

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Инжењерски алати

Број индекса: 2015/2015

Александар Б. Јовановић

Анализа примене CAD/CAM технологија у савременој производњи

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Ненад Марјановић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да спроведе детаљну анализу примене CAD/CAM система у савременој производњи на практичном примеру. Рад треба да представи кораке у производњи, од генерисања модела до његове израде. Акценат треба ставити на практичан рад у изабраном CAD/CAM софтверу. Направити осврт на улогу ових система у савременом конструисању. Истражити CNC технологије и извести закључке у виду сличности и разлика, односно предности и мана.

Препоручена литература:

[1] Основи конструисања – Др С. Јовичић, Др Н. Марјановић – Крагујевац 2011.

[2] CAD/CAM технологије – Др Г. Девеџић – Крагујевац 2006.

Крагујевац, 2017.

ментор:

Др Ненад Марјановић

Резиме

У овом раду изведена је анализа практичне примене CAD/CAM технологија у савременој производњи са акцентом на моделирању елемента и изради технолошке документације. Уводне напомене односе се на савремени индустријски развој и позицију човека у њему. Потом се говори о значају науке о конструисању и организацији послова, као и улози модерних технологија у конструисању. Највећа пажња посвећена је практичном примеру – моделирању и креирању документације, а затим и CNC технологијама. Закључак је изведен у виду резултата анализе, те запажања из исте.

Кључне речи: конструисање, CAD, CAM, CNC, моделирање, производња.

Summary

In this project it is analyzed practical use of CAD/CAM technologies in modern production with accent on modeling elements and generating technological documentation. Introduction tells about modern industrial development and humans position in it. Then it is wrote about importance of construction science and job organization, but also a function of modern technologies in it. Great attention is given to the real example – modeling and creating documentation, and then CNC technologies. Conclusion is done as a result of deep analysis, like observations from it.

Key words: construction, CAD, CAM, CNC, modeling, production.

Садржај

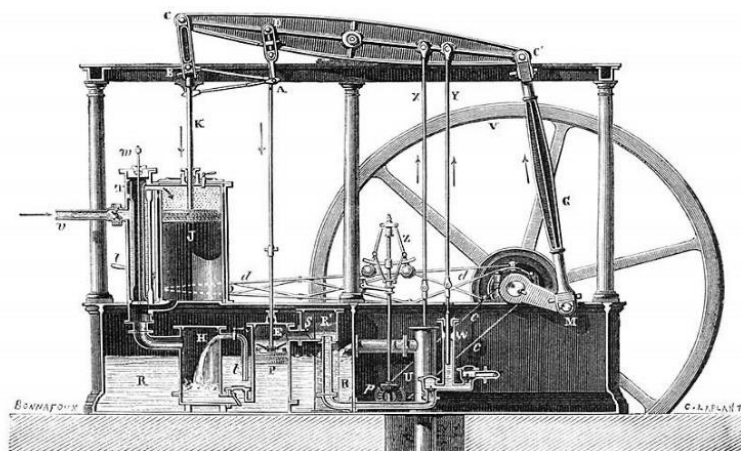
1. Увод.....	1
1.1 Улога и значај машинског конструисања	2
1.2 Организација послова конструисања.....	2
1.3 Конструисање помоћу рачунара	4
1.4 CAD/CAM системи.....	6
2. Анализа практичне примене CAD/CAM технологија	10
2.1 Моделирање делова.....	10
2.2 Пројектовање технолошких и производних процеса.....	20
3. CNC технологија	32
3.1 Радионичко програмирање	34
3.2 Координирање пословима у производњи.....	40
4. Закључак	44
5. Литература.....	46

1. Увод

Продуктивност у индустријској производњи има одлучујући утицај на економски напредак и стабилност једне земље. Она зависи од нивоа аутоматизације производње. Српска привреда има традицију у коришћењу али и производњи аутоматизованих средстава рада, за сопствене потребе и за извоз. Главни задатак инжењера и техничара је стални развој и увођење у индустријску примену високоаутоматизованих средстава рада као и аутоматизација производње.

У данашње време убрзаног развоја науке и технике свет се налази у једној од фаза које се називају фазама револуционарних промена. Развој технике и средстава за производњу никада није био равномеран. Током историје су се смењивали периоди убрзаног развоја и релативног стагнирања. Највећи напредак у развоју производних снага, познат као индустријска револуција, наступио је крајем осамнаестог и почетком деветнаестог века. Отпочео је 1773. године, с појавом механизованог разбоја за ткање. Следећи велики проналазак била је парна машина, конструисана 1769. године (слика 1), а затим је наступио буран развој технике и средстава за производњу, по чему је индустријска револуција и добила назив.

Развој науке и нових технологија наговештава крупне квалитативне промене у области производње и, уопште, у друштву. Развој рачунарских и комуникацијских система омогућава значајно повећање протока информација, а захваљујући високој аутоматизацији у индустрији од човека се све више тражи пројектовање и надгледање процеса производње. Схватајући значај и перспективе ових процеса, развијене земље одвајају велика средства за научноистраживачки рад и развој високих технологија. Велика улагања умногоме убрзавају процес развоја, па је оправдано говорити о новој технолошкој револуцији и преласку развијених земаља у нову постиндустријску еру.[1]



Слика 1: Парна машина Џемса Вата, 1769.

1.1 Улога и значај машинског конструисања

Предмет машинског конструисања је проучавање принципа и метода конструисања машинских система и његових делова, разматрање утицаја на формирање машинских конструкција као основне фазе у развоју система и дефинисање мера и препорука за побољшање и оптимизацију важних особина тих конструкција. При разради методологије конструисања машинских система треба обратити пажњу на опште тенденције развоја технике, као што су:

- неопходност скраћења времена за развој нових машинских система од идеје до њихове серијске производње,
- брз раст броја разноврсних облика машинских система у зависности од њихове намене и проширење обима послова конструисања,
- повећање обима научнотехничких информација коришћених у процесу развоја конструкција,
- даље продубљивање специјализације конструктора при повећању унификације и типизације појединих склопова, механизма и агрегата,
- пораст вредности основних параметара функционисања машинских система, као што су брзина, притисак, температура, јединична снага итд.,
- формирање основа савремене организације процеса развоја машинских система и послова конструисања,
- развој нових праваца у савременој машиноградњи у циљу задовољења општих техничких и економских захтева,
- остварење значајних успеха у области прорачуна конструкција машинских система, чиме се остварују системи са оптималним карактеристикама и
- развој и примена рачунарске технике као помоћног средства у конструисању са циљем да се процес конструисања убрза, олакша и побољша.

Савремени научнотехнички процес захтева да свака нова конструкција машинског система буде ефикаснија и боља од оне која јој претходи. Постизање овог циља могуће је само на бази нових стваралачких достигнућа науке и технике и уз пуно познавање постојећих информација на садашњем степену развоја машинског конструисања.[2]

1.2 Организација послова конструисања

Непосредни циљ послова конструисања је израда пројекта машинског система, односно формирање техничке и техно-економске документације неопходне за израду и експлоатацију самог система. Од сложености и одговорности конструкције зависи и обим и врсте захтеване документације. У првом реду та документација се односи на очигледан графички и описни приказ конструкције као целине и њених склопова и делова. Сем тога, обично је потребно у пројекту дати и разноврсну пратећу документацију у виду прорачуна, инструкција, упутстава и сл.

Технички цртежи, као најважнији облици приказа конструкције указују на: општи облик и габарите целе конструкције; облик, положај и повезаност појединих склопова и агрегата; облик, димензије, материјал, толеранције мера облика и положаја и квалитет обрађених површина свих машинских делова. Ти цртежи, поред израде појединих делова конструкције, треба да обезбеде и њихову контролу и успешну монтажу. Од остале документације дају се прорачуни основних параметара конструкције на бази одговарајућих критеријума, затим упутства за склапање, рад, управљање и одржавање система итд.

При извршавању послова конструисања долазе до изражаја лични квалитети конструктора, као што су ниво техничког образовања и квалификације, добро познавање савремених тенденција у датој и сродним областима, опште радно искуство, а посебно у дотичној области, познавање услова производње итд. Пошто у конструисању има доста висококреативних послова везаних за стварање идеја и нових замисли постоји мишљење да се конструктори рађају, односно да се конструисање не може научити, већ се само могу утренирати урођене способности. Ово мишљење се може односити само на конструкторе проналазаче високог ранга, јер је познато да сви не могу постати главни конструктори авиона, космичких летелица и сличних сложених објеката и да нису сви способни да изведу успешне конструкције посебне намене са новим принципима рада. Поред тога, чињеница је да су водећи конструктори постигли своју репутацију постепено, усавршавајући своја знања и развијајући своје способности на једноставнијим конструкторским задацима. Сем тога, на пословима сложених конструкција ради обично и цео конструкторски тим.

Ниво конструкторских послова може бити оцењен степеном новина у конструисању. У том смислу највиши ниво има такозвано оригинално конструисање, када се конструкција заснива на новим принципима рада. Други ниво је конструкционо усавршавање, када се ствара конструкција познатих принципа функционисања, али са новим, бољим карактеристикама. Трећи ниво се односи на конструисање принципски познатих система, али намењених другачијим условима експлоатације. Следећи ниво односи се на развој система из типизираних низа система где је конструкција матичног члана већ позната. Најнижи ниво конструисања има конструисање машинских делова или склопова у циљу усаглашавања са изменама у производњи и сл. Према томе, велики део послова конструисања отпада на реконструкције и еволуциона побољшања конструкција, док је мали део потпуно принципијелно нових конструкција. Искуство конструисања постиже се почевши са радом од најнижег нивоа, па крећући се ка вишим нивоима, стиче се потребна сигурност, док се не постигну креативна решења озбиљних задатака конструисања.

При организацији послова конструисања конструктори треба посебну пажњу да посвете проблему рационализације и убрзања тих послова, при све већем порасту сложености конструкција. Повећање рокова конструисања недопустиво је и стога што у данашње време техничка решења врло брзо застаревају услед честих промена и увођења нових открића.

