). Радни простор је приступачан али је оваква структура осетљива на термална ширења. У зависности од тога да ли је глодалица хоризонтална или вертикална зависи тип структуре. Основа се састоји из вертикалног стуба на једном крају. Постоји још једна основа, покретна конзола, која служи као радни сто на коме су уз помоћ различитих елемената осигурава предмет обраде од померања. Структура самих CNC глодалица може бити ливена или изведена као заварена конструкција.



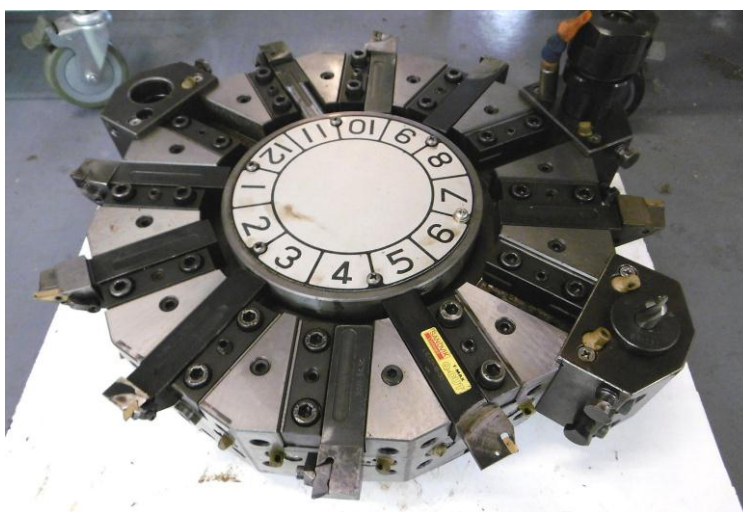
Слика 1.7 Структура CNC глодалица [31]

1.3.2 CNC стругови и њихова структура

Стругови су машине алатке које спадају у групу машина за обраду резањем. Могу обрађивати делове различитих димензија и величина, такође и различитих материјала. Код стругова главно кретање је праволинијско и врши га алат док предмет обраде учвршћен у стезној глави врши обртно кретање.

Компјутерски управљани стругови (слика 1.9) су по структури исти као и класични стругови осим што се програмирање и управљање врши помоћу рачунара. Такође су веће прецизности и тачности услед коришћења модернијих клизних површина као и мерног система.

Све се више користе такозвани револвер стругови код којих се у револвер главу стављају алати потребни за обраду предмета, на овај начин је смањено потребно време израде комада. Револвер глава (слика 1.8) може садржати преко десет различитих алата. Измена ових алата је у потпуности аутоматизована па се смањује грешка утицаја човека.



Слика 1.8 Револвер глава са алатима [32]

Структура CNC стругова је отвореног типа. Приступачност машине је велика. Конструкција је углавном ливена. Структура се састоји из једног блока на коме се налазе клизне површине. Мора бити крута да би издржала статичка и динамичка оптерећења.



Слика 1.9 CNC струг [32]

1.3.3 CNC машине за пробијање и њихова структура

CNC машине алатке за пробијање су машине које уз помоћ алата одговарајућег облика врше обраду. Алат код пробијачица се састоји из матрице и пробојца и свлакача (слика 1.10). Ови алати могу бити разних облика и величина у зависности од потребе корисника. Алати могу да при једном радном ходу извршавају пробијање само једног отвора, али такође постоје специјално пројектовани алати код којих се истовремено пробија више отвора. CNC пробијачице имају велике магацине са алатима, процес замене алата је у потпуности аутоматизован. Такође је могуће додатним елементима обезбедити потпуно аутоматизовано довођење лима и одвођење отпада. Данас ове машине углавном садрже и ласер који служи да се након извршених операција пробијања врши опсецање материјала. Постоје и пробијачице које не садрже ласер па се опсецање врши узастопним ударцима одређеним алатом док се не добије потребна контура. Пробијачице могу бити за обраду метала и просецањем и пробијањем. Са технолошког аспекта нема разлике између ове две операције, разлика између ове две операције је да ли је потребна спољашња или унутрашња контура. Пробијање се врши на лимовима различитих дебљина.



Слика 1.10 Различити алати CNC пробијачица [34]

Структура може бити отвореног и затвореног типа (слика 1.11) у зависности од произвођача али и потребе корисника. Конструкција пробијачица може бити изведена као ливена али је најчешће израђена као заварена конструкција из плоча велике дебљине. Постоље је неопходно амортизовати одређеним амортизујућим елементима услед велике силе пробијања. Тачност и крутост су одређени савременим клизним површинама велике статичке и динамичке носивости услед велике масе покретних делова.



Слика 1.11 Пробијачица отвореног и затвореног типа [34]

2. Структура CNC рутера

Структура машина алатки мора да носи све делове машине али исто тако мора и да издржи силе које су последица процеса који се обављају на самој машини и да има високу крутост што је од кључног значаја за прецизност саме машине. Са друге стране структура машине мора да има висок ниво пригушивања вибрација. Два типа главних елемената сваке машине алатке су постоље на коме се налази машина и радни сто.

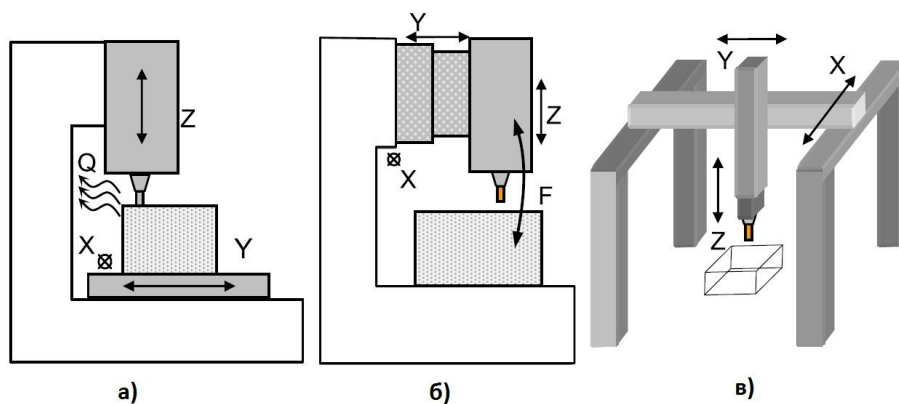
Постоље машине може бити израђено из једног блока или спојено из више различитих елемената раскидивом или не раскидивом везом између тих елемената.

Такође битан елемент је радни сто машине на коме се налази предмет обраде или припремак који је фиксиран за радни сто уз помоћ одговарајућег стезног прибора или на неки други начин као што су вакум столови, електро-магнетом и сл.

2.1 Типови структуре CNC рутера

Структура машина алатки може бити отвореног и затвореног типа. Код CNC рутера структура је отвореног типа па је и тачност обрађеног дела мања, али што се тиче габарита машине отвореног типа су знатно мање. Постоје три типа структуре CNC машина алатки:

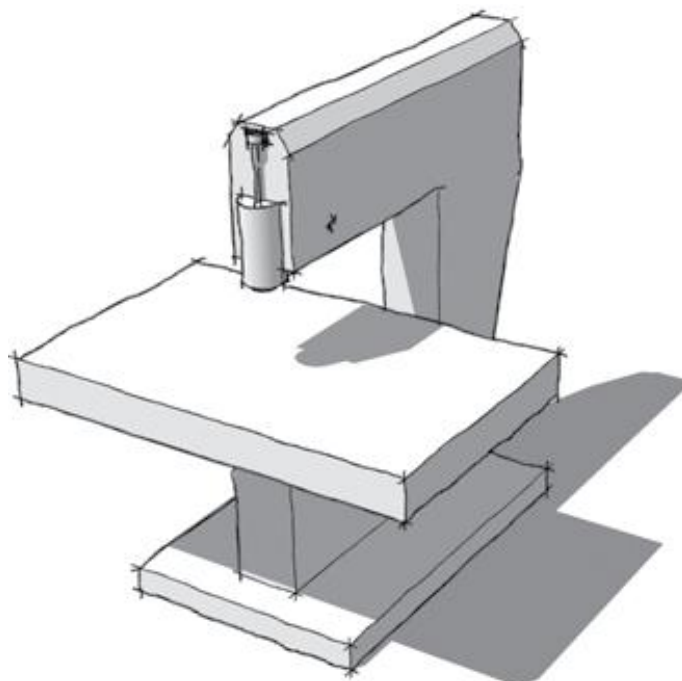
- 1) Машине отвореног типа (Слика 2.1 а) са **C** или **G** конструкцијом веома су заступљене код машина малих димензија, радни простор је веома приступачан али је оваква структура осетљива на термичка и механичка оптерећења као што су савијање и увијање. Предмет обраде врши кретање у два правца (у две осе) **X**, **Y**, заједно са радним столом па маса предмета обраде утиче на механичка оптерећења.



Слика 2.1 Структура CNC глодалица [2]

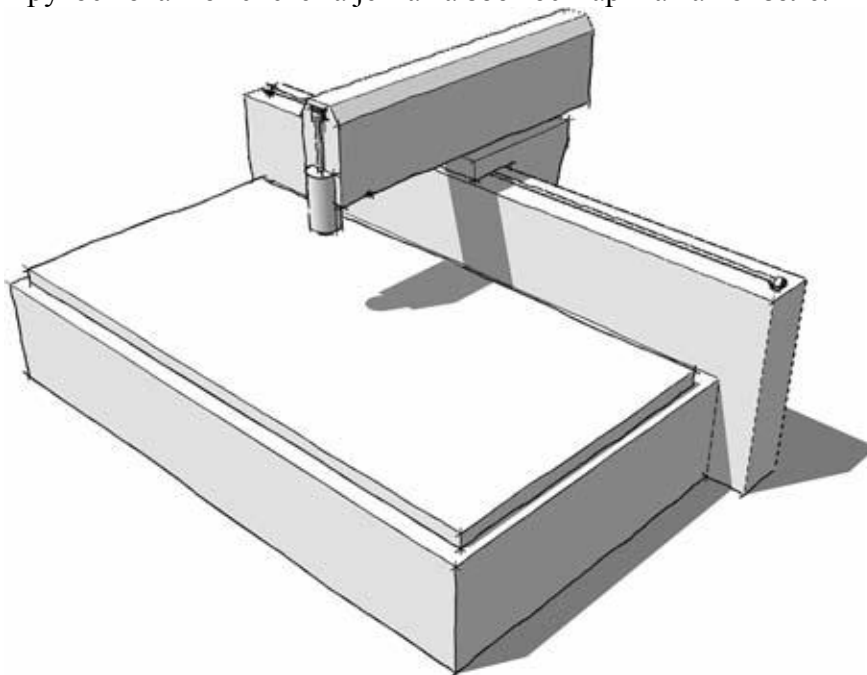
- 2) Са друге стране имамо машине алатке код којих се алат (обрадни центар) креће по две осе **Y** и **Z**, (слика 2.1 б) мање су крутости од претходног случаја, али омогућавају постављање предмета обраде и припрему на самом столу машине уколико је радни сто довољно дугачак на једном крају стола док се у исто време врши обрада.
- 3) Овај тип структуре (слика 2.1 в) користе CNC рутери, порталне глодалице, машине алатке у метрологији, 3D штампачи, машине за сечење плазмом, ласером, водом итд. У зависности од експлоатационих карактеристика машине зависе и њени габарити, па тако се на машинама ове структуре могу обрађивати делови изузетно великих габарита. Код ових машина кретање алата се врши по више оса (3,4,5,6...) али могуће је да се радни сто са предметом обраде креће по **X** оси док алат врши кретање по **Y**, и **Z** осима.

Постоје различити типови структура CNC рутера један од тих типова је и рутер са покретним столом по две осе (слика 2.2). Радни сто са предметом обраде врши кретање по две осе док се алат креће по једној. Овај тип структуре се ређе користи. Употребу налазе у обради делова мањих димензија. Код оваквог типа структуре није много потребно да би се добио крут систем. Обрадни центар се налази на стубу који не сме бити веома дугачак због могућег угиба, па одатле произилази и ограничење за кретање стола.



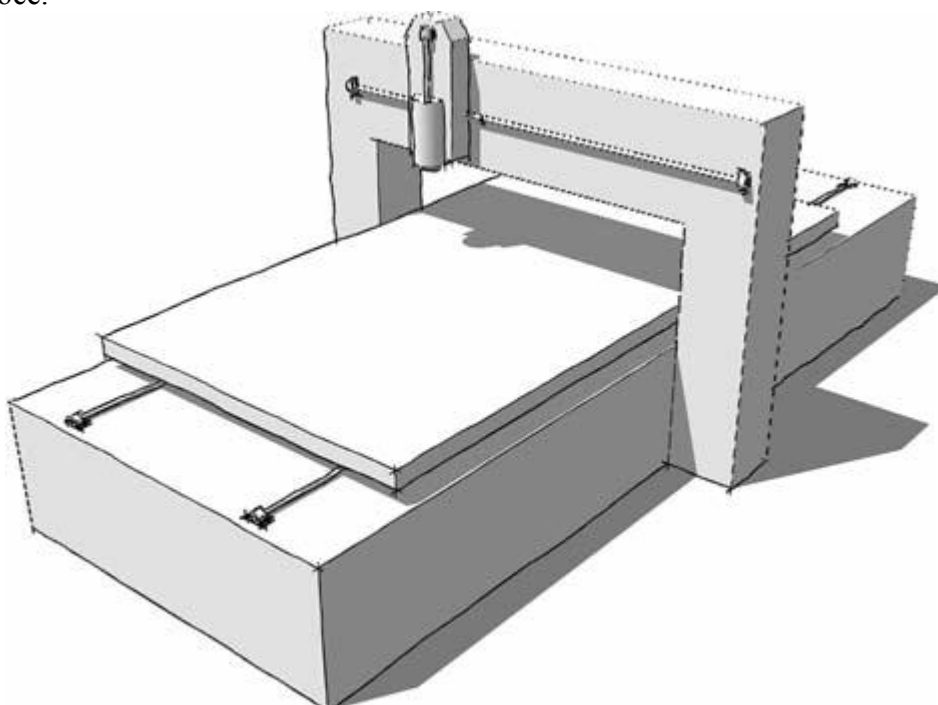
Слика 2.2 Рутер са покретним столом по две осе [3]

Други тип структуре CNC рутера је рутер код кога се обрадни центар креће по три осе (слика 2.3). Овакав тип структуре је погодан за лако постављање и скидање предмета обраде. Крутост оваквог система је мања због остваривања конзоле.



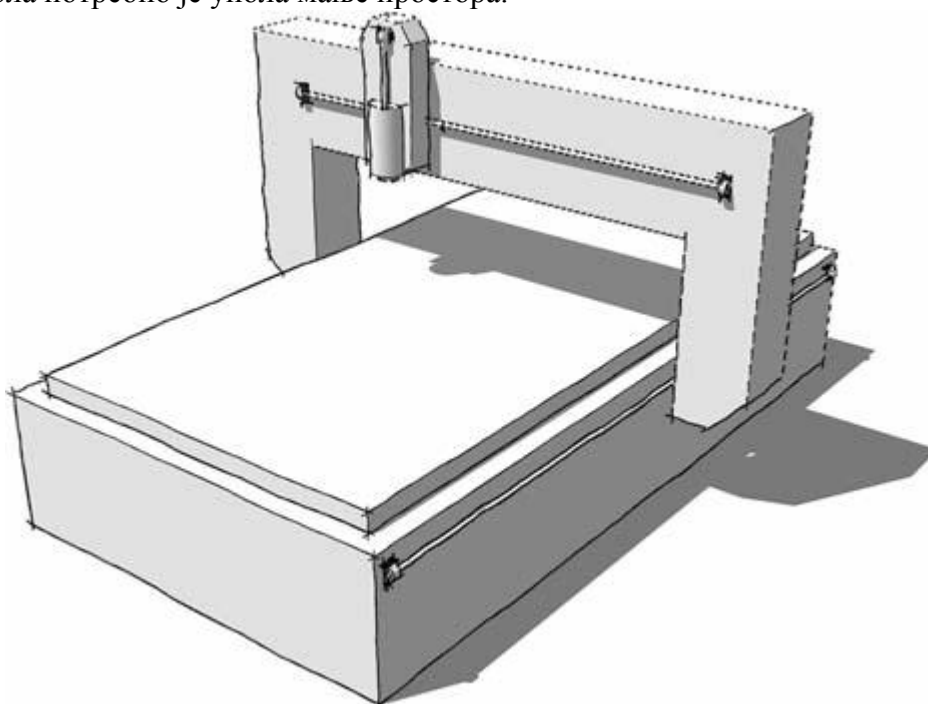
Слика 2.3 Конзолни рутер [3]

Рутер са покретним столом (слика 2.4) је најчешћи тип CNC рутера. Радни сто са предметом обраде врши кретање по само једној оси док обрадни центар се креће по преостале две осе.



Слика 2.4 Рутер са покретним столом [3]

Рутер код кога се обрадни центар креће по све три осе (слика 2.5) је скупљи, због тога што за кретање су му потребни најмање три серво или корачна мотора са адекватном електроником и најмање три завојна вретена. Код ових машина радни сто мирује, па се на радни сто могу постављати делови великих маса. Главна разлика између рутера са покретним столом и овог типа рутера је тај да за исту димензију радног стола потребно је упола мање простора.



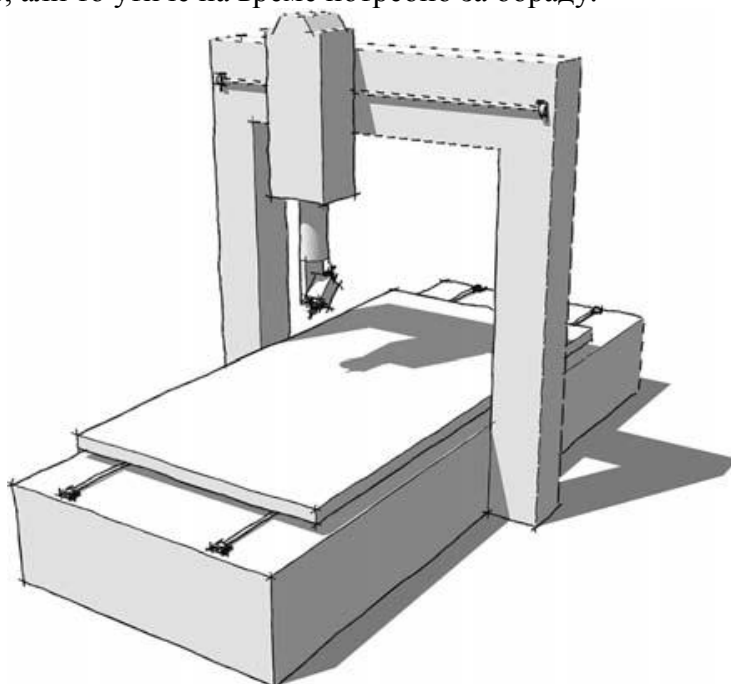
Слика 2.5 Рутер са покретним обрадним центром по све три осе [3]

Рутери са два радна стола код којих се на једном столу врши обрада док се на другом врши припрема. То је од великог значаја код серијске производње где је време кључни фактор. Такође се ове машине израђују и са неколико обрадних центара да би се искоришћене довело до максимума (слика 2.6).



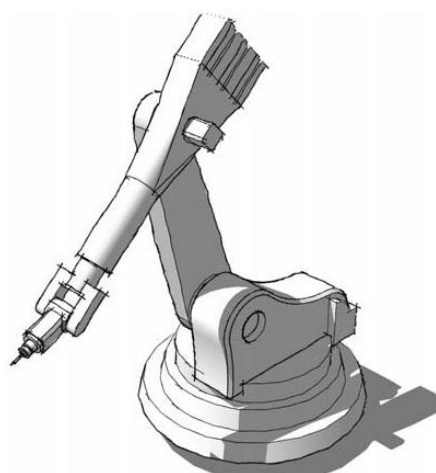
Слика 2.6 Рутер са четири обрадна центра [35]

Петоосни CNC рутери (слика 2.7) се по структури не разликују од троосних рутера. Разлика је та да су додате две нове осе уз помоћ два корачна или серво мотора који се углавном погоне каишем. На овај начин је могуће израдити комплексније делове. Петоосни рутери су осмишљени за израду тродимензионалних делова док троосне машине могу израђивати само дводимензионалне делове. Ход Z осе мора бити већи него код троосних рутера. Већа висина Z осе захтева и високу конструкцију што има значајан утицај на цену али и на крутост и стабилност саме машине. Проблем крутости и стабилности се може умањити коришћењем мањих брзина и убрзања приликом обраде, али то утиче на време потребно за обраду.



Слика 2.7 Петоосни рутер [3]

Индустријски роботи (слика 2.8) све више проналазе намену у индустрији. Веома су прецизни и високе поузданости. Могу извршавати бројне операције у зависности од потребе. Ови роботи имају цену око \$50000 и то укључује само машину, док се адаптери за одређене алате додатно плаћају. Доста се користе и као додаци одређеним машинама и служе за довођење и одвођење предмета обраде, али исто тако уколико им се интегрише одређени обрадни центар могу и сами вршити обраду.



Слика 2.8 Индустијски робот [3]

2.2 Структурни материјали

Машине алатке требају да врше обраду при високим бројевима обртаја уз минималне вибрације. Високи бројеви обртаја узрокују висок ниво вибрација што утуче на тачност саме машине, као што су димензионална одступања предмета обраде или не задовољавање храпавости површина.

Главни захтеви који се стављају пред пројектовање једне машине алатке у погледу избора материјала за структуру су висока крутост, торзиона крутост, мали коефицијент ширења, мала маса делова као и цена самих материјала.

Приликом пројектовања машина алатки код којих је потребно остварити високу прецизност и тачност обраде избор материјала самих компоненти машине игра кључну улогу. Структурни материјали имају велики утицај на масу покретних делова, момент инерције, статичку и динамичку крутост као и на механичке и термалне карактеристике. Радни сто и сама конструкција машине морају бити крути, мале масе и лако обрадиве.

Најчешће коришћени материјали за израду машина алатки су челик и ливено гвожђе, оба материјала пружају високу крутост али и добру цену у односу на квалитет. Челик је најчешће коришћен код заварених конструкција, док код ливеног гвожђа најчешће је коришћен сиви лив који се лије у пешчане калупе.

Сиви лив је најчешће коришћен материјал због своје стабилности, добре ливности и економичности, као и за израду кућишта.

Заварене конструкције се користе код већих машина услед уобичајених проблема ливења великих компоненти и брзине израде. Лоша страна заварених конструкција је заостатак напона заваривања али са друге стране мања им је цена израде од ливених конструкција.

3. Клизне површине CNC рутера

Клизне површине (слика 3.1) су површине или компоненте које су директно повезане за прецизност кретања система по осама као и крутости самог система.

Додирне површине могу бити равне, цилиндричне или кугличне. Клизне површине се састоје из фиксне и покретне компоненте. У зависности од динамичких и статичких оптерећења бира се тип и врста клизних површина. Преднапрезање система мора да се узме у обзир да би се остварио добар контакт између клизних површина. Најважније је да кретање између клизних површина и клизног елемента буде глатко. Углавном се клизне површине са клизним елементима постављају паралелно на одговарајућем растојању да би се добила добра потпора и крутост система.

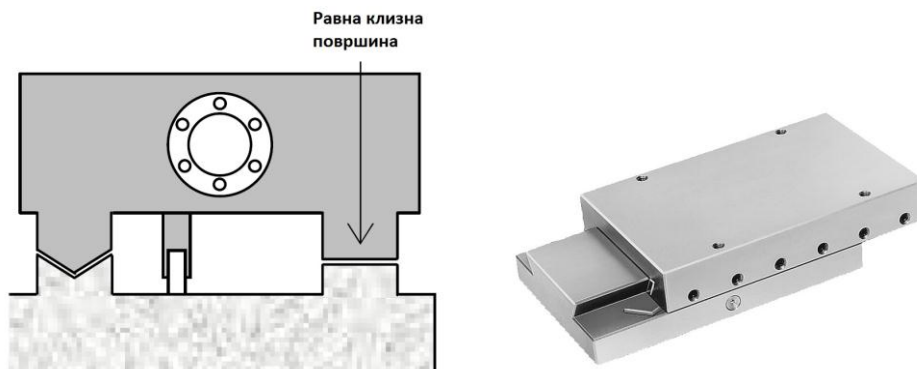


Слика 3.1 Различити типови вођица [24]

3.1 Равне клизне површине

Равне клизне површине (слика 3.2) имају веома висок коефицијент трења и хабања па морају бити константно подмазване што утиче на цену одржавања. Најчешће коришћен тип клизних површина код конвенционалних машина је ластин реп, раван итд.

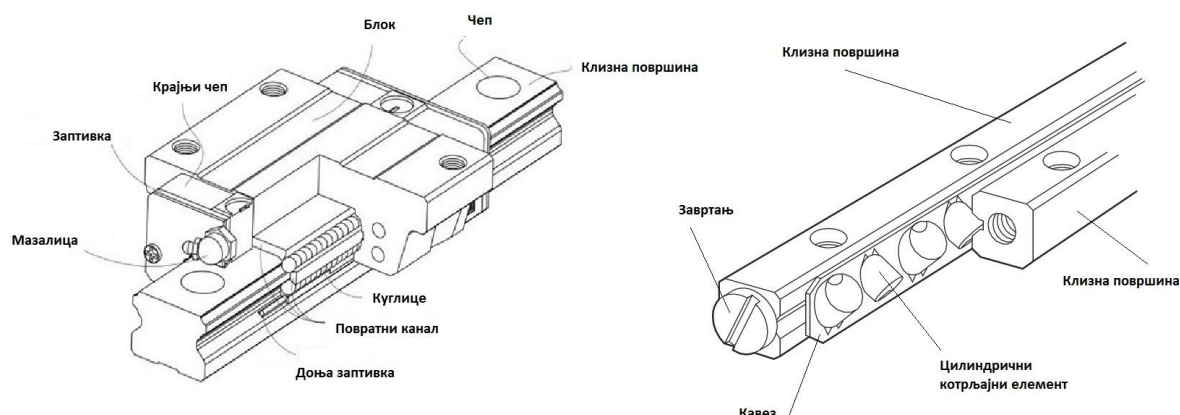
Код клизних површина, површине су одвојене уљаним филмом. Иако су ове површине одвојене уљаним филмом и даље постоје врхови неравнина који изазивају хабање између површина. Уље се мора периодично додавати ради обезбеђивања оптималног режима рада. Ове површине морају имати укопан канал за складиштење уља или масти. Лоша страна овог начина вођења је веома висок коефицијент трења и топлоте при високим брзинама, што утиче на саму прецизност система али и на сам век клизних површина. Клизне површине могу бити израђене заједно са конструкцијом машине па након тога брушене или могу бити израђене посебно па се монтирају на конструкцију раскидивом или нераскидивом везом.



Слика 3.2 Равна клизна површина и ластин реп [2]

3.2 Клизне површине са кугличним и цилиндричним додиром

Код цилиндричних и кугличних додирних површина, трење и хабање су знатно мањи у односу на клизне површине. У данашње време кугласте и ваљкасте додирне површине су стандардне опције код савремених машина.



Слика 3.3 Клизне површине са кугличним и цилиндричним додиром [24]

Елементи за вођење кретања са котрљајућим цилиндричним или кугличним елементима (слика 3.3) се састоје из фиксне компоненте клизне површине и покретног елемента блока. У блоку се налазе котрљајући елементи који могу бити са рецикулацијом или без рецикулације.

Код блокова који имају рецикулационе елементе (куглице) морају имати кавез у коме се куглице налазе. Клизна површина мора имати израђено најмање четири канала по коме ће се те куглице кретати, како би се одузели сви степени слободе осим оног који је потребан за кретање.

Код ових клизних површина преднапрезање је обезбеђено коришћењем куглица незнатно већег пречника. Преднапрезање овог система одређује сам произвођач и може бити различитих вредности у зависности од жељених карактеристика. Преднапрезање је неопходно да би се елиминисали зазори. Такође преднапрезање повећава и крутост овог система, али високе вредности преднапрезања могу довести до повећања трења и хабања што доводи до смањења века трајања елемената овог система.

Елементи за вођење кретања који немају рецикулационе елементе (слика 3.3) служе код система код којих је ход мањи. Састоје се из котрљајућих елемената куглица, ваљка, иглица које су постављене између покретних делова.

Добра страна овог начина кретања је веома висока крутост и носивост система као и велика прецизност кретања због великог броја котрљајних елемената који се могу користити.

Да би овај систем задовољио своју пројектовану функцију неопходно је да се састоји из најмање две клизне површине да би му се одузели сви степени слободе осим оног који је потребан за кретање.

За разлику од клизних површина са рецикулационим елементима, ове клизне површине се користе за кретања малих брзина и малих ходава, али могу поднети веома висока статичка и динамичка оптерећења.

4. Главно и помоћно кретање CNC рутера

4.1 Помоћно кретање CNC рутера

Погон код класичних машина погони све врсте кретања из једног погонског агрегата, док код CNC машина алатки постоји главни погон главног вретена, а померање по осама се постиже оноликим бројем мотора колико је потребно да се одређена кретања остваре. Мотори који се користе за остваривање кретања алата могу бити *Step* (корачни) или *Servo* мотори.

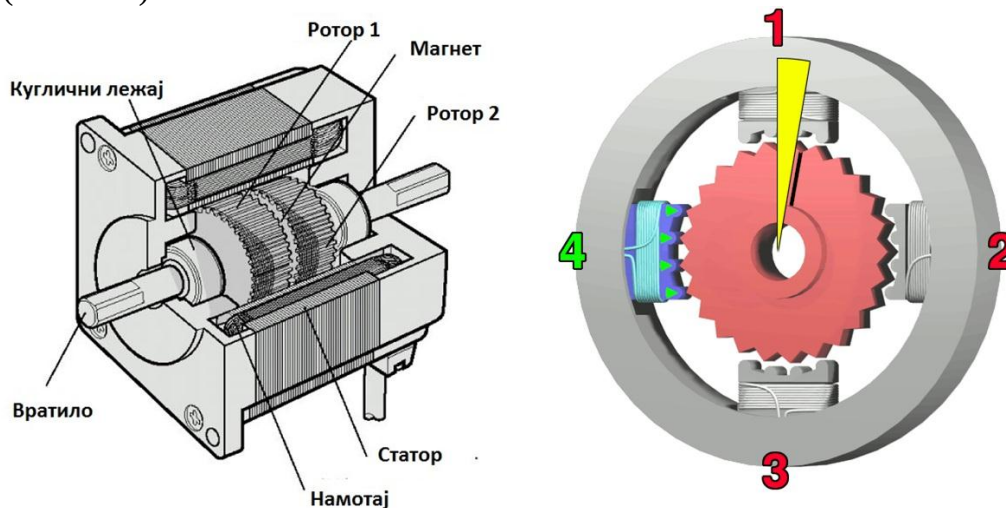
4.1.1 Корачни (*Step*) мотори

Step мотори су мотори једносмерне струје који имају вишеструке калемове који су организовани у групе које се називају фазе. Компјутерски управљани корачни мотори омогућавају веома прецизно позиционирање, зато се они користе код машина где је неопходно веома прецизно одређивање позиције. Долазе у разним величинама и јачинама. При избору корачних мотора неопходно је знати обртни момент мотора. Корачни мотори раде на по принципу тако што претварају дигиталне импулсе у механичко обртање вратила мотора. Свако кретање вратила мотора је подељено на одређен број корака, који су стандардизовани и могу бити подељени на 100, 200, 400 корака (Табела 4.1) такође је могуће да имају и мање корака, а мотору је неопходно за сваки корак довести посебан импулс.