Рационализација послова конструисања одвија се принципијелно у два правца. Први правац односи се на примену методологије конструисања, односно етапног конструисања по унапред утврђених корацима и фазама. Увођењем методологије у процес конструисања олакшава се и убрзава рад на конципирању и разради конструкције и избегавају се лутања, јер постоји тачно утврђен ред послова конструисања. Други правац се састоји у повећању продуктивности конструкторских послова путем увођења механизације и аутоматизације тих послова која се данас првенствено и искључиво своди на примену рачунара.[2]

1.3 Конструисање помоћу рачунара

Рационализација процеса конструисања добија у задње време све већи значај. Познато је да се продуктивност у индустријској производњи у периоду од почетка 19. века до средине шездесетих година 20. века повећала за око 10 пута, док је за исто време продуктивност у пословима конструисања повећана за свега око 20%. За то време главни алат конструктора била је цртаћа табла са шестаром и лењиром, а главни напредак је што је логаритмар за рачунање замењен цепним калкулатором. Са друге стране, неке процене су да око 60% одговорности за трошкове производа сноси конструктор, што значи да је конструктор тај који највише утиче на трошкове производње. Поред тога, инвестициона улагања у опрему и радну снагу у области технологије израде несразмерно су већа него улагања у опрему потребну за послове конструисања. Због свега тога схваћено је да је конструисање постало уско грло стварања производа и да рационализација тог процеса представља првенствени задатак у индустрији. У задње време тај задатак се решава применом савремене рачунарске технике и развојем методологије конструисања, са циљем да се процесом конструисања рационално овлада.

Буран развој рачунарства конструкторима је дао у руке моћно помоћно средство које убрзава, побољшава и олакшава њихов рад. Почетак коришћења рачунара у конструисању производа везан је за шездесете године прошлог века, када се уз њихову примену решавају проблеми прорачуна. Временом се развијају економични и приступачни CAD системи који захватају шира или ужа подручја конструисања, зависно од произвођача. Скраћеница CAD потиче од енглеског назива *Computer Aided Design*, а прихваћена је у целом свету са приближним значењем: конструисање помоћу рачунара.

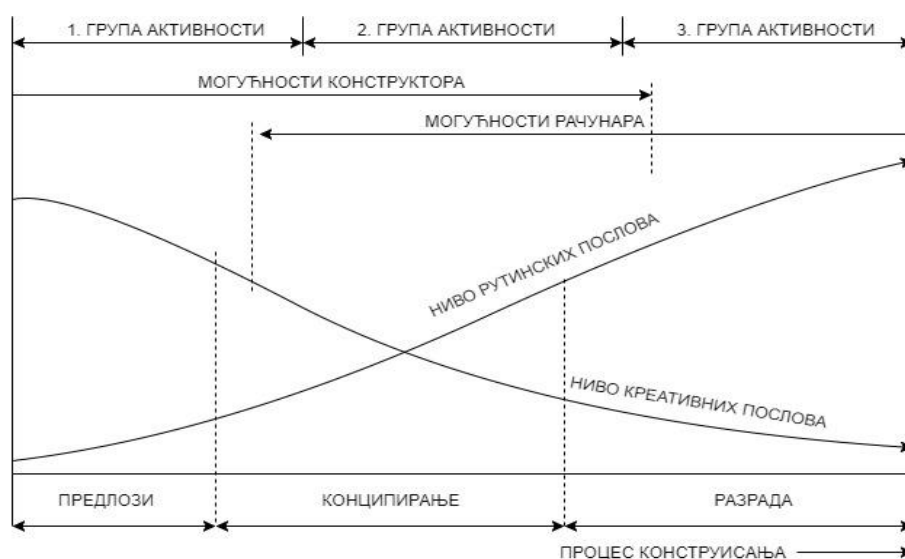
Применом рачунара могуће је знатно скратити време прорачуна, цртања и уређивања података, а истовремено добити јефтинији, поузданији и квалитетнији производ. Зато увођење CAD система знатно повећава продуктивност конструкционог бироа и смањује производне трошкове. Конструисање помоћу рачунара је активна метода код које конструктор и рачунар деле активност тако да свако ради оно што је његова предност. Човекова је предност у способности апстракције, високо креативног начина мишљења и искуственог и интуитивног одлучивања, док рачунар има предност у обради, трансформацији и манипулацији огромног броја информација великом брзином и тачношћу, затим у поузданом чувању информација са великим капацитетом меморије, а конструкцијска и програмска подршка омогућују му и доношење одлука до извесног

нивоа сложености. Брзи интерактивни процеси, које рачунар лако спроводи, погодни су за анализе великог броја варијанти и избор оптималног решења. Сем тога, периферијски уређаји рачунара омогућавају прилагодљив приказ података, решења, цртежа и прегледа зависно од сврхе.

Могућности система конструктор – рачунар приказани су на слици. На тој шеми активности везане за конструисање подељене су у три групе:

1. Активности које захтевају високу креативност карактеристичне су за почетну фазу конструисања у којој се стварају идеје, дефинише пројектни задатак и предлажу конструкционе варијанте идејног решења. Овде је присуство рада рачунара минимално.
2. Активности код којих је све мање присутна креативност, а повечана потреба за интеракцијском обрадом података и доношењем одлука у вези са анализом и синтезом варијантних решења. Овде је доминантан процес оптимизације, праћен методама моделирања и симулације и интензивна интеракцијска повезаност појединих активности. Удео рада рачунара у овим активностима је знатан.
3. Активности са минималном креативношћу, као што је израда завршног скупа информација, односе се на цртање склопних и радионичких цртежа и припрему пратеће документације. У овој фази долази до пуног изражаја примена рачунарске графике.

Као што се из претходног разматрања види, активност човека је доминантна у почетним фазама конструисања, а што се више приближава завршна фаза, све више доминира рад рачунара. Док у првој, креативној фази рачунар може помоћи евентуално само тако да конструктора снабдева потребним информацијама из база података, у каснијим фазама конструисања човек формира потребне моделе и алгоритме, док САД систем обавља прорачуне, доноси одлуке према унапред одабраним критеријумима и израђује потребну конструкциону документацију.[2]



Слика 2: Могућности система конструктор – рачунар [2]

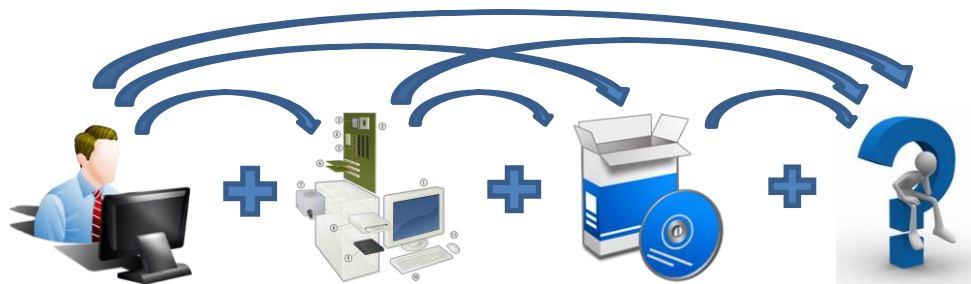
С обзиром на велику брзину рада рачунарских система укупно време конструисања скраћује се и по неколико пута у односу на класичан начин конструисања, а готово све рутинске радове преузима рачунар, чиме конструктору ослобађа време за креативан рад. Због савремених метода анализе, симулације и оптимизације производа постиже се већи квалитет, мања је могућност појаве грешака у конструкцији што, у крајњој линији, смањује трошкове производње.

1.4 CAD/CAM системи

Системи за пројектовање помоћу рачунара представљају скуп софтверских алата и технологија који инжењерима пружа низ погодности током рада на развоју конструкције производа. Те се погодности огледају у аутоматском извођењу конструкторских операција, као што су исцртавање линија, формирање тела, модификације, рад са базама стандардних елемената, размена цртежа и просторних модела и сл.[3]

Основне компоненте у систему конструисања помоћу рачунара су (слика 3):

- Корисник – инжењер конструктор,
- Хардвер – рачунар и периферни уређаји,
- Софтвер – један или више различитих CAD софтвера, али и оперативни систем рачунара, програми за табеларну обраду података, текст процесор, итд.
- Проблем – конструкцијски задатак, од чијег карактера и сложености зависе карактеристике и специфичности осталих елемената CAD система.



Слика 3: CAD систем [2]

Да би систем ефикасно функционисао, потребно је да постоје добре узајамне везе појединих елемената. У случају CAD система те везе значе на пример: да корисник треба да буде обучен да користи хардвер, CAD софтвер, али и да може да решава постављени задатак (и без примене рачунара), или да хардвер и софтвер буду међусобно усклађени тако да се максимално користе потенцијали хардвера и софтвера, или да хардвер и софтвер буду прилагођени специфичностима постављеног проблема итд.[2]

CAD системи дају следеће предности пројектовању:

- виши ниво квалитета (тачност, финоћа),
- реализује најобимније задатке и ослобађа човека рутинског посла,
- визуелну интерпретацију форме која омогућава пре израде, оцену функционалних и естетских вредности производа,
- омогућава специфичне анализе (прорачуни локалних напона код брзих процеса и сложених структура) из чега следи побољшање склопа пре израде,
- омогућује брзу израду техничке базе података, почевши од техничких цртежа до технолошких инструкција за аутоматизовану израду,
- интегрисана производња рачунаром (Computer Integrated Manufacturing - CIM).[4]

Буран развој комерцијалних CAD софтвера и конкурентски односи њихових произвођача довели су до тога да данас на тржишту постоји велики број различитих софтверских решења. Све савремене верзије CAD софтвера имају исте основне карактеристике (слика 4), а то су:

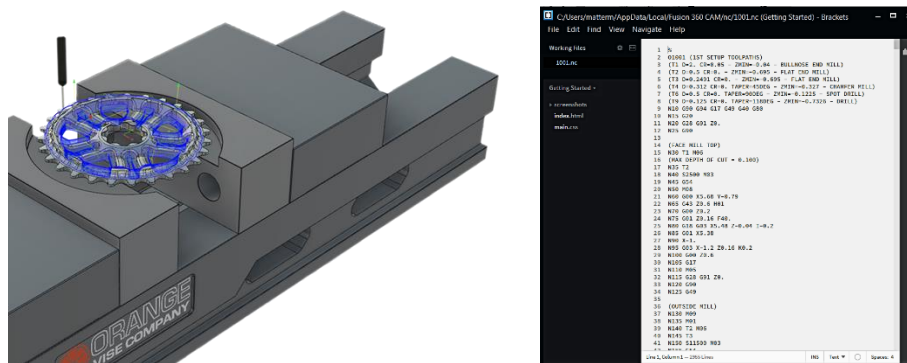
- Просторно (3D) моделирање – подразумева да се будући производ и његови делови креирају, приказују и памте као простори (запремински) објекти, што они у стварности и јесу,
- Моделирање засновано на фичерима – елементарним, једноставним блоковима, чијим се комбиновањем добијају модели мање или више сложених објеката,
- Параметарско моделирање – омогућава једноставно управљање изменама модела,
- Моделирање склопова – обезбеђује постављање модела делова у захтевани међусобни положај и проверу и оптимизацију процеса склапања и расклапања, као и функционисања склопа у различитим положајима,
- Базе стандардних елемената и готових производа – омогућавају да се модели стандардних елемената, облика и готове робе брзо и једноставно уносе у модел склопа машине, као и да се изврши њихов избор и прорачун,
- Аутоматизована израда конструкционе документације, која је високог квалитета и која се једноставно ажурира после сваке измене.[2]



Слика 4: Карактеристике CAD софтвера – моделирање фичерима, параметарско моделирање, моделирање склопова, стандардни елементи, техничка документација

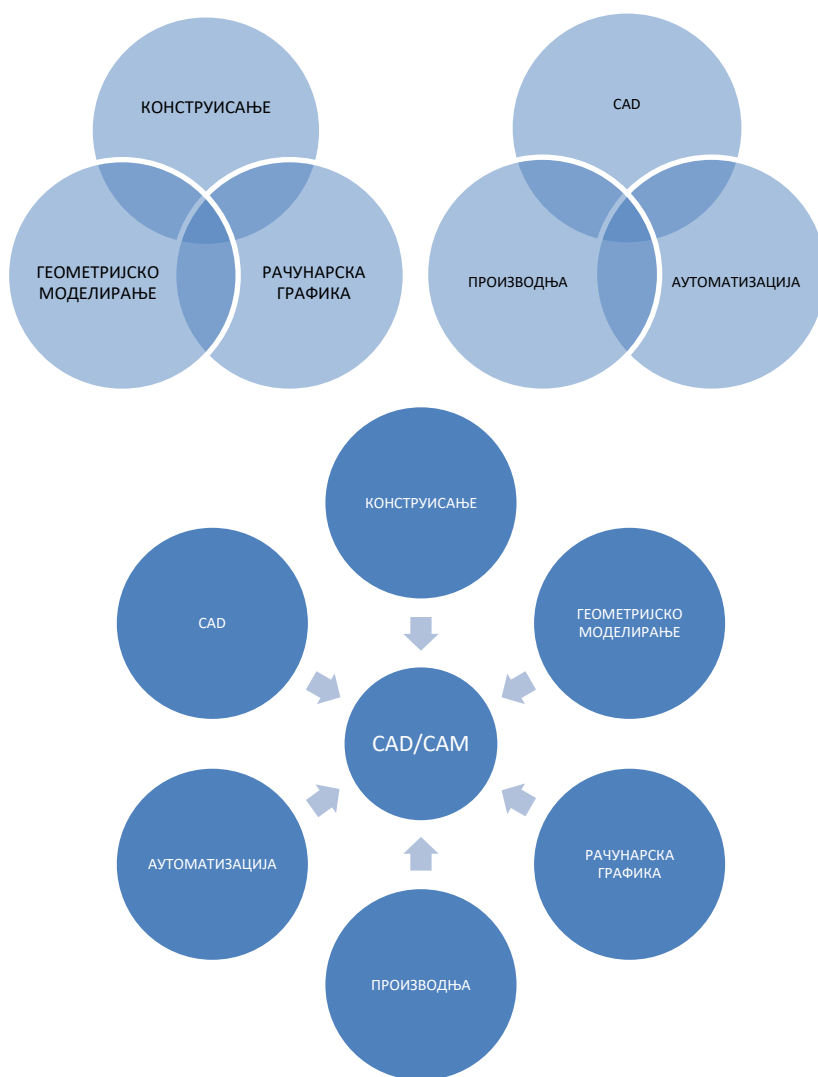
CAD модел креиран у процесу конструисања се може користити и у наредним фазама животног циклуса производа, а неопходан је ако се у тим фазама користе рачунари, што је све чешћи случај. Зато се данас развијају интегрисани, такозвани PLM (*Product Lifecycle Management*) системи који садрже рачунарске (CAx) технологије за све фазе животног циклуса производа, као и за њихову међусобну повезаност.

Када се заврши развој конструкције производа неопходно је приступити његовој производњи. У светлу рачунарске подршке и интеграције релевантних производних функција и активности, за ову намену користе се САМ системи, односно софтверски системи за рачунаром подржану производњу. Као најчешћа област примене ових система наводи се пројектовање и симулација обрадног поступка и генерисање програма за нумерички управљане машине алатке (слика 5). Међутим, ови системи имају веома широко значење, с обзиром да, у општем случају, покривају велики број функција и активности које припадају различитим областима производних система, техника и технологија. Тако се, на основу САД модела производа, могу изводити операције везане за праћење и управљање процесима, управљање производном и помоћном опремом и сл.



Слика 5: Симулација обрадног поступка и генерисање NC кода

CAD/CAM технологије представљају део укупне подршке процесима конструисања и производње. Срж њихове примене чини такозвани модел производа, односно рачунарска представа стварног производа. Сваки од скупова софтверских алата везан је за подршку појединим фазама развоја производа. Активности из фазе конструисања односе се на креирање облика, димензија, толеранција, физичких особина, склопова, анализе, цртежа и техничке документације. Стога САД процеси и алати обједињавају три дисциплине: геометријско моделирање, рачунарску графику и конструисање. Са друге стране САМ процеси су директно везани за САД моделе, али обједињавају и производне дисциплине, као и дисциплине аутоматизације. Активности производне фазе пројектовања производа подразумевају планирање технологије обраде и израде, програмирање нумерички управљаних машина алатки, пројектовање алата, мерење и контролу, управљање производном, транспортном и другом опремом итд.[3]



Слика 6: Дисциплине CAD/CAM технологија – CAD дисциплине, CAM дисциплине, CAD/CAM систем као интегратор [3]

Све ово наводи на закључак да CAD/CAM технологије представљају својеврсни интегратор за већи број научно – техничко – технолошких дисциплина. Помоћу њих се ствара основа за остваривање суштинских потреба савременог развоја производа и процеса. Најчешће примењивани у свету CAD/CAM софтверски пакети високог нивоа, засновани на тродимензионалном (3D) моделирању геометрије су UNIGRAPHICS, CAEDS, IDEAS, CATIA CADAM, PROINGENER и др. Широку примену имају CAD софтверски пакети за конструисање и цртање засновани на раванској (2D) презентацији геометрије делова, нпр. AUTO CAD и др.

2. Анализа практичне примене CAD/CAM технологија

Улаз у процес пројектовања технолошких процеса обраде представља CAD модел. Корисник може дефинисати модел - производ, тј. задати његове параметре у виду цртежа (дводимензионалних или тродимензионалних). Овај приступ је посебно погодан уколико се користи тзв. интерактивна графика. Тада се измена података своди на корекције цртежа. Излаз из процеса је програм за обраду дела, односно НУ програм. Овај програм се може пренети (учитати) у управљачку јединицу машине на више начина: ручно, преко тастатуре на НУЈ; аутоматски, читавањем у НУЈ перфориране траке, магнетне касете, дискете итд.[1]

Разматрани пример (слика 7) је преузет из производног асортимана једне фирме за машинску обраду. Софтвер који је коришћен је Esprit CAM. Овај систем високих перформанси пружа могућност програмирања CNC машина за било који алат. Спектар функција Esprit-а обухвата програмирање глодања за 2-5 оса, стругања за 2-22 осе и електроерозије за 2-5 оса. Поседује високе перформансе симулације у реалном времену. Свеобухватна детекција коинцидентности гарантује да ће чак и најсложеније контуре делова бити исправно представљене. Такође детаљно симулира слику комплетног машинског окружења: алате машине, инвентар, стеге, радни предмет итд.[6]

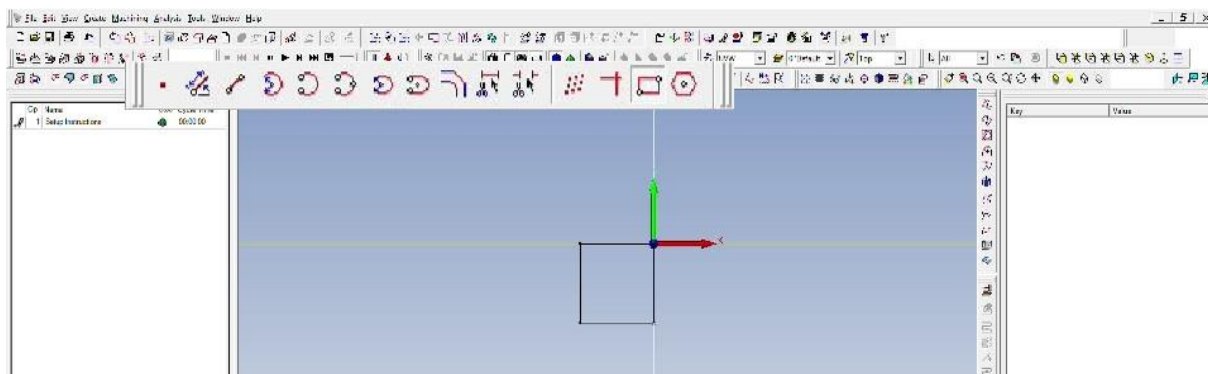
Моделирање овим софтвером заснива се на примени моделских форми (*features*), односно најраспрострањенијој CAD технологији. Доноси је четврта генерација производа за аутоматизацију пројектовања у машинству, карактеристична по асоцијативном и параметарском конструисању што додатно подиже ниво ефикасности развоја производа. Подсећања ради, прва генерација подразумевала је системе за 2D цртање, скромних могућности, али квалитетне основе за развој. Друга је омогућила стварање 3D жичаних модела, а трећа запреминских. Такође, уведени су примитиви – једноставни, генерички, стандардизовани облици тела (призма, цилиндар, сфера, купа, конус, торус), а њихово комбиновање, у циљу стварања 3D модела, изводи се помоћу Булових операција (унија, пресек, разлика).