Ugao za 1 korak	Broj koraka za 360°
0.9	400
1.8	200
3.6	100
7.5	48
15	24

Табела 4.1 Табела корака

Корачни мотори крећу се корак по корак и сваки корак је исте величине. Перманентни магнети су назубљени а у центру се налази озубљена осовина од гвожђа (слика 4.1) .

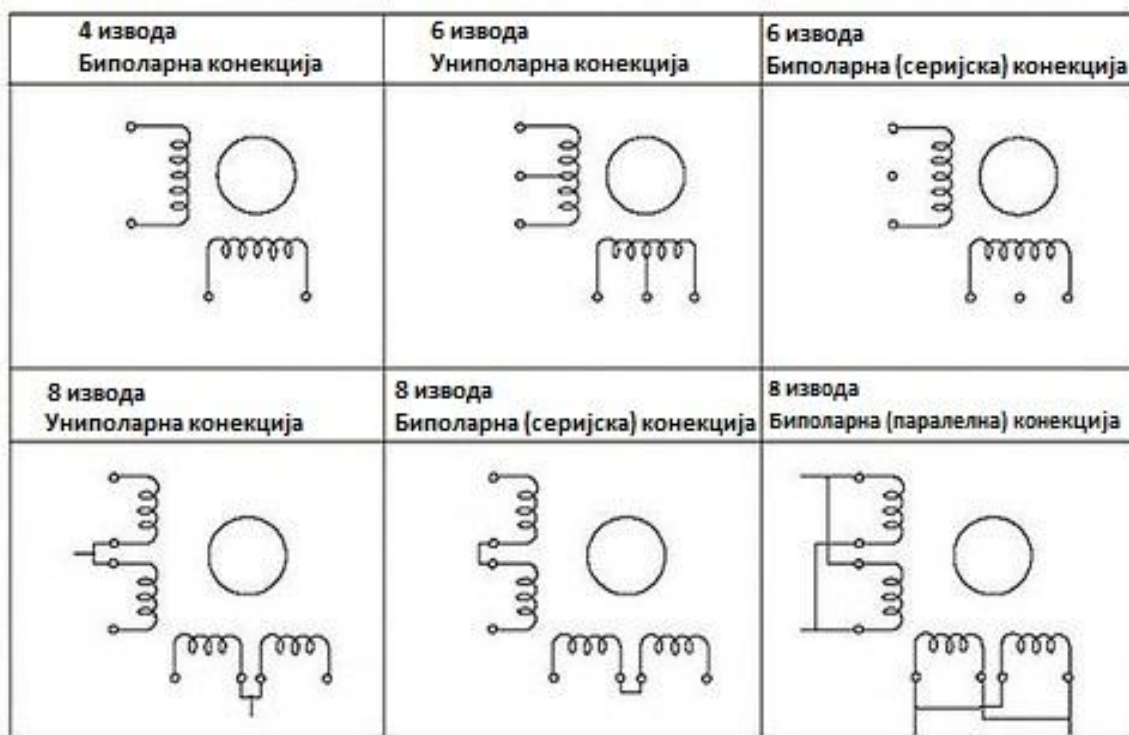


Слика 4.1 Принципијална шема корачног мотора [24]

Како расте фреквенција дигиталног импулса долази до континуалног кретања вратила мотора, а брзина окретања вратила директно зависи од фреквенције импулса. Корачни мотори како имају индустријску намену тако имају и комерцијалну намену због своје приступачне цене, високе поузданости као и великог обртног момента при малим брзинама.

Корачни мотори могу имати пун и полу корак у зависности од побуде мотора. Пун корак се постиже довођењем струје на један намотај, уколико се струја доведе на два суседна намотаја добијамо полу корак.

Корачни мотори се деле на униполарне и биполарне. Ови мотори могу имати 4, 5, 6 или 8 прикључних жица (извода). За разлику од униполарне конструкције, намотаји статора биполарног корачног мотора немају средњи извод на појединачном статорском намотају. Уместо наизменичне побуде једне па друге половине намотаја за постизање промене струје, а тиме и магнетског поља, код биполарних мотора је то могуће извести само променом вредности напона на крајевима намотаја. Корачни мотор са 4 жице је дакле искључиво биполарни и захтева биполарни контролер, а остали мотори могу се покретати и униполарном и биполарном побудом јер се средњи статорски извод може једноставно занемарити, а може се повезати редно и паралелно (Слика 4.2).

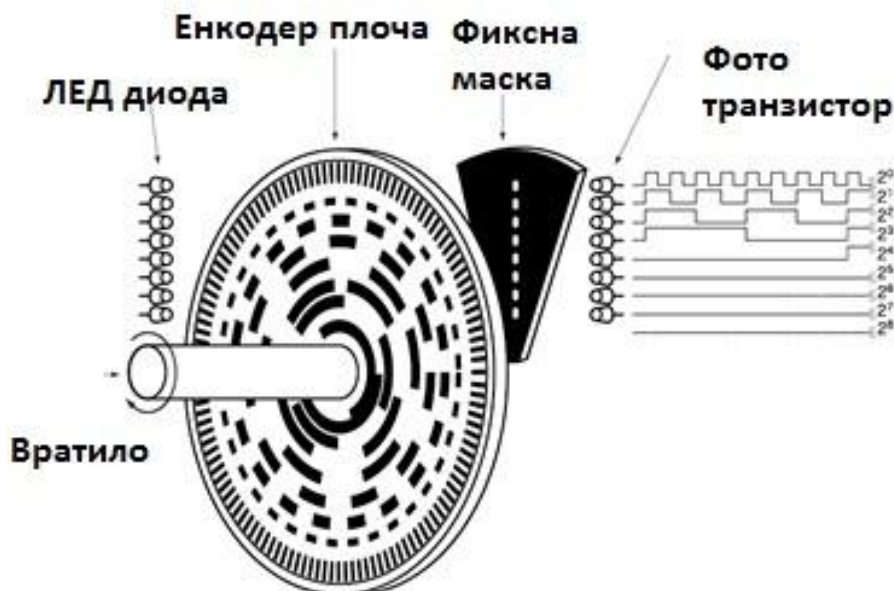


Слика 4.2 Униполарни и биполарни начин везивања [24]

4.1.2 Серво мотори

Поред корачних мотора постоје и серво мотори (Слика 4.3). Серво мотори могу бити мотори наизменичне и једносмерне струје. Серво мотори могу као улазну информацију примати и аналогни и дигитални сигнал.

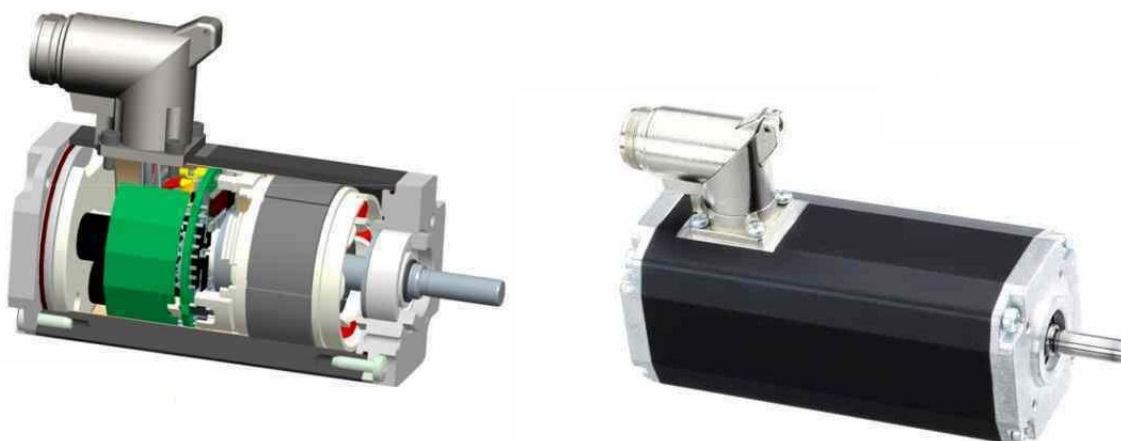
Обавезно садрже енкодер (сензор ротације) који даје тачну позицију ротора у реалном времену.



Слика 4.4 Шема енкодера [22]

Енкодери могу бити једноставније конструкције изведени као обични отпорни потенциометри док са друге стране могу бити веома сложене конструкције. Данас већина енкодера користи ротационе или линијске енкодере, који могу радити на принципу светлости, ласера, магнета итд. Разликујемо апсолутне и релативне енкодере.

Енкодер ради по принципу мерења величине сигнала (отпорност, јачина светлости, температура итд.) или бројањем импулса (Слика 4.5).



Слика 4.5 Серво мотор [21]

4.1.3 Предности и мане корачних и серво мотора

Поједине разлике у перформансама између корачних и серво мотора се могу огледати у самом начину рада ових мотора.

Корачни мотори садрже већи број полова од серво мотора. Једна ротација вратила корачног мотора захтева много више размене струје кроз намотаје од серво мотора. Код корачних мотора обртни момент са порастом брзине опада (График 4.1).

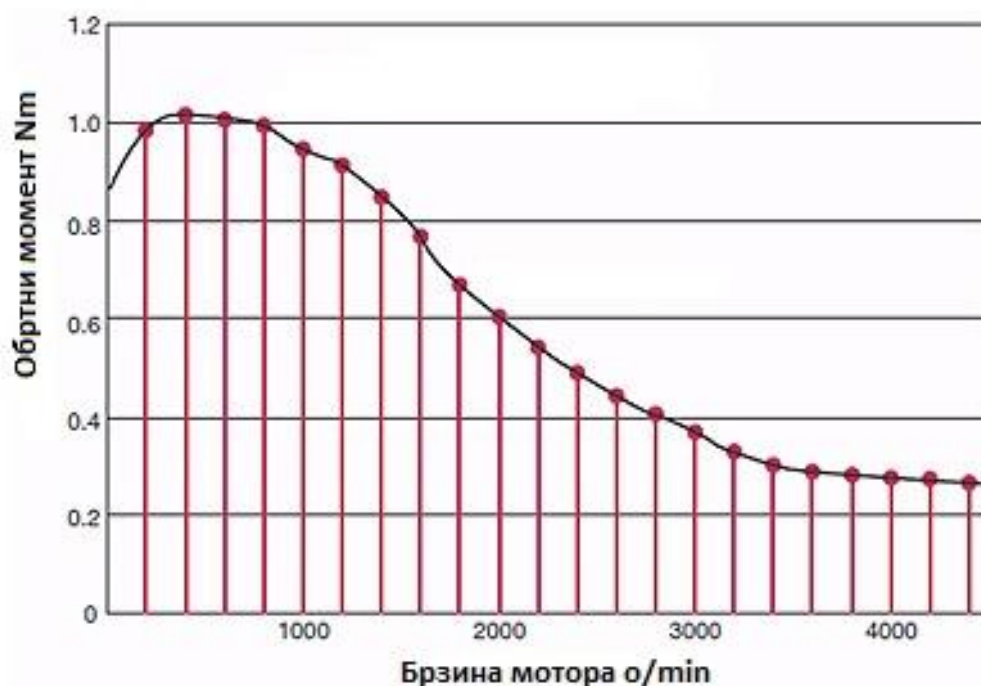


График 4.1 Пример опадања обртног момента са порастом брзине код корачног мотора [20]

Корачни мотори су једноставнији за одржавање. Такође им је и цена нижа и прилагодљива за примену у неким мањим системима. Они могу **“изгубити”** корак уколико се превазиђу њихове прописане могућности.

Серво мотори су одлични за постизање великих брзина и великих обртних момената, али су такође добри и за рад на малим бројевима обртаја. Користе се код система где је потребан веома брз, динамичан одзив и тачан.

Веза између управљачке јединице и мотора остварује се преко драјвера. Који обезбеђују потребне напоне и струју за покретање мотора. Драјвери за корачне и серво моторе нису исти. Избор драјвера се врши на основу великог броја параметара као што су: напон, струја, биполарни, униполарни, серво, корачни итд.

4.2. Претварачи кретања код CNC рутера

4.2.1. Завојно вретено

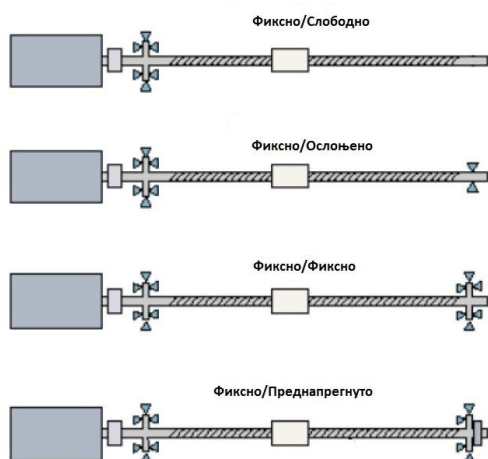
Веома важна компонента CNC машина алатки јесте завојно или вучно вретено, које има улогу да претвори ротационо кретање добијено од мотора у праволинијско. За разлику од конвенцијалних машина, CNC машине имају завојно вретено са рециркулационим куглицама (слика 4.6).



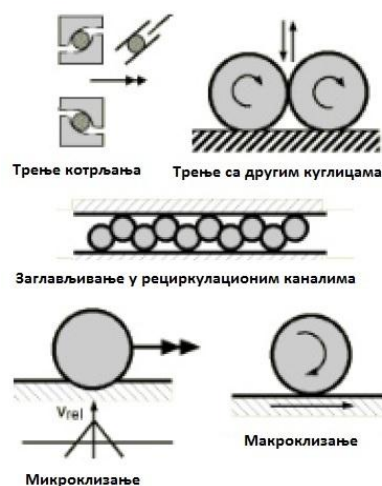
Слика 4.6 Завојно вретено са рециркулационим куглицама [19]

Код конвенцијалних машина алатки најчешће се користе завојна вретена са трапезним навојем и унутар навоја се јавља трење клизања. Код рециркулационих вретена не постоји трење клизања јер је оно замењено трењем котрљања које је постигнуто куглицама. Такође се унутар навртке јављају трење котрљања, трење између самих куглица, макро и микро клизања али такође и због заглављивања куглица у самом каналу за вођење (слика 4.7). Далеко мање трење и већа прецизност и тачност померања је присутна код рециркулационих вретена у односу на класична вретена. Ова вретена морају имати израђене канале у телу навртке кроз које се крећу куглице. Профил завојних канала на вретену и навртки одговара облику котрљајућих елемената. Прецизност израде вретена подељена је у две категорије: Прецизна (C0, C1, C2, C3, C5, C7), Стандардна, универзална (C7, C8, C10)

Начин улежиштења рециркулационих вретена може се извршити на више начина у зависности од експлоатационих карактеристика машине (Слика 4.8).



Слика 4.8 Различити начини улежиштења[25]



Слика 4.7 Трење унутар навртке[25]

4.2.2 Зупчаник-зупчаста летва

Начин претварања обртног кретања у праволинијско коришћењем механизма зупчаник-зупчаста летва (Слика 4.9) се користио у прошлости код машина за велики пренос снаге или велике масе покретних делова. Овај систем је веома једноставан са аспекта конструкције јер се састоји из само две компоненте зупчасте летве и зупчаника. Они морају бити стално подмазани машћу али при експлоатацији долази до контаминације мазивног средства што доводи до оштећења површина у контакту. Временом се површине хабају па се појављују зазори у спрегнутим површинама па се смањује тачност позиционирања. Тачност код овог механизма је одређена и чињеницом да је не могуће изградити апсолутно праву зупчасту летву ни тачан корак.



Слика 4.9 Зупчаник-зупчаста летва [18]

4.2.3 Каишни преносник

Још један начин претварања обртног у праволинијско кретање је коришћењем зупчастог каиша. Овај механизам се састоји из каишника, затезача и каиша (слика 4.10). Користе се код машина слабијег оптерећења и мање покретне масе. Тачан преносни однос уколико немају редукцију је остварен зупчастим каишем. Каиш мора бити затегнут али се експлоатацијом временом истеже па се повећава грешка позиционирања. Мања је емисија буке и вибрација.