2.1 Моделирање делова

Без обзира на сложеност геометрије конкретног елемента и категорије конструкције којој припада (стандардни или специјални, ливени, лимени итд.) поступак има мање или више универзалан ток и састоји се од следећих корака:

- Формирање скица,
- Креирање моделских форми,
- Компоновање моделских форми у део.

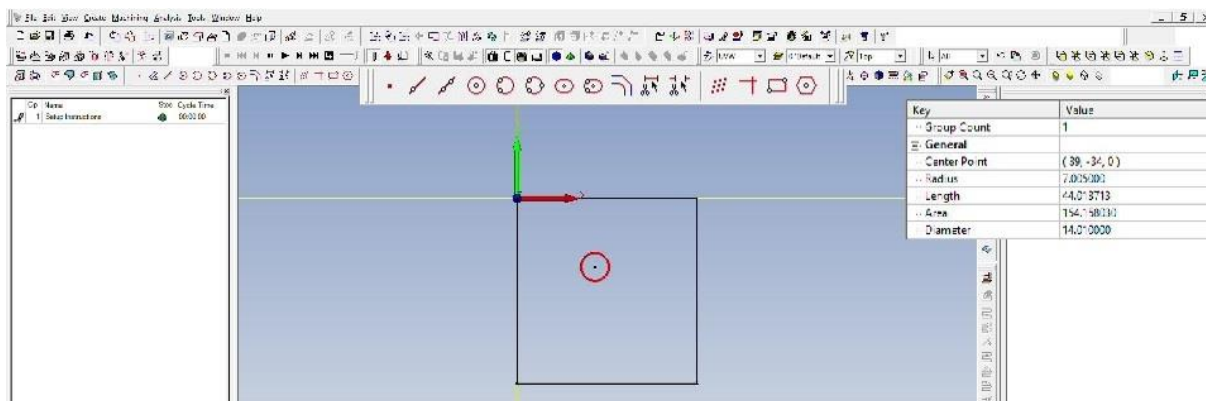
Формирање скица започиње избором равни скицирања. На приложеним сликама се могу видети изабрана раван и почетни кораци. Запажа се да се скица састоји од скупа геометријских ентитета, параметара и ограничења. У геометријске ентитете спадају дужи, полигони, кружнице, елипсе, лукови, заобљења, криве, тачке итд. Кориснику је сваки од ових алата доступан на линији алата за скицирање.



Слика 8: Скицирање у изабраној равни са приказом основних и изабраног алата

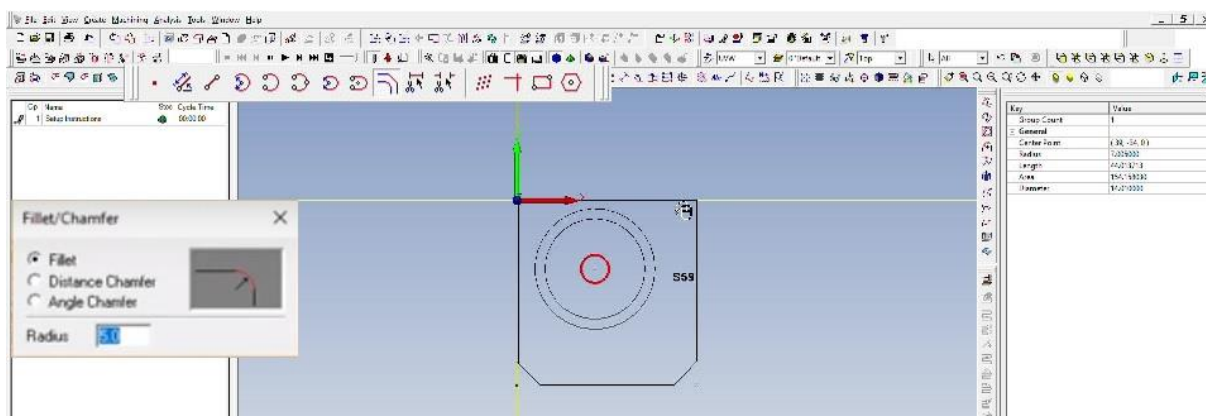
Код команде за полигон (*Polygon*), неопходно је задати два темена која се могу дефинисати претходним задавањем тачака командом *Point* или директно уношењем координата у табелу. Приликом скицирања правоугаоника CAD систем аутоматски поставља ограничења управности и паралелности страница, као и ограничење заједничких (коинцидентних) тачака у теменима правоугаоника.

Исти поступак односи се на кружницу (*Circle*), чијем скицирању се приступа након полигона (слика 9). У овом случају пожељно је претходно мапирати центар тачком из простог разлога што би се исти могао користити за остале кружнице, чиме би се осигурала концентричност, али и избегло ручно уношење координата центра. Закључак је да се над једном скицом или елементом скице могу извршити различите моделске операције – вишеструко се користити. За сваку кружницу над којом ће касније бити извршена нека моделска операција, а нарочито оне које се односе на толерисане отворе препорука је да се пречник задаје као центар њеног толеранцијског поља. Конкретно, у овом случају је обрађен пример отвора Ø14H7 и задат је полупречник 7.005mm. Разлог је тај што се приликом симулације, а касније и израде дела може користити (један исти) алат са истом (реалном) коректуром пречника за више таквих операција у истом стезању. Ова препорука није уско везана за толерисане отворе, већ се односи и на спољне пречнике, дужине итд. Поступак се понавља и за преостале две кружнице.



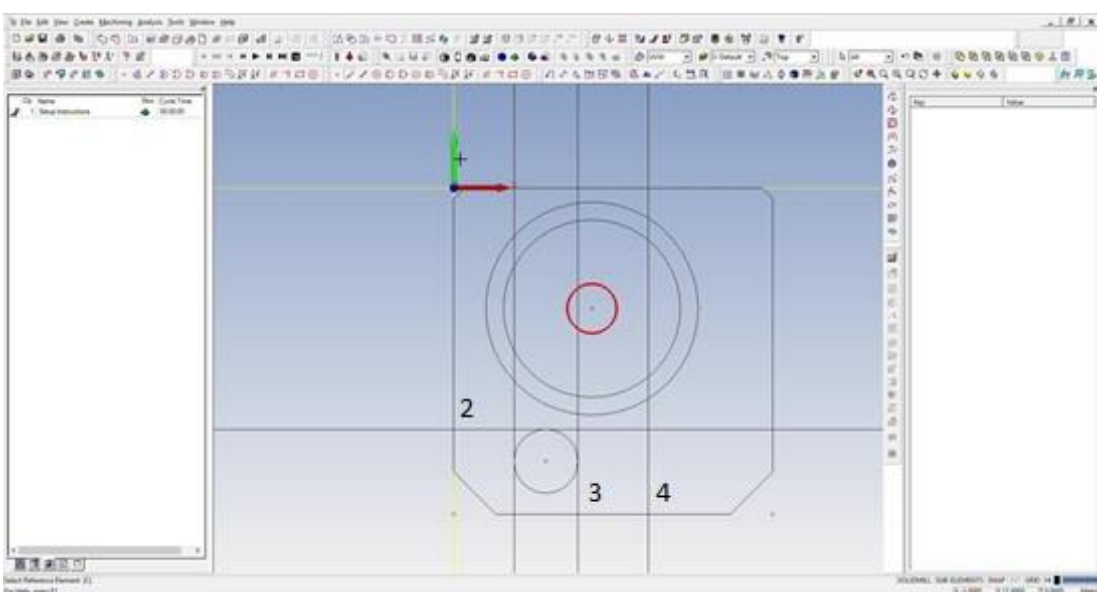
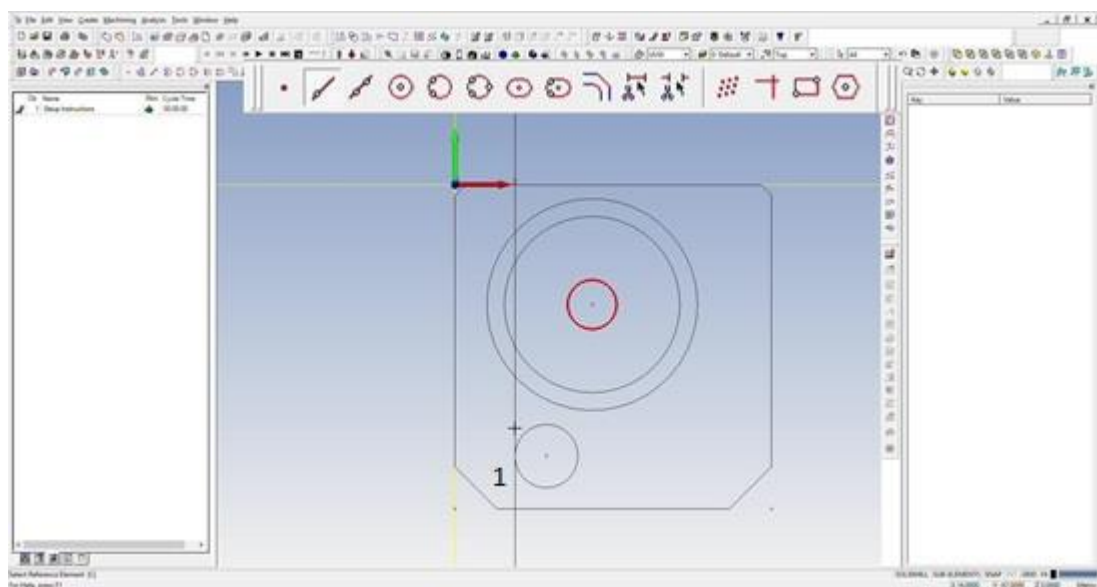
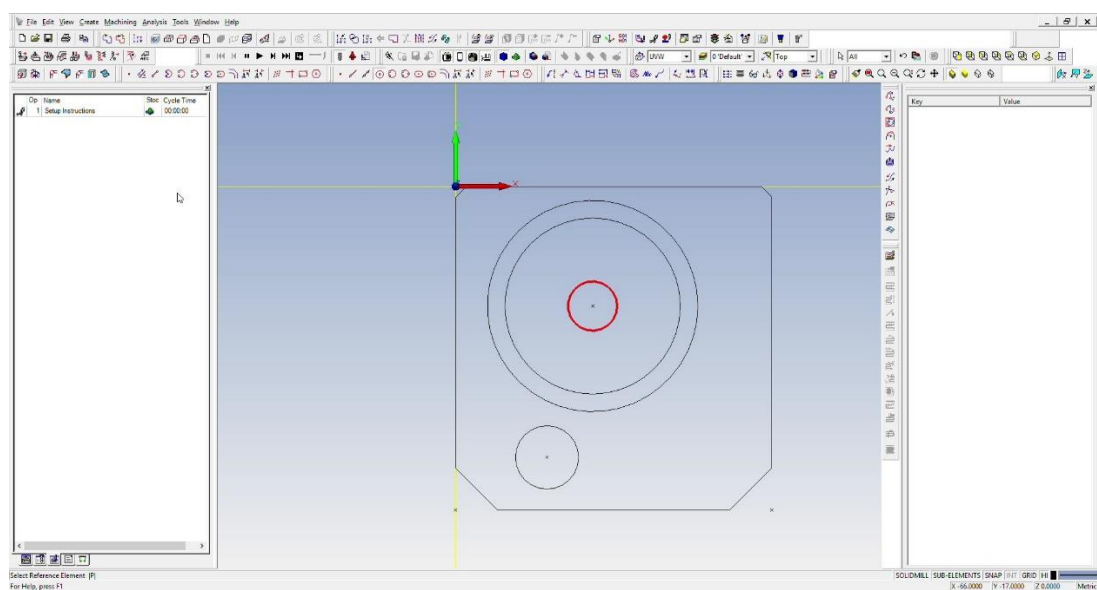
Слика 9: Скицирање кружности са табеларним уношењем параметара

Обарање ивица и израда заобљења (слика 10) спада у такозване зависне моделске форме. Најчешће се не скицирају посебно већ се придружују постојећим моделским формама. Наравно, постоји могућност њиховог извођења и током скицирања, као у разматраном случају. Изводи се опцијом *Fillet/Chamfer* са приказане линије алатки. За изабрану подопцију се задају параметри и то: за заобљење радијус, а за оборену ивицу угао и дужина катете (у нашем случају 12mm и 2mm). Након тога се селекују коинцидентне стране и тиме је ова форма изведена. Битно је напоменути да овакве моделске форме, али и форме као што су нагиби, танкозидни елементи код модела и сл. услед зависности од основне геометријске форме не могу постојати независно од њих, али наслеђују многе карактеристике од истих.



Слика 10: Обарање ивица контуре

Раније поменути ограничењима (*Constraints*) задају се геометријске зависности. Ограничења или везе у скицама представљају услове везане за међусобни положај, мере и односе које елементи скице, од којих настају моделске форме, морају испуњавати. Постоје следећа геометријска ограничења: паралелност, управност, колинеарност, тангентност, концентричност, симетричност и коинцидентност.

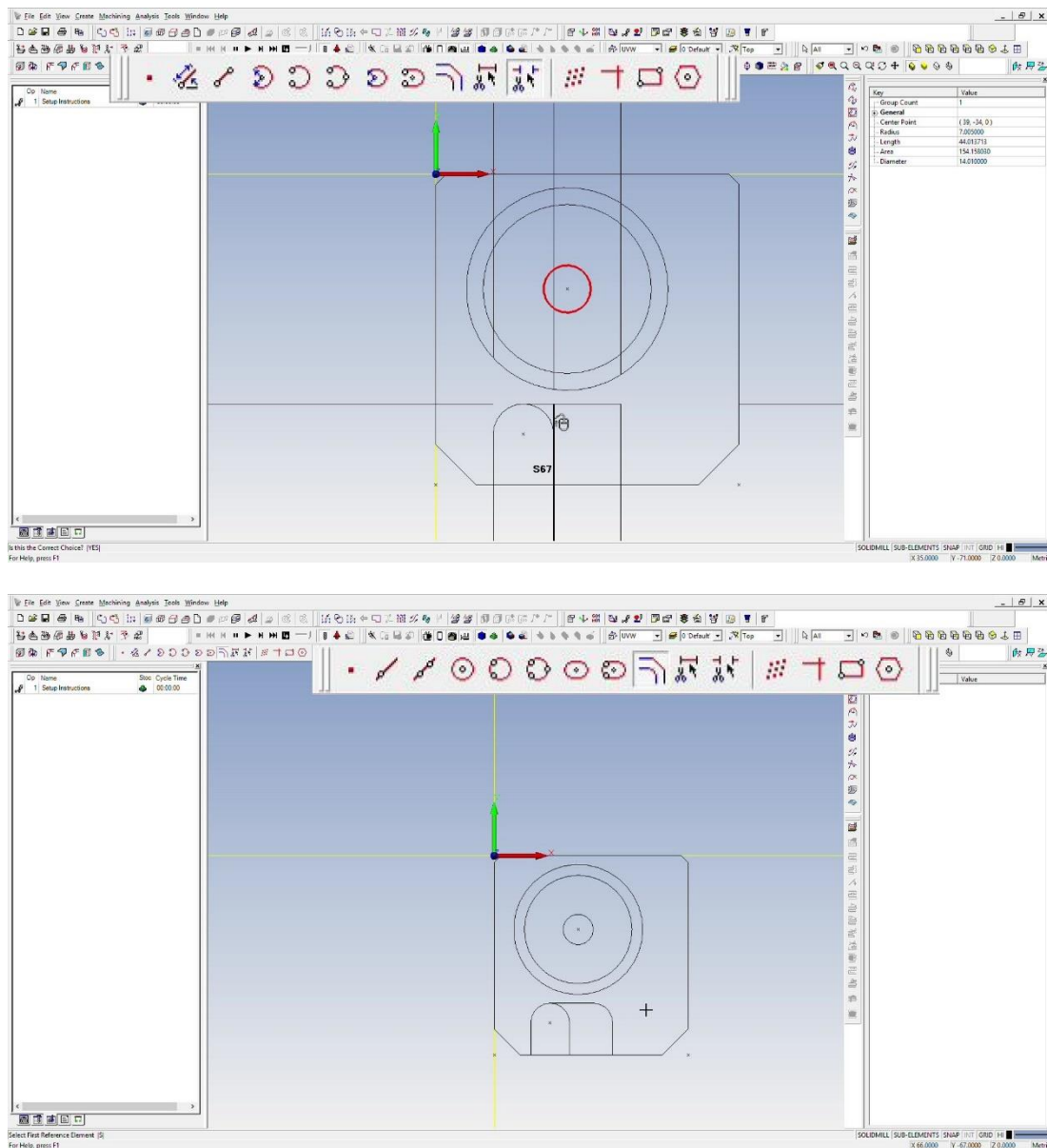


Слика 11: Поступак исцртавања линија задавањем ограничења

Принцип задавања ограничења се може искористити за формирање дела контуре сложеног облика (слика 11). Поступак почиње скицирање кружнице пречника 18mm, колики је полукружни отвор, са центром задатим према цртежу. Затим се у односу на њу исцртавају линије на растојању задатом цртежом и са следећим ограничењима:

- Линије 1, 2 и 3 тангирају кружницу,
- Линија 4 је паралелна са линијама 1 и 3,
- Линија 2 је управна на остале линије.

У даљем поступку се одсецањем сувишних делова линија опцијом *Trim*, а потом и заобљавањем опцијом *Fillet* формира коначна контура (слика 12).



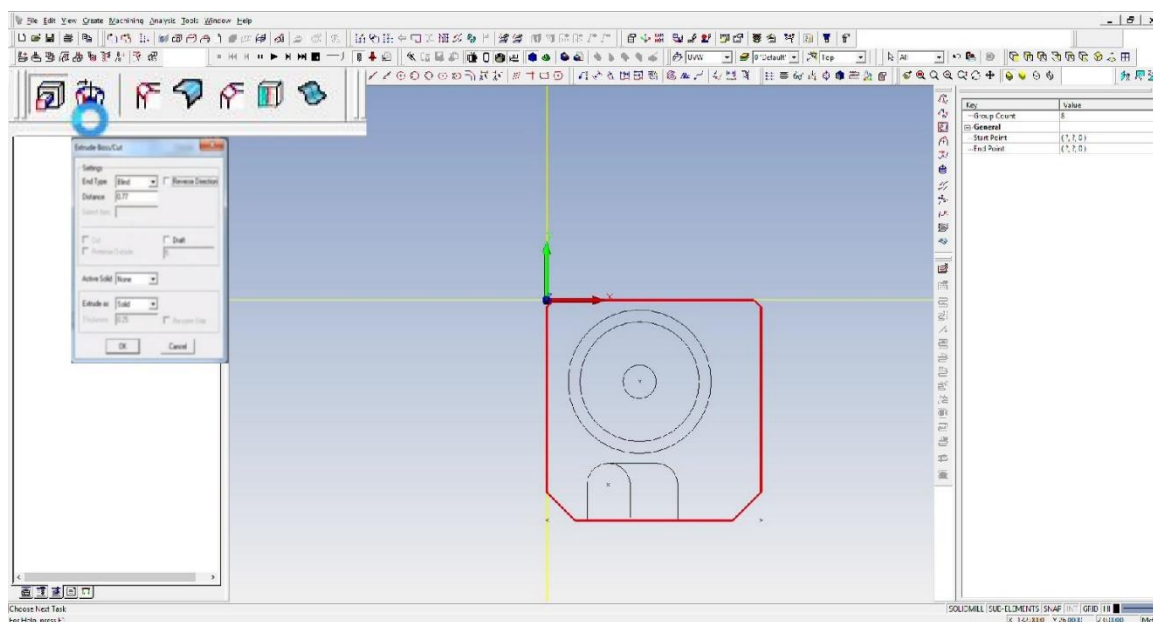
Слика 12: Поступак одсецања вишкова и готова контура

Креирање моделских форми настаје применом одговарајуће моделске операције над скицом. Оне моделу могу додати или одузети материјал, док се моделске форме, као такве, увек додају моделу. У ове операције спадају:

- Извлачење,
- Ротација,
- Извлачење по путањи,
- Извлачење кроз пресеке,
- Израда отвора,
- Обарање ивица,
- Заобљавање ивица,
- Креирање ребара,
- Креирање нагиба,
- Креирање кутијастих облика,
- Пресликавање,
- Умножавање,
- Скалирање.[3]

Поред ових постоји и читав низ других моделских операција које пројектанту олакшавају рад на креирању и модификацијама моделских форми, као и њиховим манипулацијама, а већ је напоменуто да се над једном скицом или елементом могу извести различите операције.