Слика 4.10 Зупчасти каиш, каишник и затезач [15]

4.3 Погон главног кретања

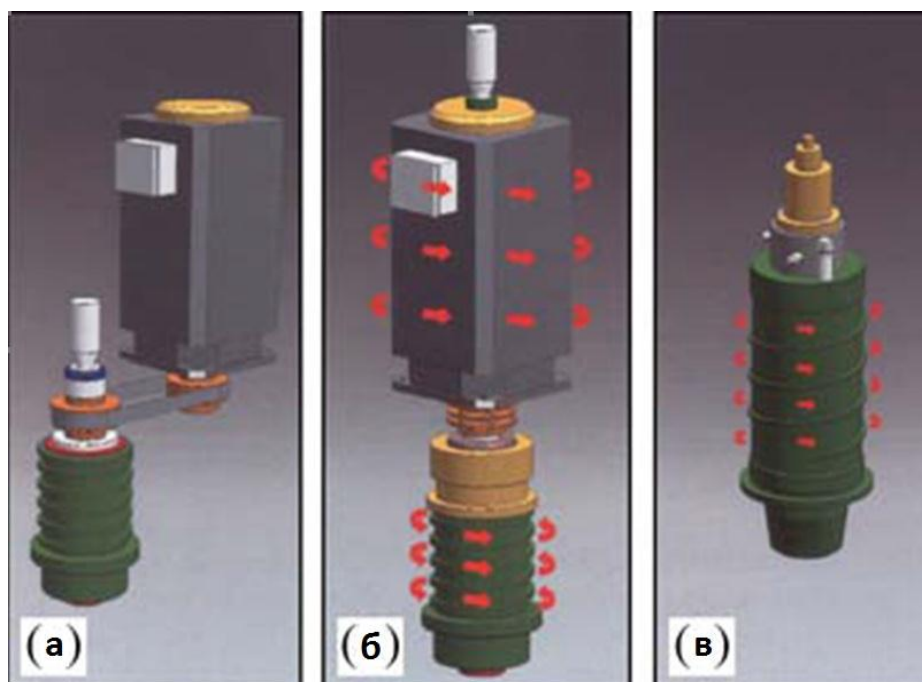
Главно кретање код CNC рутера за обраду резањем врши алат. Алат снагу и обртни момент добија преко главног мотора. Постоји више начина конструкционих изведби мотора за главно кретање:

- 1) Електрични мотори
- 2) Хидраулични
- 3) Пнеуматски

Начин преноса снаге, обртног момента и броја обртаја са главног погона на алат може бити директан или редуccionи. За избор погона главног кретања препоручује се висок обртни момент при жељеном броју обртаја да би се задовољила жељена брзина резања и на основу ових информација се бирају мотор и величина главног вретена.

Постоје неколико решења преноса кретања са главног погона на главно вратило (слика 4.11):

- 1) Први начин (слика 4.11 а) је најчешће коришћен, где је погон главног вратила успостављен путем каиша. Гумени каиш је добар изолатор вибрација и не захтева неко посебно одржавање, али су ограничени што се тиче броја обртаја. Број обртаја не сме прећи 6000 $^{\circ}$ /мин
- 2) Други начин (слика 4.11 б) је директан погон уз помоћ еластичне спојнице између главног погона и главног вратила. На овај начин се добија прецизнији пренос снаге и обртног момента. Могу се остварити већи бројеви обртаја од 12000 до 16000 $^{\circ}$ /мин. Еластична спојница такође служи као термички изолатор између мотора и главног вретена.
- 3) Трећи начин (слика 4.11 ц) машине са великим бројем обртаја преко 18000 $^{\circ}$ /мин захтевају компактне моторе код којих је главно вретено уграђено у мотор. Лежајеви са косим додиром су хибридни са челичним прстеновима и керамичким куглицама ради смањења загревања које је последица трења при великим брзинама. Услед великог броја обртаја неопходан је правилан избор средства за хлађење.



Слика 4.11 Типови преноса кретања са главног погона на главно вратило [2]

5. Програмирање CNC рутера

Програмирање CNC машина алатка се врши на рачунару, и путем USB меморијских уређаја, дискова или са директном везом са рачунаром програми се преносе у управљачку јединицу. Неке CNC машине садрже управљачке јединце са тастатуром и екраном па се програмирање може вршити и директно на машини.

Програмирање се може изводити на два начина:

- 1) Ручно
- 2) Аутоматски (уз помоћ одговарајућег софтвера)

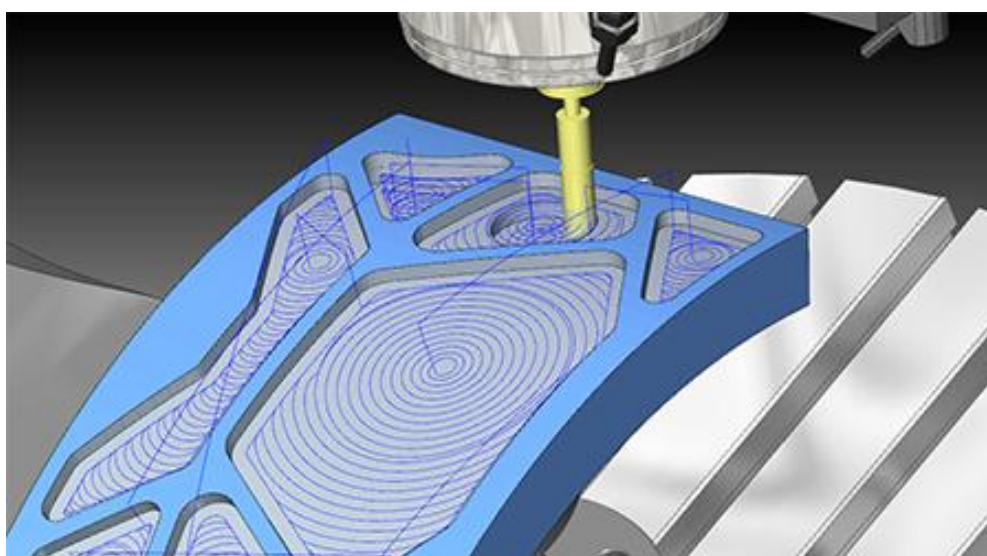
Програмирање подразумева израду следеће документације:

- 1) **Операциони лист** – садржи редослед операција радног предмета са потребним режимима рада и времена израде
- 2) **План алата за радни предмет** – садржи попис свих коришћених алата за обраду према редоследу коришћења
- 3) **План стезања** – обухвата основне габарите радног простора, положај радног предмета на машини, тачке ослањања предмета и место стезања као и положај нулте тачке
- 4) **План резања** – је главни документ за испис програма на којем су видљиве путање кретања алата за сваку операцију. Прати се пут кретања врха алата од почетка до краја обраде.
- 5) **Писање програма** – програм је последњи и најважнији документ по коме се уносе наредбе за управљање машином.

Путања алата је скуп линија и тачака дуж којих се креће алат и у којима се посебно позиционира, или се извршава нека функција машине, од свог базног положаја у радном простору машине (слика 5.1).

Алат се дуж активног (обрадног) дела путање најчешће креће у више пролаза.

Пролаз представља један циклус кретања алата по путањи. По завршетку једног пролаза алат се помера бочно у односу на путању, ка радном комаду, за величину додатка за обраду и изводи наредни пролаз. Овај поступак се понавља у оном броју пролаза који обезбеђује уклањање свог материјала припремка предвиђеног текућим захватом или операцијом (слика 5.1).



Слика 5.1 Пример путање и пролаза алата [27]

5.1 Карактеристичне тачке CNC рутера

Код програмирања CNC машина потребно је познавати одређене референтне, односно нулте тачке које дефинишу координатни систем и сам алат. CNC машине алатке имају три међусобно не зависна геометријска система:

- 1) Геометријски систем машине
- 2) Геометријски систем обратка
- 3) Геометријски систем алата

Карактеристичне тачке CNC машина алатки су:

(W) Нулта тачка обратка (*Workpiece zero point*) тачка везана за обрадак слободно се мења према потребама конструкције или израде.

(M) Нулта тачка машине (*Machine zero point*) позиција ове тачке се не може мењати. Одређена је од стране произвођача машине. Она је почетак координатног система и од ње се прорачунавају сва кретања алата.

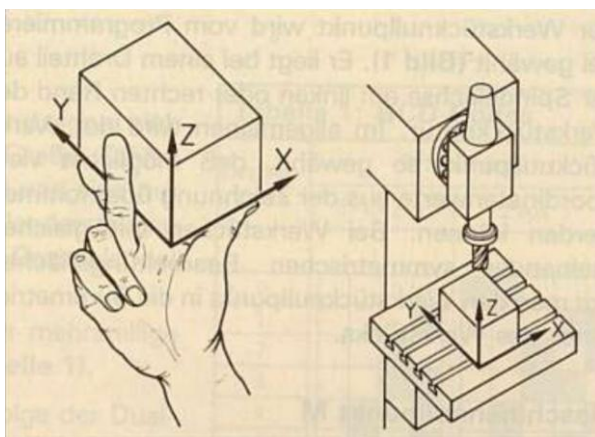
(N) Референтна тачка алата (*Tool mount reference point*) почетна тачка од које се мере сви алати. Лежи на оси држача алата. Одређена је од стране извођача и не може се мењати.

(R) Референтна тачка (*Reference point*) тачка у радном подручју машине која је детерминисана са крајњим прекидачима. Служи за калибрисање мерног система и у почетку рада са машином морамо довести алат у тачку R.

(B) - Почетна тачка алата (*Begin point*) од ове тачке алат почиње са обрадом и у њој се врши измена алата. Није неопходно да буде дефинисана.

5.2 Координатни систем CNC рутера

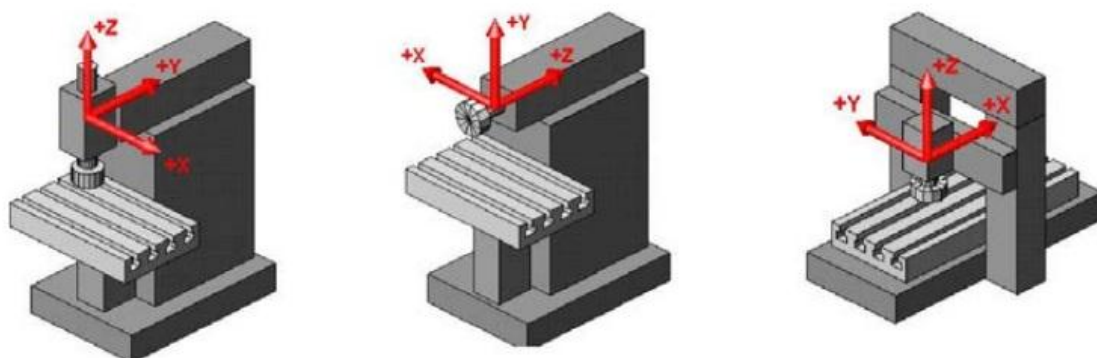
CNC машине алатке користе као координатни систем правило десне руке (слика 5.2). Код CNC машина алатки у координатном систему мора бити унапред одређен почетни положај односно тачка из које ће алат да врши обраду. У почетној тачки или положају све три координате X, Y, и Z су једнаке нули. Овај положај одређује или произвођач машине или програмер.



Слика Координатни систем CNC машине [4]

По правилу оса Z је увек усмерена у правцу осе главног вретена (слика 5.3). Ове машине углавном користе правоугаони координатни систем такође познат и као **Декартов координатни систем**.

Декартов тродимензионални координатни систем је одређен са три координате X, Y, и Z које полазе из неке нулте тачке или нултог положаја, и исписују се редоследом прво X координата, затим Y и на крају Z координата.



Слика 5.3 Усмеравање осе Z у правцу осе главног вретена [25]

У процесу програмирања употребљавају се два система мерења: апсолутни и инкрементални.

Апсолутни координатни систем мерења има једну фиксну нулту тачку у тачки (W) и све остале координате тачака мере удаљеност од те тачке.

Инкрементални координатни систем мерења, координате идуће тачке мерења се изражавају у односу на претходну тачку где се налази координатни систем.

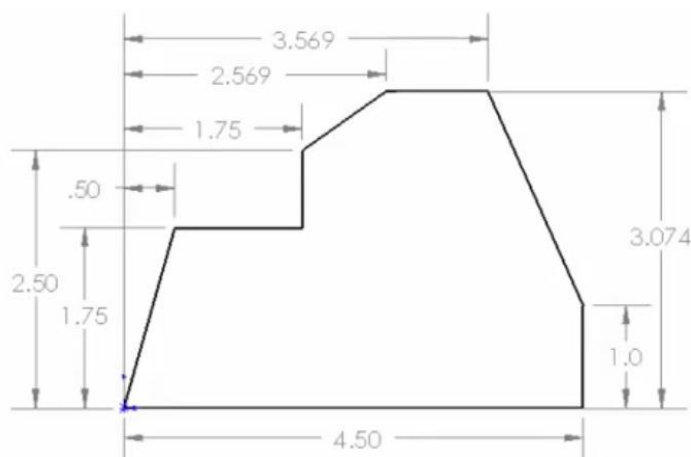
5.3 Ручно програмирање

Ручно програмирање (слика 5.4) или писање NC кода ручним путем подразумева ручни унос тачне позиције алата, брзину кретања алата, брзину корака, број пролаза, дубину, број обртаја алата као и још много других параметара који су неопходни да би се извршила жељена операција.

CNC програмирање подразумева:

- 1) Одређивање путање алата
- 2) Режира резања
- 3) Превођење плана обраде у списак инструкција разумљивих управљачкој јединици машине.

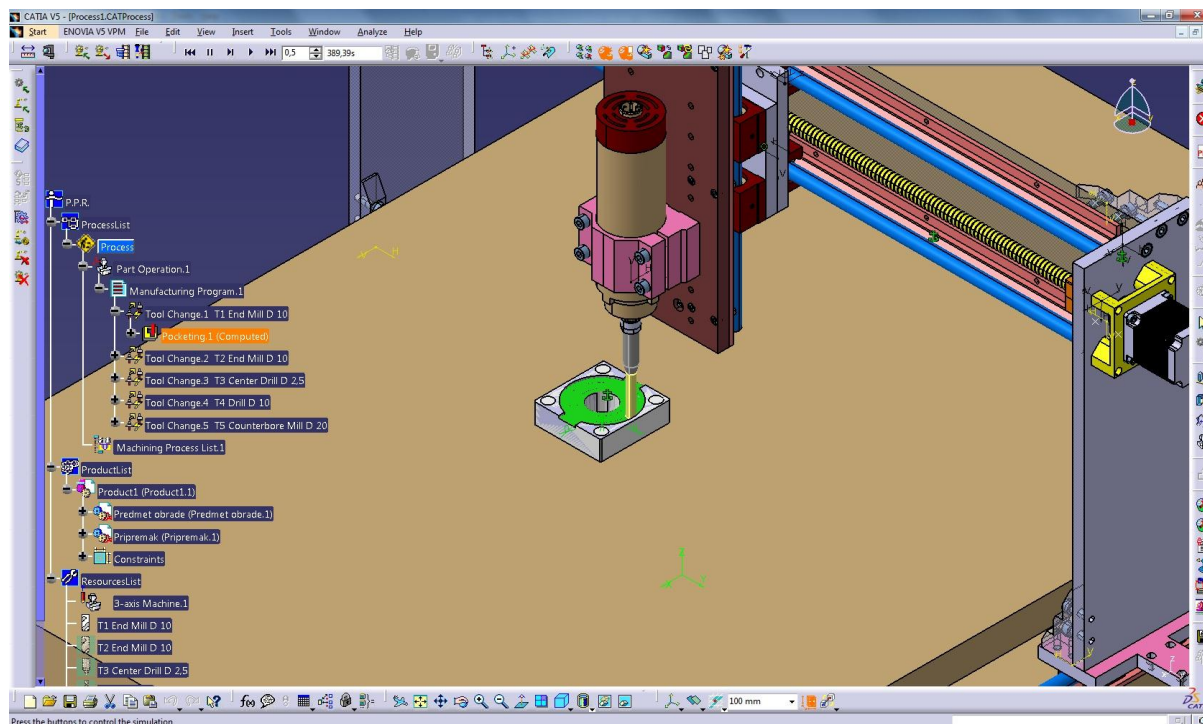
```
G0 X-.5 Y-.75
G0 Z.1
G1 Z-.5 F10.0
G1 X0. Y0.
G1 X.5 Y1.75
G1 X1.75
G1 Y2.5
G1 X2.569 Y 3.074
```



Слика 5.4 Ручно програмирање [25]

5.4 Програмирање помоћу рачунара

Програмирање помоћу рачунара подразумева аутоматско програмирање саме машине на основу изабраних параметара програмера као што су димензије припремка, пут алата, избор алата, режими рада итд. у софтверским пакетима као што су **CATIA**, **SolidCam**, **MasterCam** и још многи други (слика 5.5). Такође је могуће графички 2D или 3D симулирати генерисан програм, као и аутоматско генерисање кода за потребну управљачку јединицу. На овај начин се смањује време израде програма па и самих предмета обраде такође је и мања вероватноћа да ће доћи до грешке за разлику од ручног писања програма.



Слика 5.5 Програмирање помоћу рачунара у софтверу **CATIA**

6. Подела CNC рутера

6.1 CNC рутери за обраду дрвета

CNC рутери за обраду дрвета (слика 6.1) се разликују од CNC рутера за обраду метала јер нису изложени великим силама резања као што је присутно код CNC рутера за обраду метала. Алати су изложени знатно већим бројевима обртаја крећу се чак и до 24000 обртаја у минути, могу обрађивати делове брзином до 30 метара у минути. Користе мање алате као и мање носаче алата. Радни столови су им знатно већи могу бити дугачки и преко пет метара.

Структура може бити израђена од алуминијумских профила који су спојени раскидивом везом, завртањ-навртка или цевастих профила који су спојени раскидивом или не раскидивом везом.



Слика 6.1 CNC рутер за обраду дрвета [17]

Клизне површине су једноставније конструкције и мање цене. Најчешће коришћене су линеарне клизне површине отвореног или затвореног типа (слика 6.2).



Слика 6.2 Линеарни лежајеви отвореног и затвореног типа [6]

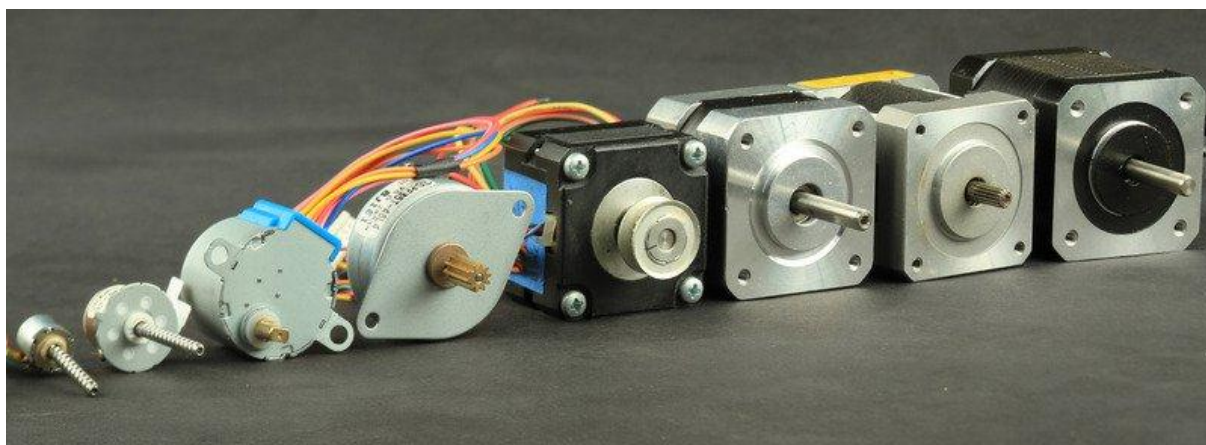
За погон главног кретања користи се електромотор (слика 6.3) са великим бројем обртаја и није неопходан велики обртни момент. Мотори овог типа могу бити и са ваздушним и воденим хлађењем. Уколико су мотори са ваздушним хлађењем постоји минималан број обртаја који мотор мора да оствари да се не би прегрејао. Жељена брзина се може постићи или аутоматски тј. софтверски или мануелно.



Слика 6.3 Електромотор за обраду дрвета [16]

Погон помоћног кретања, позиционирања је остварено углавном преко корачних мотора (слика 6.4) јер су мали отпори при обради дрвета, такође им је и мања цена.

Помоћно кретање може бити реализовано преко каишника и каиша, завојног вретена (трапезни навој) или завојно вретено са рециркулационим куглицама, у зависности од експлоатационих карактеристика саме машине.



Слика 6.4 Корачни мотори различитих величина и снага [15]

6.2 CNC рутери за обраду метала

CNC рутери за обраду метала могу бити намењени за обраду метала резањем, сечењем, гравирањем и просецањем уз помоћ воде, ласера, плазме итд.

CNC рутери за обраду метала резањем су рутери који су најсличнији глодалицама и могу бити величина класичне глодалице (слика 6.5) такође могу бити и већих димензија као порталне глодалице (слика 6.6) које служе за обраду делова већих димензија као што су на пример вагони за возове.

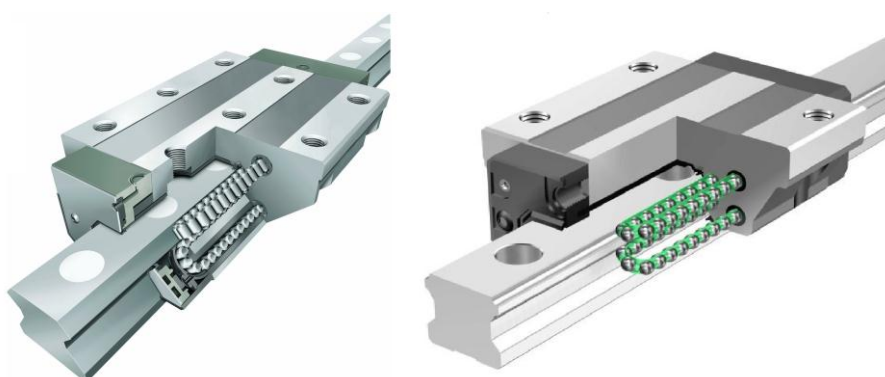


Слика 6.5 CNC рутер за обраду метала [13] Слика 6.6 CNC портална глодалица [14]

Структура CNC рутера за обраду метала резањем мора бити доста крута и стабилна због великих оптерећења и великих сила резања. Углавном се користе заварене и ливене конструкције велике крутости.

Клизне површине морају да задовоље високу тачност и прецизност вођења. Да би се ово остварило клизне површине морају да задовоље висока статичка и динамичка оптерећења која су последица процеса резања.

CNC рутери за обраду делова мањих димензија користе клизне површине са кугличним или цилиндричним додиром (слика 6.7) у зависности од оптерећења тј. силе резања и масе покретних делова.



Слика 6.7 Клизне површине са цилиндричним и кугличним додиром [12]

Погон помоћног кретања је углавном преко серво мотора али може бити и преко корачних мотора у зависности од намене и оптерећења машине.

Погон главног кретања може се остварити преко каиша, еластичне спојнице или директно на главно вретено (слика 6.8). Ови мотори морају бити веома великих снага са изузетно високим вредностима обртног момента.



Слика 6.8 Врсте преноса снаге [3]

Најчешћи системи претварача обртног у праволинијско кретање су завојно вретено са рециркулационим куглицама или зупчаник - зупчаста летва у зависности од тачности, оптерећења масе покретних делова саме машине.

CNC рутери за обраду делова већих димензија (порталне глодалице) структура им је доста крућа, масивнија итд. Сама структура машине мора имати доста добар темељ односно темељ машине мора бити независан од остатка производног погона, јер би на тачност саме машине утицали удари и вибрације настали од других машина.

Клизне површине саме машине морају да издрже знатно већа динамичка и статичка оптерећења због саме масе покретних делова машине и сила обраде. Најчешће коришћене клизне површине су са цилиндричним додиром као што су ваљчасти, игличасти или бачвасти (слика 6.9).



Слика 6.9 Клизне површине са ваљчастим и игличастим котрљајним елементима [11]

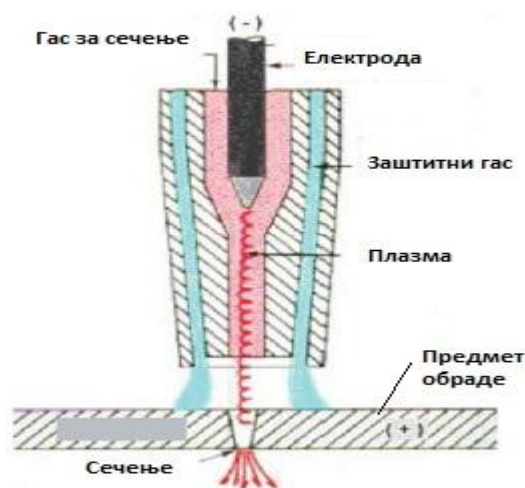
6.3 CNC рутери за обраду метала просецањем

CNC рутери за обраду метала просецањем служе са просецање како танких тако и дебелих материјала. У зависности на који начин се врши просецање зависи и који се материјал може обрађивати. Тако имамо CNC рутере који користе плазму, ласер и воду као алат.

6.3.1 CNC рутери за обраду плазмом

Принцип рада плазма сечења (слика 6.10) заснива се на проласку електричног лука кроз гас који пролази узак отвор (млазницу). Гас који се користи при овој обради метала може бити: азот, кисеоник, аргон итд. Загревањем ових гасова помоћу електричног лука између аноде и катодe добија се веома висока температура која гас преводи у четврто агрегатно стање (плазму).

Гас кроз млазницу пролази великом брзином. Део гаса који се не користи за сечење истопљеног материјала има заштитну улогу као код заваривања.



Слика 6.10 Принцип рада плазма сечења [4]

Структура самих CNC рутера за обраду плазмом (слика 6.11) не мора бити веома крута и робусна, јер при обради плазмом не долази до већих оптерећења како статичких тако и динамичких. Конструкција је углавном завареног типа. Главно оптерећење конструкције је на самом радном столу који носи предмет обраде.

Клизне површине код ових машина су једноставније конструкције, трпе мања оптерећења.

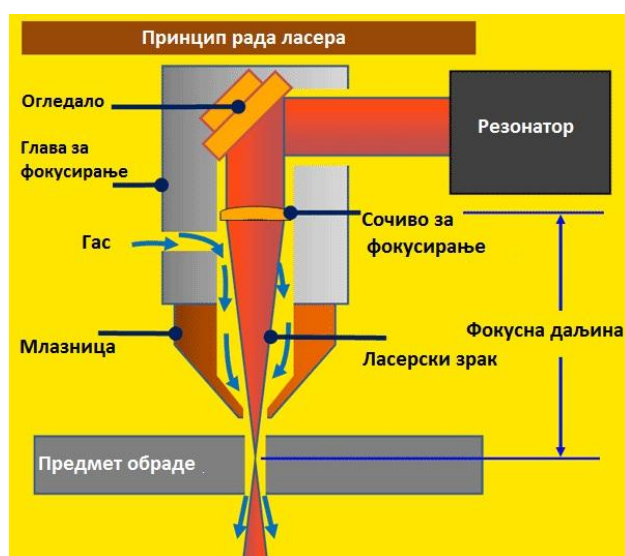


Слика 6.11 CNC рутер за обраду плазмом [4]

6.3.2 CNC рутери за обраду ласером

Ласер је концентрисан електро-магнетни зрак уске таласне дужине. Таласна дужина се може кретати од инфра-црвене до појединих боја видљивог спектра. Користе се различити гасови као што су угљен-диоксид, кисеоник, азот и други. Код угљен-диоксида таласна дужина се налази у инфра-црвеном подручју и није видљива голим оком.

Ласерски зрак добијен у резонатору је реда величине $\frac{3}{4}$ инча који се даље путем огледала и сочива транспортује и фокусира на веома мали пречник (слика 6.12). Овако фокусиран зрак на изузетно малој површини од 10^{-7} cm^2 има веома велику густину енергије снопа до 10^9 kW/cm^2 .



Слика 6.12 Принцип рада ласера [5]

Структура CNC рутера за обраду ласером не мора бити веома крута јер нема високих вредности статичких и динамичких оптерећења. Углавном се изводи као заварена конструкција.

Клизне површине су као и код обраде плазмом једноставније конструкције јер не трпе веома висока статичка и динамичка оптерећења приликом обраде.

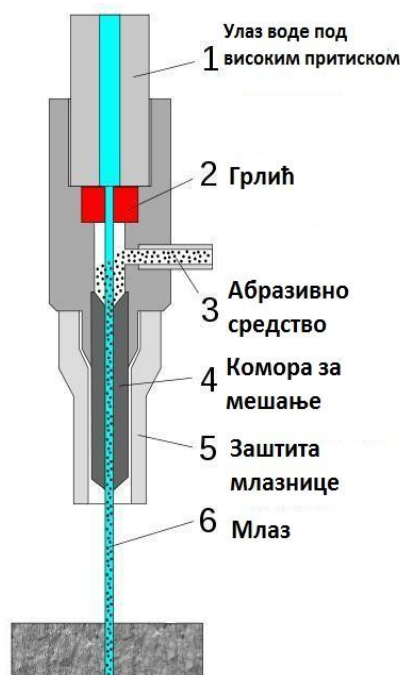
Ови рутери могу бити мањих и већих величина у зависности од жеље и намене самог корисника. На слици 6.13 је приказан аутоматизован процес обраде ласером, са десне стране имамо аутоматизовано приношење лима на радни сто док са леве стране имамо аутоматизовано одвођење обрађеног предмета обраде као и шкарта.



Слика 6.13 Аутоматизован процес обраде ласером[5]

6.3.3 CNC рутери за сечење воденим млазом (*Water-jet*)

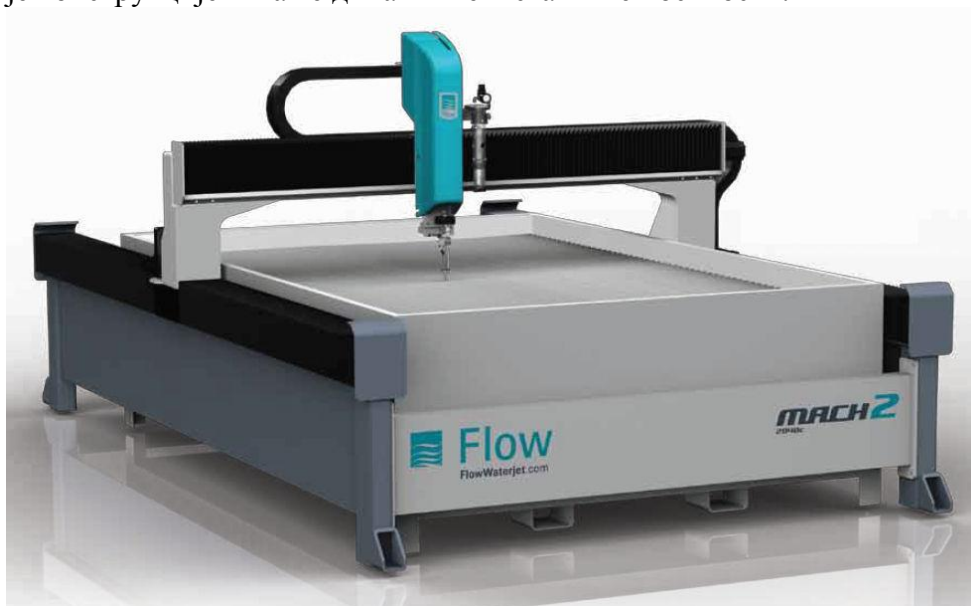
Принцип рада *Water-jet*-а (слика 6.14) заснива се на коришћењу воденог млаза под високим притиском коме се додаје абразивно средство (песак). Притисак на млазници је веома висок и може бити и по неколико хиљада бара. Вода под великим притиском заједно са абразивним средством излази кроз мали отвор млазнице и на тај се начин врши сечење. Рез не загрева предмет обраде, такође се ни сама машина не загрева.