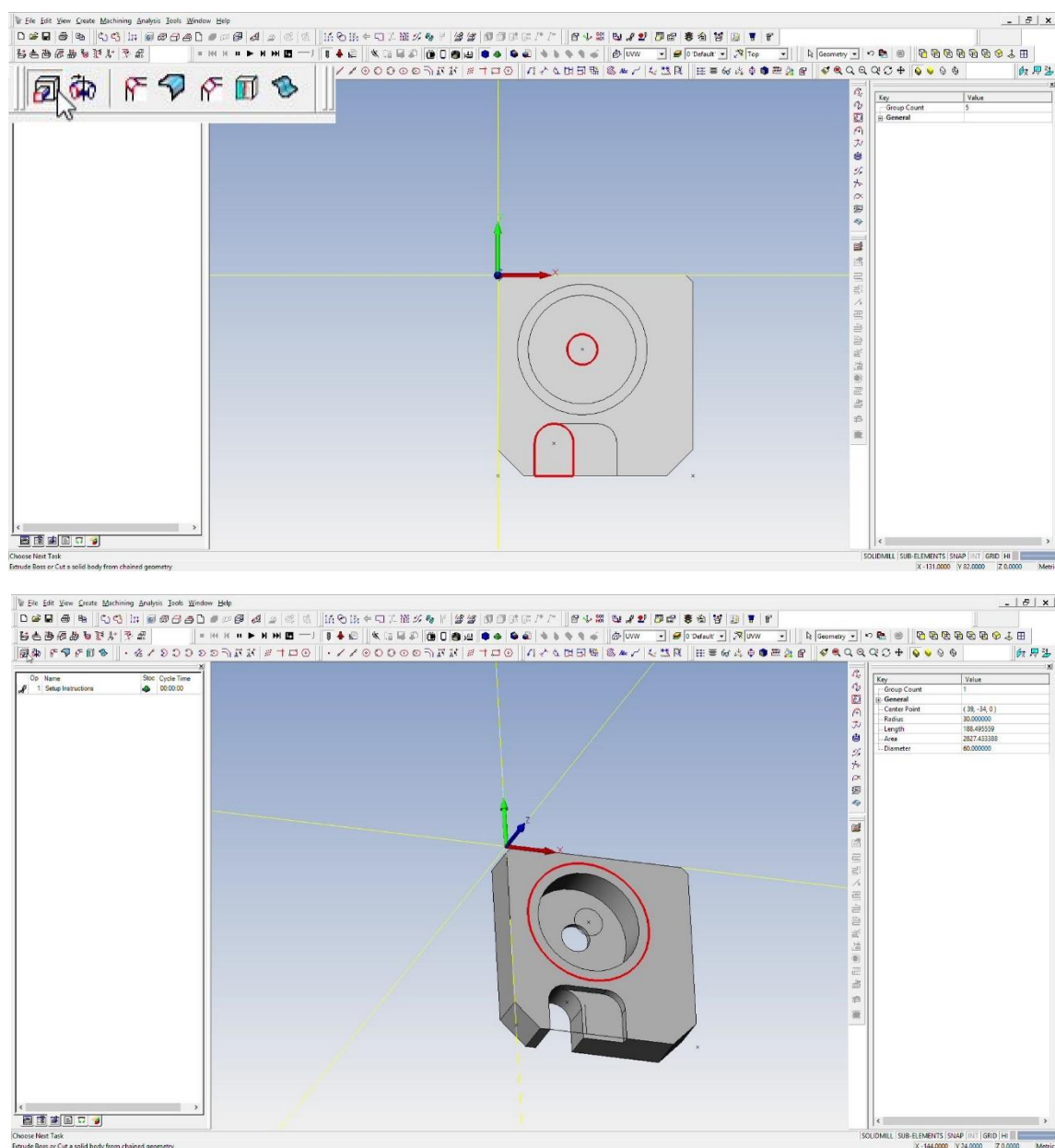
Појединачни делови настају кроз поступак компоновања моделских форми у модел производа. Тај поступак се изводи додавањем допунских моделских форми основној (базној). Основна геометрија производа одређена је скупом запреминских моделских форми, али њена укупна дефиниција садржи и низ других помоћних.



Слика 13: Поступак извлачења основне скице

Што се тиче анализираног примера, запажа се да је базна скица састављена од више независних ентитета у истој равни. Независно од тога, над сваким ентитетом ће се извршити одређена моделска операција, али је битно да смерови операција које се изводе буду одговарајући. Њиховим комбиновањем касније добиће се финални производ.

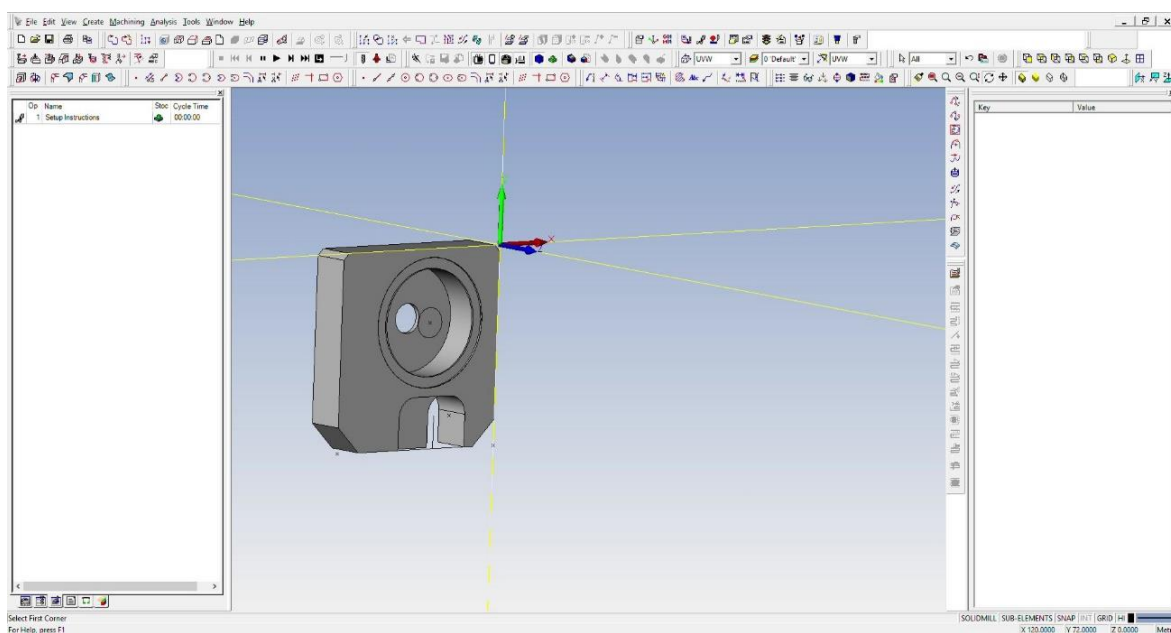
За почетак се на основну (селектовану) контуру примени команда извлачења (*Extrude Boss/Cut*), чији су основни параметри смер и дужина (слика 13). Иста команда користи се и за одузимање материјала, и то селектовањем одговарајуће контуре, уношењем одговарајућих параметара, али и укључивањем подопције *Cut*, што практично значи негативно извлачење. Поступци су приказани на наредним сликама.



Слика 14: Поступак израде отвора

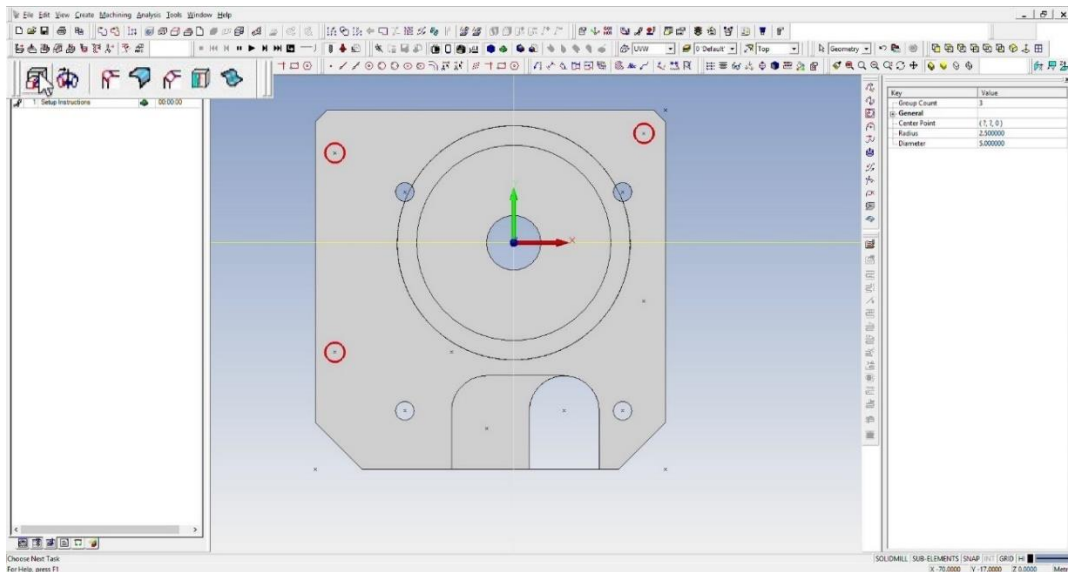
Модификације скица, параметара и ограничења могу, због особине асоцијативности, чинити у било ком тренутку током пројектовања делова и целих производа. Програмско језгро CAD/CAM, односно PLM система пропaгираће измене у све релевантне сегменте пројекта, тако да пројектанти могу рачунати на пуну ажурност у сваком тренутку.