Слика 6.14 Принципа рада *Water-jet*-а [10]

Структура CNC рутера (слика 6.15) за сечење воденим млазом не мора бити крута јер нема великих динамичких и статичких оптерећења приликом обраде. Конструкција је углавном заварена.

Клизне површине такође као код обраде ласером и плазмом могу бити једноставније конструкције и мање динамичке и статичке носивости.



Слика 6.15 CNC рутер за сечење воденим млазом [32]

7. Пример пројектовања CNC рутера

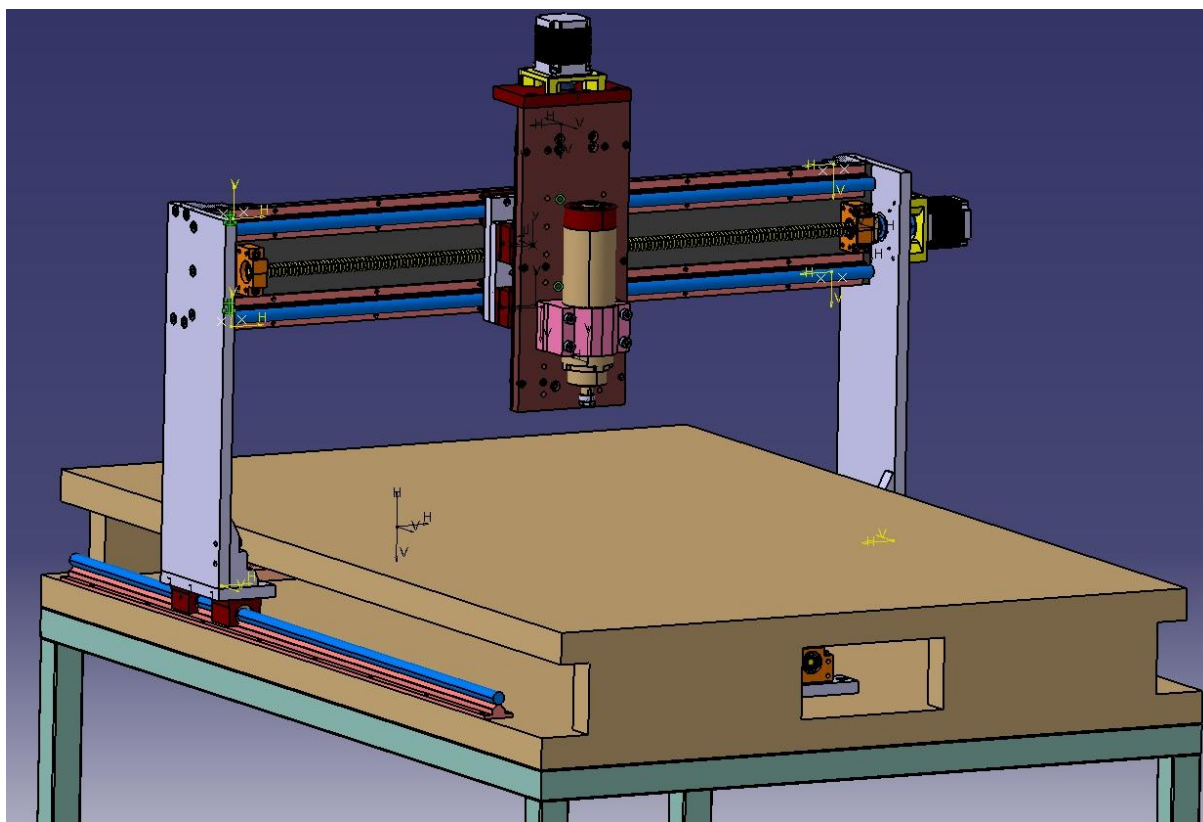
Пројектовање CNC рутера извршено је у софтверском пакету *CATIA V5 R21*. Пројектовани CNC рутер може обрађивати делове од дрвета, пластике, метала и сл.

Техничка спецификација машине приказана је у табели 7.1:

Димензије машине Д x Ш x В [mm]	1300x1100x1900
Маса машине [Kg]	220
Ход по Х оси [mm]	973
Ход по У оси [mm]	780
Ход по Z оси [mm]	225
Снага обрадног мотора [kW]	1,5
Број обртаја обрадног мотора [о/мин]	До 24000
Напајање обрадног мотора [V]	3x220
Прихват алата	ER 11
Врста хлађења	Ваздушно
Напајање машине [V]	220
Управљање корачним моторима [A]	3x7
Управљање машине	Mach3

Табела 7.1 Техничка спецификација пројектоване машине

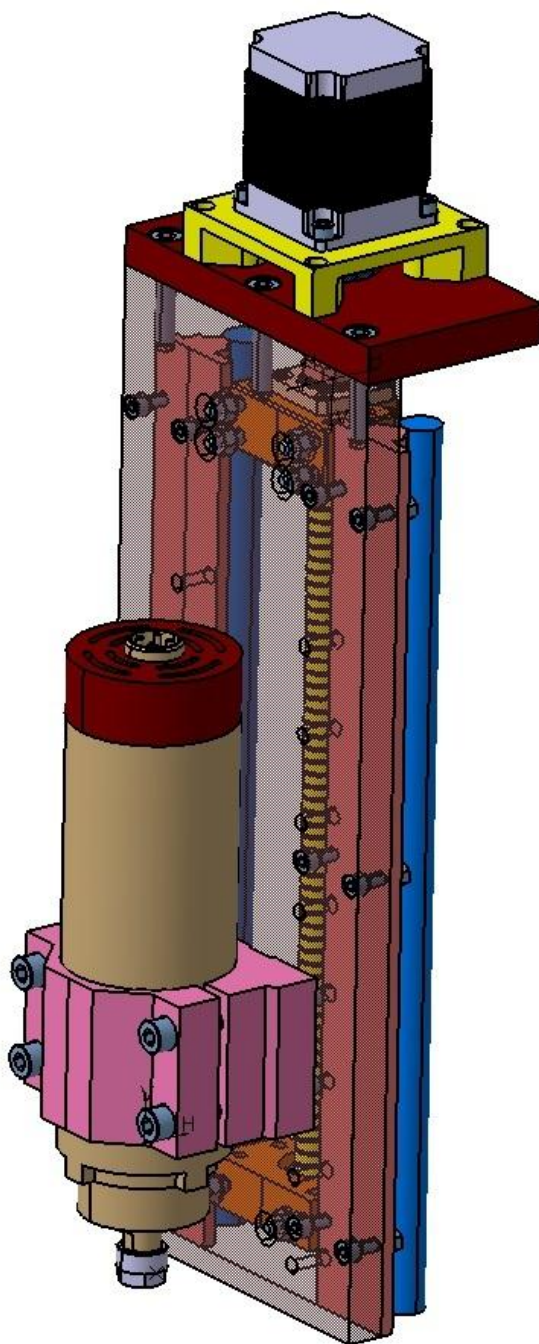
Склоп пројектоване машине приказан је на слици 7.1:



Слика 7.1 Склоп пројектоване машине

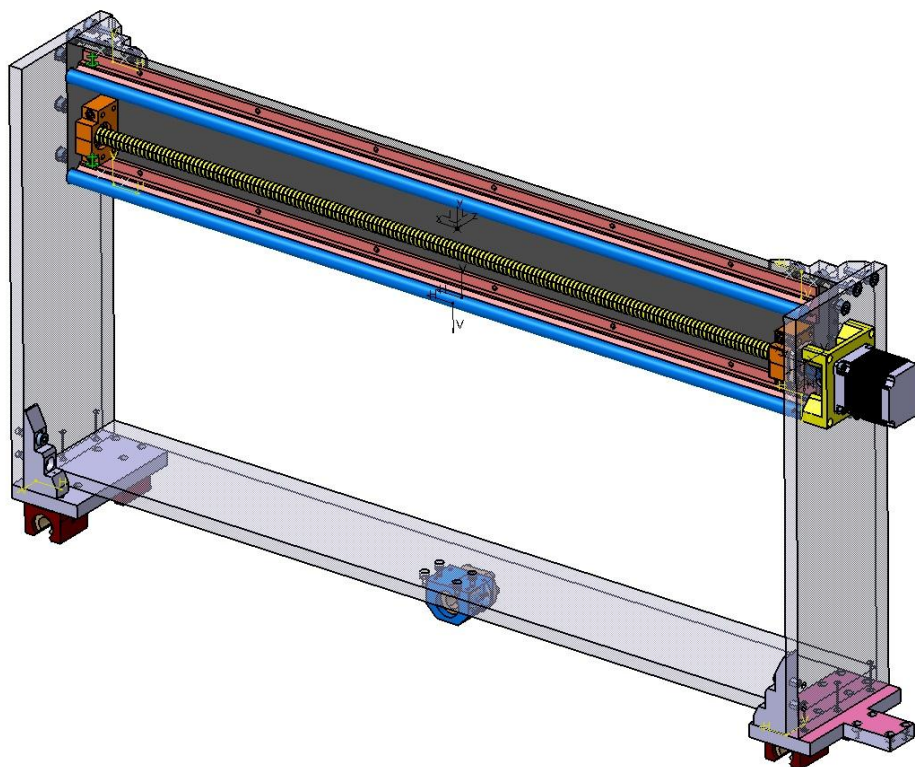
Склоп Z осе (слика 7.2) састоји се из две алуминијумске плоче дебљине 15 mm. На ове две плоче су причвршћени сви елементи уз помоћ вијака. Корачни мотор и одстојник корачног мотора су причвршћени на попречној плочи. На уздужној плочи причвршћене су клизне површине, носач обрадног мотора као и сам мотор такође је и склоп завојног вретена са лежајевима. Димензија плоче је одређена димензијама завојног вретена као и вођица.

Одстојник корачног мотора је израђен од ABS пластике на 3D штампачу са могућношћу каснијег доградње снажнијег мотора NEMA 34. Плоча која носи носач обрадног мотора је израђена са могућношћу репозиционирања обрадног мотора у зависности од димензија предмета обраде. Радни ход Z осе износи 225 mm без репозиционирања обрадног мотора.

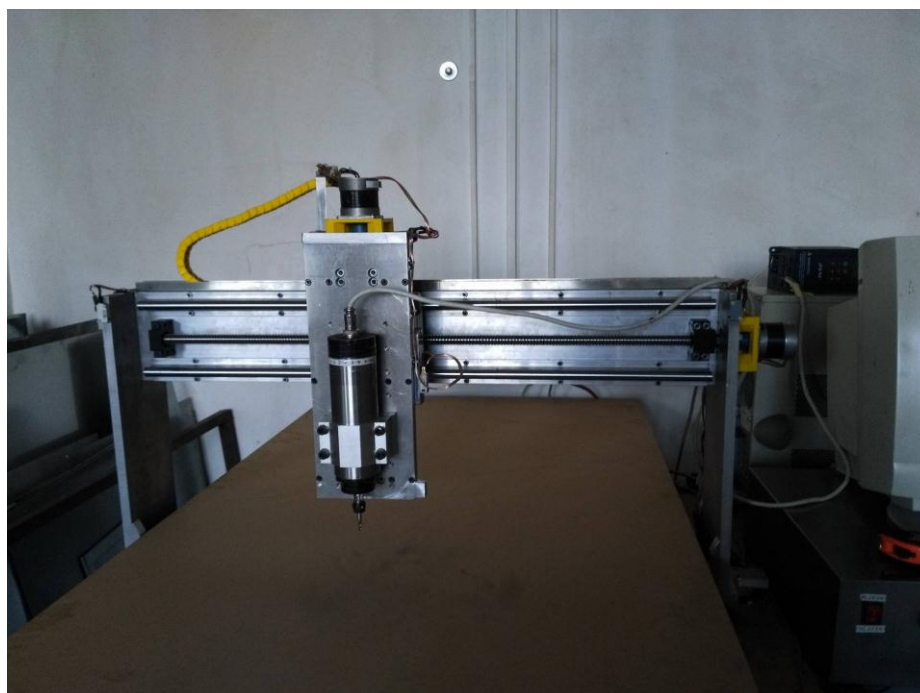


Слика 7.2 Склоп Z осе

Склоп Y осе (слика 7.3 и 7.4) састоји се из алуминијумске плоче дебљине 15 mm ширине 150 mm. На плочи су вијцима причвршћене клизне површине и кућишта лежаја завојног вретена. Уз помоћ четири алуминијумска угаоника дебљине 20 mm додатно је повећана крутост самог система као управност. Плоча је причвршћена на две алуминијумске вертикале дебљине 15 mm. На једној од тих плоча је причвршћен корачни мотор преко одстојника. Радни ход износи 780 mm.

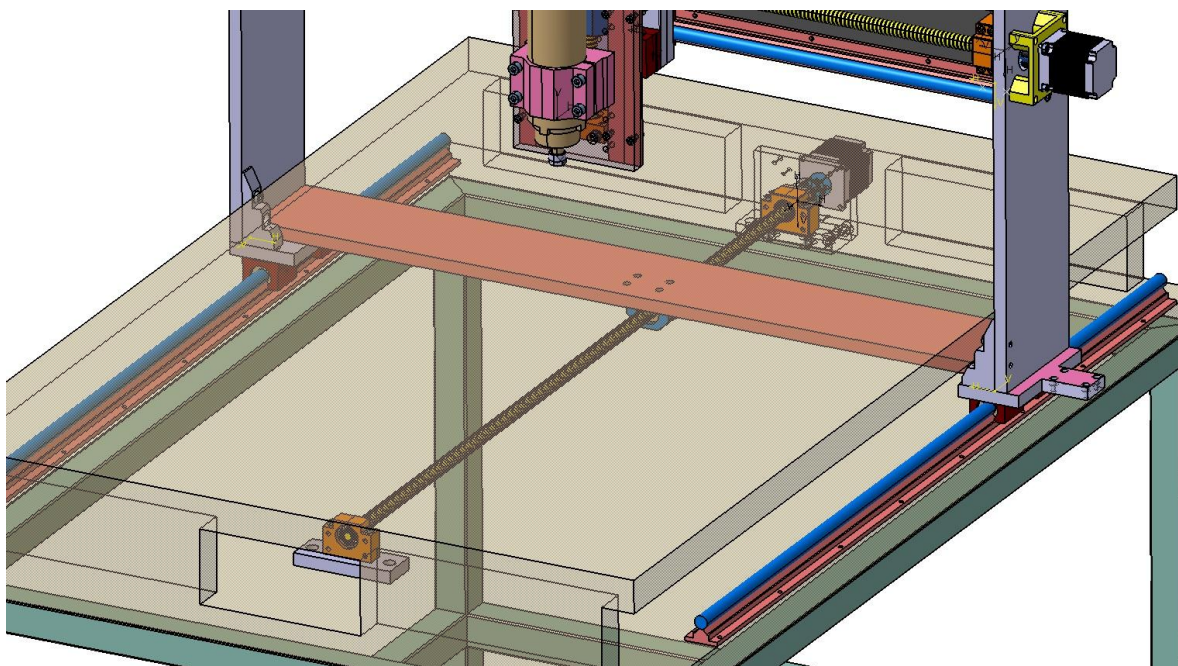


Слика 7.3 Склоп Y осе

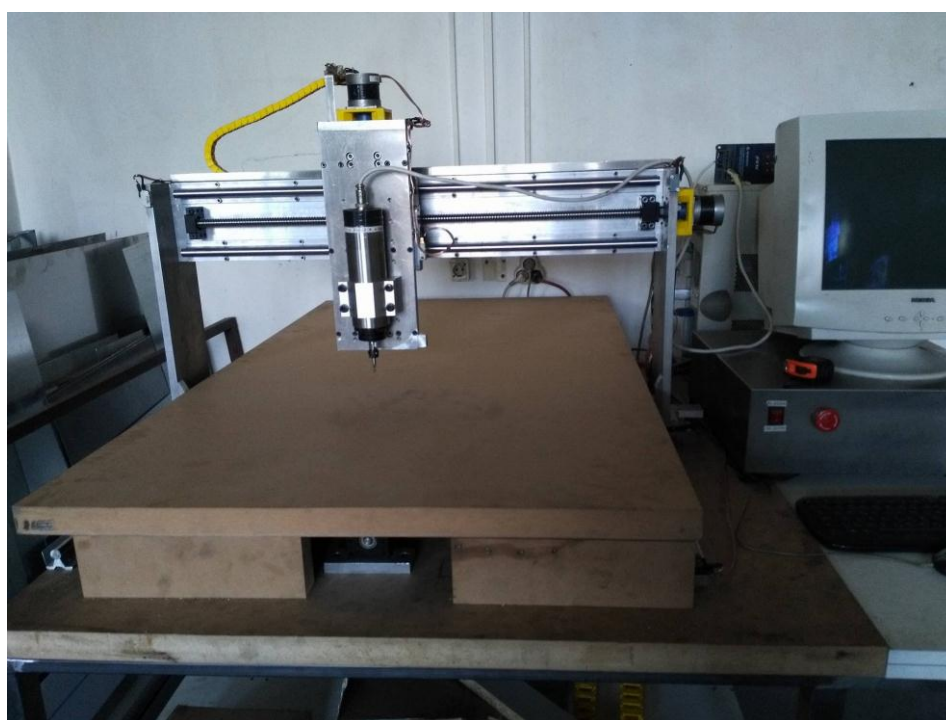


Слика 7.4 Склоп Z и Y осе

Склоп X осе (слика 7.5 и 7.6) састоји се из две вертикалне плоче које носе Y и Z осе, ове две плоче додатно су учвршћене доњом хоризонталном плочом због веће крутости система. Угаонцима је такође повећана крутост. Навртка завојног вретена је причвршћена за доњу хоризонталну плочу вијцима. Клизне површине су причвршћене за конструкцију машине кроз медијану дебљине 40 mm. Колица вођица су причвршћена вијцима за међуплочу која је причвршћена за вертикале. Кућишта лежачева су причвршћена за конструкцију машине кроз медијану. Радни ход износи 973 mm.

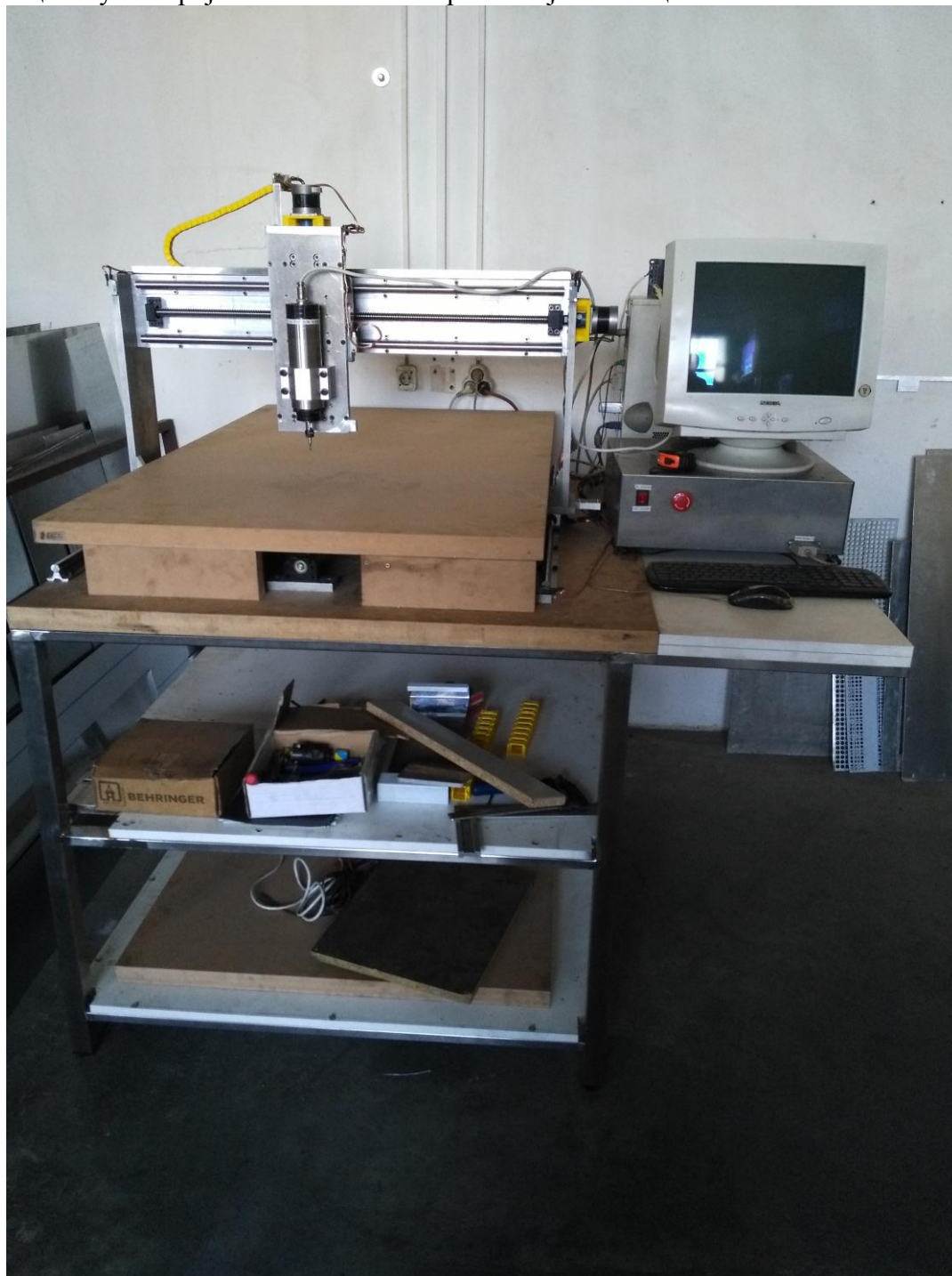


Слика 7.5 Склоп X осе



Слика 7.6 Склоп X, Y и Z осе

Склоп целокупне пројектоване машине приказан је на слици 7.7.

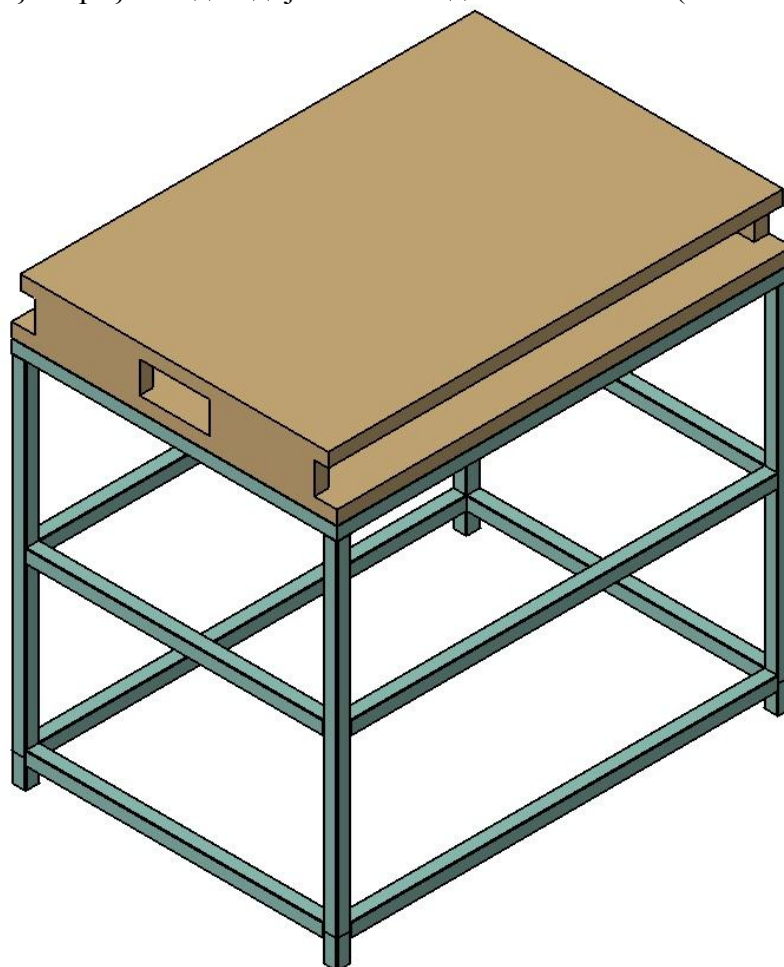


Слика 7.7 Реализована пројектована машина

7.1 Структура пројектованог CNC рутера

Структура машине је отвореног типа. Носећа конструкција је израђена од цевастих профила 40x40x2, материјала прохром (AISI 304). Конструкција је заварена TIG поступком. Носећи покретни делови су израђени од алуминијумских плоча дебљине 15 mm које су спојене завртњевима M8. Накнадно су дорађене две полице за одлагање прибора, алата итд.

Полице су од оплемене иверице дебљине 18 mm, а радни сто је израђен од медијапана (MDF) дебљине 40 mm који је причвршћен вијцима М6 за конструкцију. Радна плоча је такође израђена од медијапана исто дебљине 40 mm (слика 7.8).



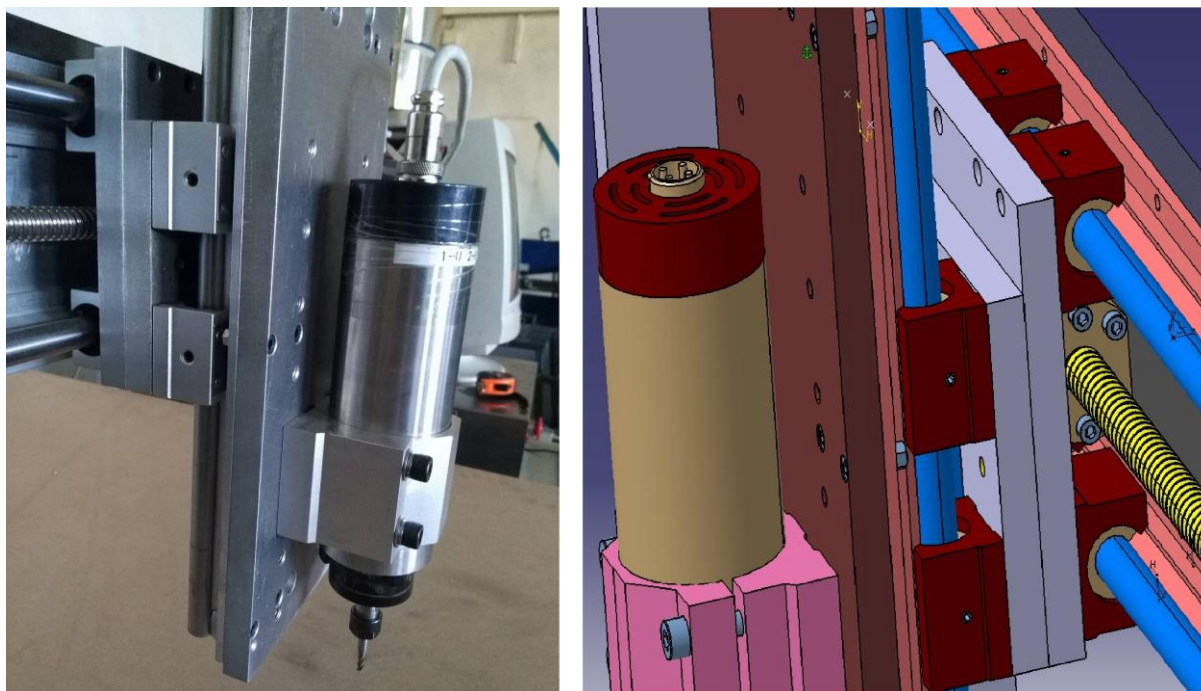
Слика 7.8 Конструкција машине

7.2 Клизне површине пројектованог CNC рутера

Клизне површине коришћене на овом пројекту су отворене линеарне клизне површине са рециркулационим куглицама (слика 7.9). Систем за вођење се састоји из челичне каљене шипке, блока и носача шипке који су израђени од алуминијума (слика 7.10). Пречник шипке је 16 mm. Спој између шипке и носача остварен је завртњевима, а такође и склоп шипке и носача је спојен са конструкцијом завртњевима.



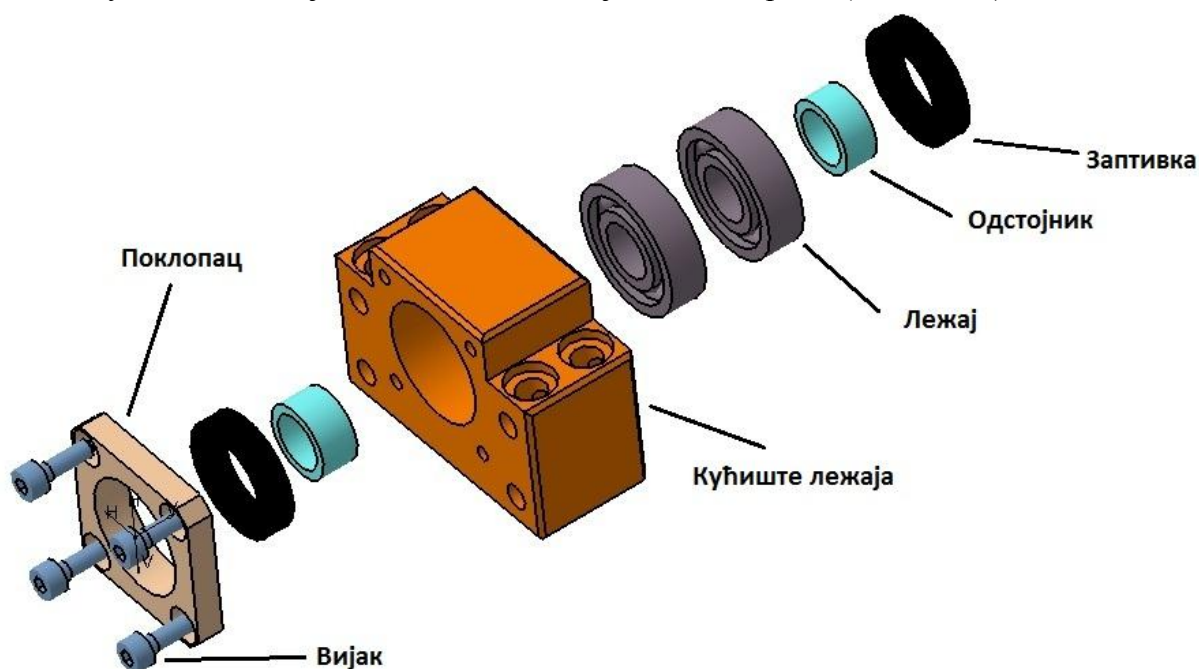
Слика 7.9 Склоп клизне површине и блока [6]



Слика 7.10 Клизне површине у склопу машине

7.3 Претварач помоћног кретања

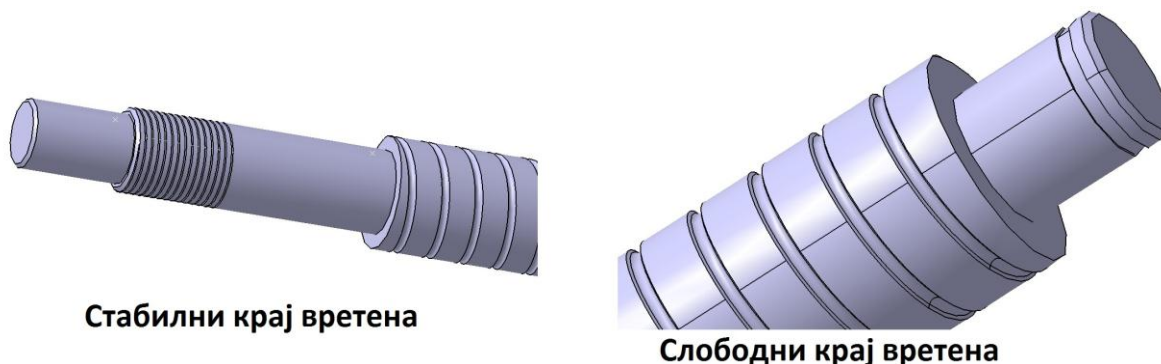
Претварање обртног кретања добијеног од корачног мотора преко еластичне спојнице у праволинијско је остварено преко навојног вретена са рециркулационим куглицама и навртком. Вретено је израђено ваљањем након чега се кали а затим и бруси. Крајеви су ожарени након тога обрадом на стругу добијена лежишта за лежајеве. Пречник вретена је 16 mm са кораком 5 mm. Вретено је улежиштено је једним стабилним и једним слободним крајем. Фиксни ослонац је остварен помоћу два лежаја са косим додиром 7201 и одговарајућим наврткама за фиксирање лежаја. Две заптивне гумице служе да се спречи продирање контаминитета у лежајеве, поклопац са одстојником служи да се лежајеви обезбеде од аксијалног померања (слика 7.11).