У овом случају, у старту је изабрана пројекција која је пружала највише информација о димензијама и растојањима. По њој је изведена скица, а касније моделским операцијама и модел. Међутим, да би модел одговарао задатом, неопходно је извршити ротацију око одговарајуће осе – пресликати га. Након извршене ротације добија се валидан модел, са свим задржаним мерама и ограничењима (слика 15).

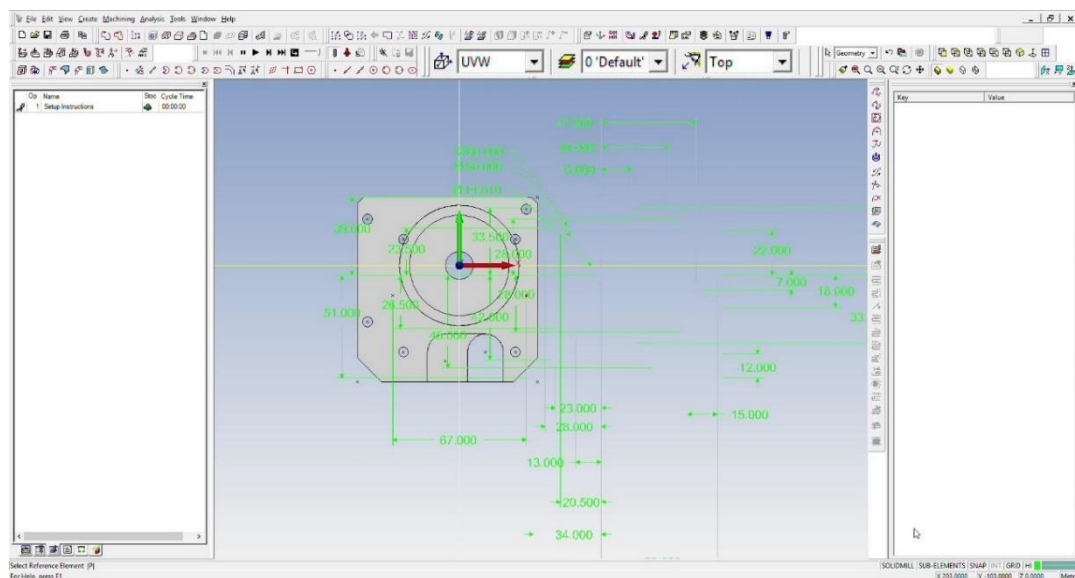


Слика 15: Пример асоцијативности код ротације

За израду рупа и навоја (слика 16) примењује се уобичајен поступак – обележавање центара, скицирање кружница и извлачење (*Cut*-овање). Код слепих рупа се у пракси не израђује упуштено дно, већ се у дубину зарачунава висина конуса бургије, а дно моделира као равно. Имајући у виду начин котирања на цртежу, координатни почетак се може преместити у центар рупе Ø14H7. На овај начин се избегава рачунање осних растојања, а координате се уносе лакше и сигурније.



Није тешко закључити да је број елемената које цртеж као база података може да обухвати практично недостижан. За толики број елемената се поставља питање њихове рационалне организације, односно, прегледност цртежа. Као решење, софтвер нуди могућност да елементе цртежа постављамо на различите слојеве (*layers*) које корисник доживљава као низ провидних фолија постављених једне изнад друге (*слика 17*).



Ова могућност је корисна јер се њеном применом брзо и лако може урадити контрола израђеног модела. Сваки елемент скице приликом скицирања добија и котну линију са одређеном вредности које се из горе наведених разлога не приказују. У случајевима као што је разматрани, где постоји доста рупа нпр., значајна је могућност контроле величине и растојања у било ком тренутку. Креирањем слоја у којем ће се приказивати само котне линије и избором истог из менија слојева то постаје изводљиво.

2.2 Пројектовање технолошких и производних процеса

Када се заврши развој конструкције појединачних делова и склопова, у смислу детаљне разраде, анализе и оптимизације геометрије и физичких особина, приступа се њиховој изради. Другим речима, потребно је дефинисати процес трансформације од електронске форме модела ка физичкој форми готовог производа. С обзиром да производња представља кључну фазу, од великог је значаја обезбедити услове за претходну проверу свих аспеката исте. Тиме се могућност појаве неквалитетних производа, неповољних токова материјала, повреда на раду и сличних проблема своди на минимум. То резултира скраћењем времена од идеје до појаве производа, смањењем или изостајањем измена током реалне производње, редуковањем трошкова итд.

За ову намену користе се САМ системи, односно програмски системи за рачунаром подржану производњу. САМ системи имају широко значење, с обзиром да, у општем случају, покривају велики број функција које припадају различитим областима производних система, техника и технологија. Имајући у виду савремене начине развоја производа и пратећих процеса, може се рећи да САМ системи чине логичан наставак САД система. Стога се данас ови системи све ређе срећу као независни, већ као интегрисани подсистеми шире класе САД/САМ или РЛМ система.[3]

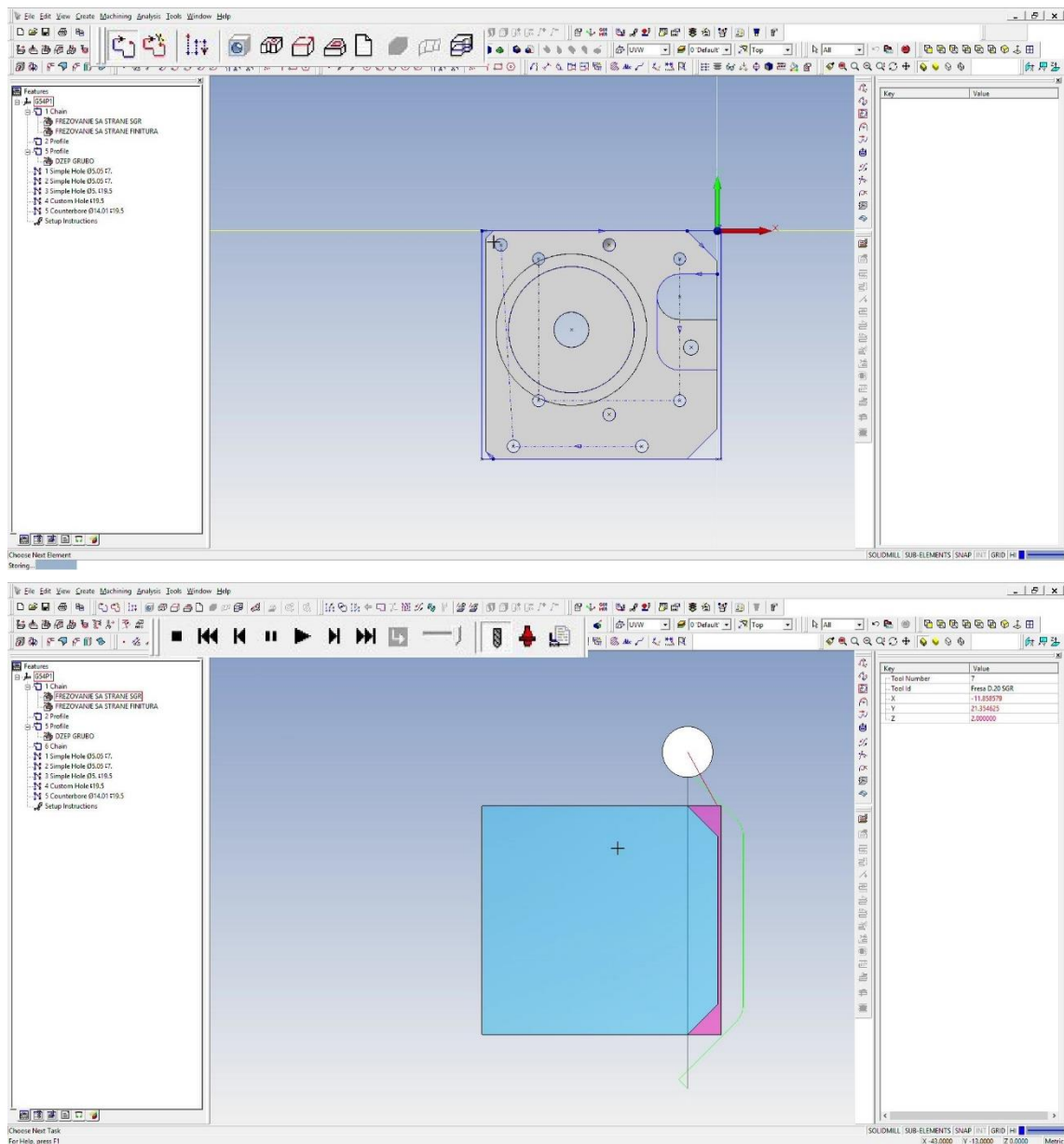


Слика 18: Основне функције САМ система [5]

Геометријски модел производа представља финални облик који треба постићи након израде. Припремак од кога настаје појединачни машински елемент другачијег је облика. Може бити начињен од материјала стандардног облика (плочастог, ваљкастог), или да буде добијен ливењем или ковањем као полуфабрикат сложеног облика чије се функционалне површине накнадно обрађују.