Слика 7.11 Стабилно улежиштење

Слободно лежиште састоји се из кућишта и једног лежаја 6200 и зегеровог прстена.

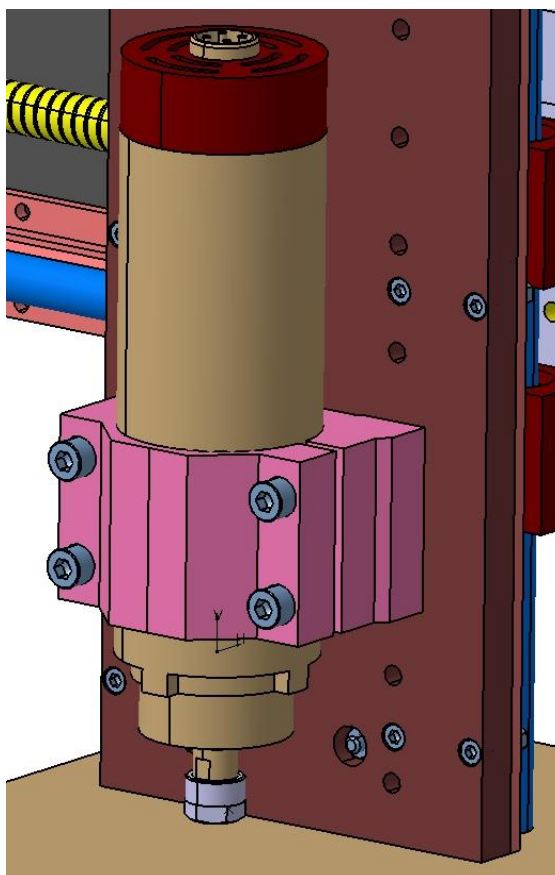
Укупна дужина вретена се редукује за вредност потребну за накнадну обраду на стругу у зависности од пречника вретена као и избора лежаја, на слободном крају неопходно је изградити канал за зегеров прстен који обезбеђује лежај од аксијалног померања (слика 7.12).



Слика 7.12 Обрађен стабилни и слободни крај вретена

7.4 Погон главног кретања

Погон главног кретања (слика 7.13) је остварен преко електромотора са директним погоном. Фиксирање електромотора је остварено преко носача мотора који се може позиционирати на различитим висинама помоћу завртњевима. Прихват алата је ER 11 који се преко еластичних чаура фиксирају алати пречника до 7 mm.



Слика 7.13 Погон главног кретања

7.5 Погон помоћног кретања

Помоћно кретање је реализовано помоћу корачних мотора *NEMA 23*, који преко еластичне канцасте спојнице која се састоји из челичног тела и гуменог улошка (слика 7.14) преноси обртно кретање на завојно вретено.



Слика 7.14 Еластична канцаста спојница [9]

Контрола рада мотора остварена је помоћу драјвера који се бирају на основу снаге и типа мотора. Драјвер *MST-107* (слика 7.15) фирме *AUDIOHMS*.

Техничке карактеристике драјвера приказане су у табели 7.2:

Микростеп резолуција	1/1, 1/2, 1/4, 1/16, микрокорака
Број оса	1
Струја по фази	7,5 А максимално
Подешавање струје	0,75-7,5 А (помоћу екстерног отпорника)
Напон напајања корачних мотора	20-40 V DC максимално
Улази	Опто-изоловани STEP, DIR, i ENA (enable)
Струја по улазној линији	5 mA на 5 V
Ширина улазног импулса	>1μS (оптимално > 5μS)
Димензије (Ш x Д x В)	77 mm x 105 mm x 38 mm
Маса	~ 150g

Табела 7.2 Техничке карактеристике драјвера [7]



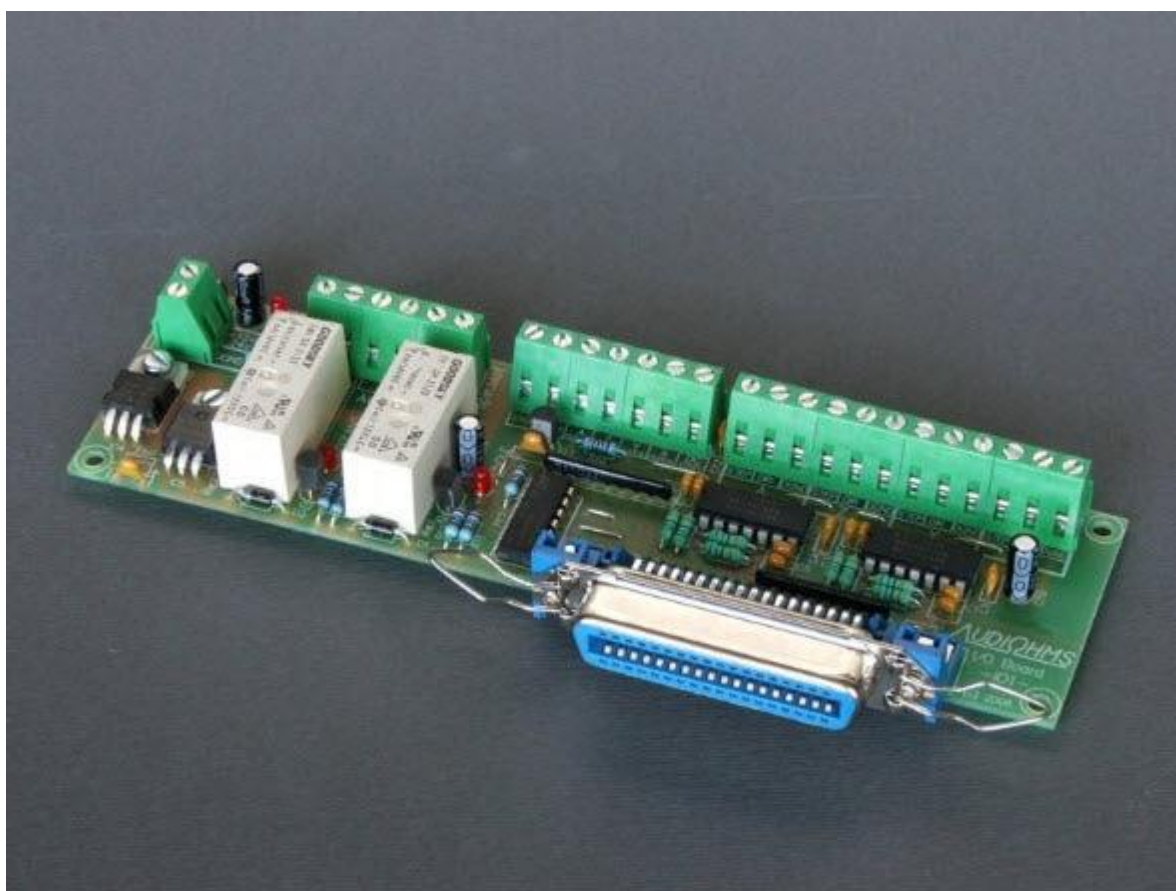
Слика 7.15 Драјвер MST-107 [7]

Повезивање CNC рутера са РС рачунаром врши се преко паралелног (*printer*, *LPT*) порта. Улазно-излазна картица (слика 7.16) на себи има *Centronics* (IEEE1284) конектор тако да се за везу са РС рачунаром користи стандардни *printer* кабл. Избор ове картице је извршен на основу универзалности саме картице која подржава софтвере који генеришу *STEP/DIR* командне сигнале преко паралелног порта као што су: Mach2, Mach3, Turbo CNC, KCam и сл.

Техничке карактеристике улазно излазне јединице приказане су у табели 7.3:

Број оса	4 (X, Y, Z и A-оса)
Управљање по осама	Помоћу STEP/DIR командних линија за сваку осу посебно, заједничка ENA (enable) линија за све осе
Излазна струја STEP/DIR командних линија	15 mA максимално
Број крајњих микропрекидача	5
Број релејних излаза	2
Капацитет једног релејног излаза	250 VAC/8A максимално
Напон напајања картице	15-24 VDC/500 mA
Димензије (Ш x Д x В)	173 mm x 63 mm x 20 mm
Маса	~120 g

Табела 7.3 Техничке карактеристике улазно излазне картице [8]



Слика 7.16 Улазно излазна картица [8]

Закључак

CNC машине алатке од самог почетка развоја су полако постајала стандард у производњи. Висока тачност и прецизност се није могла мерити са класичним машинама. Скоро све класичне машине алатке се могу претворити у компјутерски управљане машине алатке. Структура CNC машина алатки се значајно не разликује од класичних машина. Клизне површине на компјутерско управљаним машинама су савременије и модерније. Знатно су веће крутости и носивости од клизних површина коришћених на класичним машинама. Помоћно кретање код CNC машина алатки се такође знатно разликује од класичних машина. Код класичних машина кретање предмета обраде или алата је вршено ручно уз помоћ ручица и у главном су та кретања била зависна, док се код CNC машина алатки кретање по осама врши независно и за сваку осу је потребан по један мотор и једно завојно вретено. Главно кретање се значајно не разликује од класичних машина. Програмирање се може вршити у великом броју специјализованих софтвера. CNC машине алатке рутери могу бити машине за обраду материјала резањем, просецањем, пробијањем и још много тога изменом само обрадног центра.

Литература

- 1) L.Norberto López de Lacalle
- 2) Intro to CNC Vectric 2013
- 3) Understanding CNC routers
- 4) Проф. Др Горан Деведић CAD/CAM технологије, Машински факултет у Крагујевцу, 2009. године, приступљено августа 2016.
- 5) L.Norberto López de Lacalle.pdf, приступљено августа 2016.
- 6) <http://www.awea.com/images/milling/cframe/af/spindle/af-spindle-intro-2.jpg>, приступљено августа 2016.
- 7) <http://torchmate.com/white-papers/How-a-plasma-cutter-works>, приступљено августа 2016.
- 8) <http://www.esabna.com/us/en/education/blog/how-does-laser-cutting-work.cfm>, приступљено августа 2016.
- 9) <http://g02.a.alicdn.com/kf/HTB1edpNIXXXXbnXFXXq6xXFXXXT/New-SBR16-rail-L580mm-16mm-linear-round-guide-cnc-router-part-linear-rails-for-SBR16UU.jpg>, приступљено августа 2016.
- 10) <http://www.prizma.rs/sr/index.php/prizma-elektronika/drajveri-za-koraane-motore/mikrostep-drajver-za-korane-motore-mst-107>, приступљено августа 2016
- 11) <http://www.prizma.rs/sr/index.php/iso-9001/9-proizvodi/audio-hms/105-ulazno-izlazna-kartica-io1>, приступљено августа 2016
- 12) <http://www.lagerton.com/> приступљено августа 2016
- 13) https://multicamcanada.files.wordpress.com/2011/11/nozzle_waterjet.jpg, приступљено августа 2016.
- 14) http://www.msdkr.com/news/photo/201407/148_290_5817.jpg, приступљено августа 2016.
- 15) <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS9Iz2uv5WdlQS6yDgBkPMNIWXY4Maa4lV3-EKiEjDe6xVir4r6>, приступљено августа 2016.
- 16) https://pbs.twimg.com/profile_images/461229506175311872/AbM5dep-.jpeg, приступљено августа 2016.
- 17) http://www.visionwide-tech.com/images/vb_sample.jpg, приступљено августа 2016.
- 18) http://www.kollmorgen.com/uploadedImages/Kollmorgencom/Products/Motors/Stepper/PMX_Series/PMX_Stepper_lg.png?n=1258, приступљено августа 2016.
- 19) https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQzrhuehnESSSEsba0PsYMQI1PRJXws_yUxIEv-2GQ-eQS5ir7WQ, приступљено августа 2016.
- 20) https://www.google.rs/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimg1.weiku.com%2Fc%2Fcnc_1.JPG&imgrefurl=http%3A%2F%2F&iact=mrc&uact=8 приступљено августа 2016.
- 21) http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/20096-2786531.jpg, приступљено августа 2016.
- 22) <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wCEAAkGBxMT> приступљено августа 2016.
- 23) https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSUfYkfMPKDLyAh9fuJ-gQSl7dDu1dTQuq_GdU3TX7x53-aiZyz1j-0aSA, приступљено августа 2016.
- 24) http://www.parker.com/Online/Product%20Images/Electromechanical-Division-North-America/zoom_1000x1000/Rotary_Brushless_Servo_Motors_-_MPP_MPJ_zm.jpg приступљено августа 2016.
- 25) <https://cdn.hackaday.io/images/8633411456472125280.jpg>, приступљено августа 2016.

- 26) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTJMCUkCma5DnzbuAEXr1HcUzn713qPgIAykBluBNkhh3kkw3lBLw>, приступљено августа 2016.
- 27) <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSc1YfSJBQ9OSUCXDsnCGPGbYRDJCAsoAaMGxwuaARklOJHWRL>, приступљено августа 2016.
- 28) <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/> приступљено августа 2016.
- 29) http://www.shoda.com/e/image/hist_img1.jpg приступљено августа 2016.
- 30) <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQXcoFToAMXCPOcWARaSQUVwreyxgj-FLDobBJKT5TURAvav7wb>, jpg приступљено августа 2016.
- 31) http://upload.ecvv.com/upload/Product/20117/China_CPBR130_160_CNC_Planer_Type_Horizontal_Boring_Milling_Machine_with_Ram20117281422274.jpg, приступљено августа 2016.
- 32) http://thumbs2.picclick.com/d/w1600/pict/142076968137_/OKUMA-LNC8-Cade-CNC-Lathe-Turret-Tool-Changer.jpg приступљено августа 2016.
- 33) http://7192.ru/uploads/gallery_image/171/voda_1.jpg приступљено августа 2016.
- 34) <http://www.trumpf.com/en/products/power-tools.html> приступљено августа 2016.
- 35) http://img.frbiz.com/pic/z1a47a77-0x0-0/multi_functional_cnc_router_xj_1218_multi_spindle_cnc_router.jpg приступљено августа 2016.