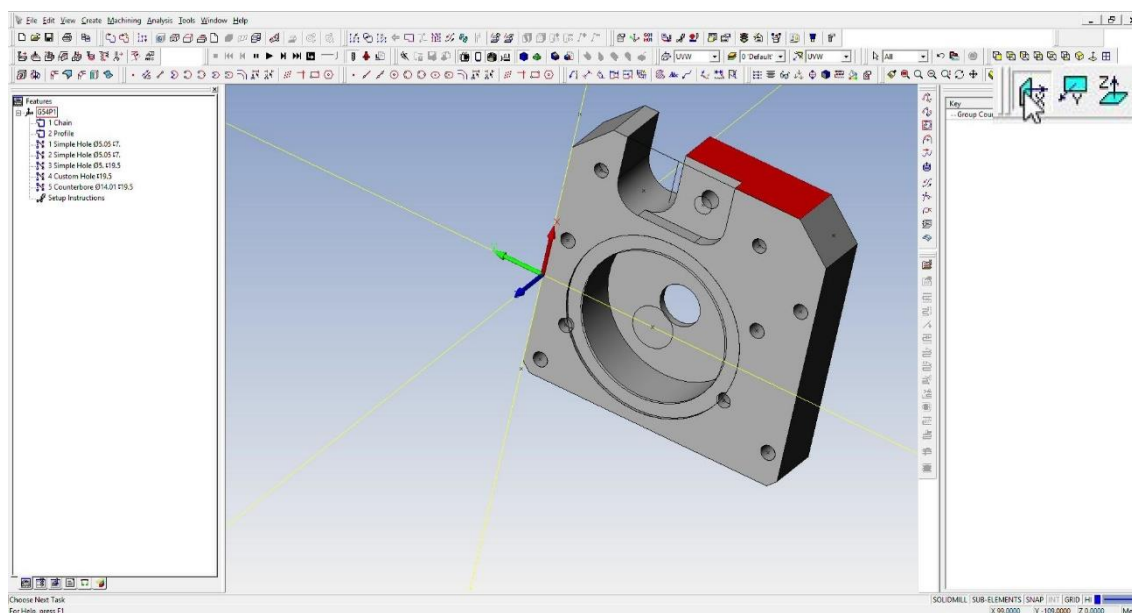
На избор припремка утиче мноштво фактора, као што су величина серије, облик, димензије и функција производа. САМ системи имају могућност аутоматског генерисања припремка на основу геометријског модела производа. Ова функција заснива се на логици додатака за обраду, односно стандардних димензија материјала. Користећи габаритне димензије геометријског модела систем генерише допунски модел и придружује га основном (слика 19). У неким случајевима припремак је величине габаритних димензија модела, а има стандардни облик паралелопипеда или ваљка.

Аутоматско генерисање припремка није увек могуће или пожељно, па је кориснику остављена могућност директне интервенције и креирања припремка као што је представљено на слици.



Слика 19: Генерисање модела припремка и тест

Пре дефинисања захвата са свим детаљима неопходно је поставити координатни систем у положај који ће се касније користити и у изради на машини. Након тога, све позиције ће се читавати у односу на тај координатни почетак. Овај корак треба да обезбеди исправну обраду и лакшу контролу захвата и операција, али и да олакша даљи ток пројектовања технолошких процеса колико је могуће. Наравно, овај поступак је могуће и касније извести без последица, са потпуном асоцијативношћу, нпр. на захтев радника и сл. Процедура је крајње једноставна, означеним странама модела додели се жељена оса (слика 20).

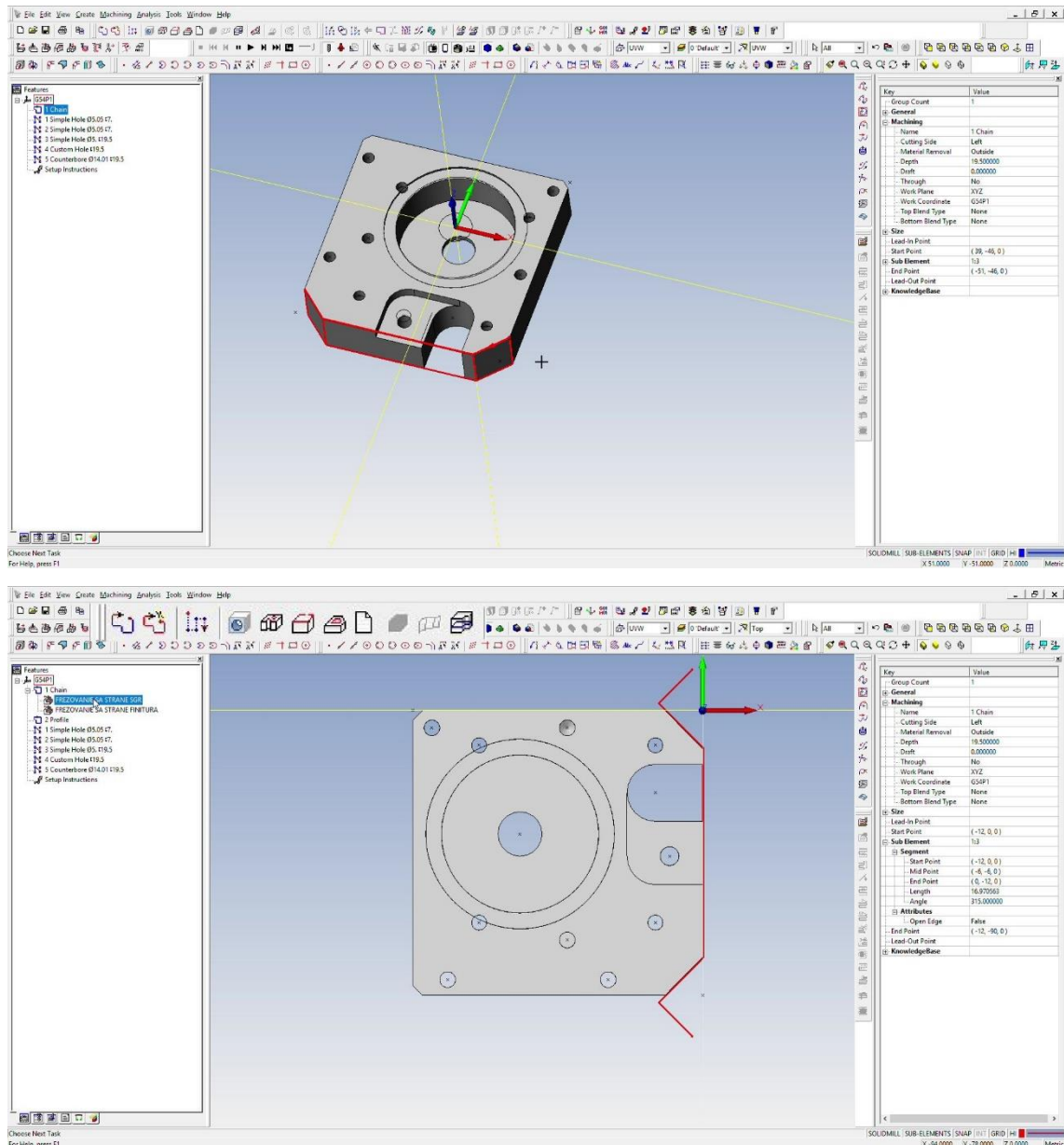


Слика 20: Дефинисање координатног система

Путања алата је скуп линија и тачака дуж којих се алат креће и у којима се посебно позиционира, или се извршава нека функција машине, од свог базног положаја у радном простору машине, па током активне обраде дела, све до поновног враћања у базни положај. Пролаз представља један циклус кретања алата по путањи. Алат се дуж активног дела путање најчешће креће у више пролаза.[3]

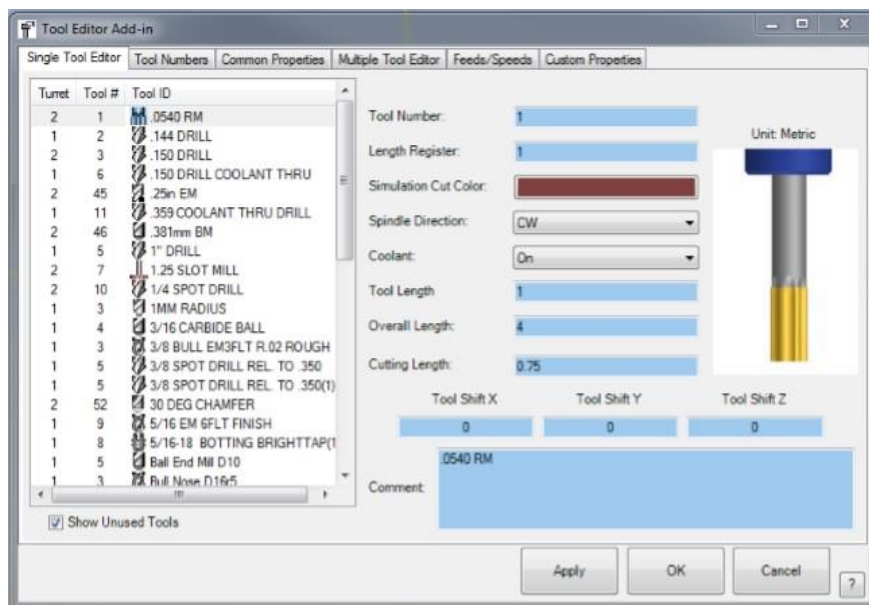
Генерисање и оптимизација путање алата је функција која се најчешће изводи у оквиру технолошког планирања. Међутим, има производних ситуација које захтевају накнадну проверу путања алата и њихову корекцију. Оне се најчешће изводе када су путање алата ограничене конфигурацијом машина, опреме или рецимо околине. Дакле, поред радних путања, директно повезаних са израдом производа, треба исправно генерисати и помоћне путање којима су дефинисани начини прилаза алата, брзи и слободни ходови и сл.

На слици је приказан процес формирања путања алата. Најпре је потребно означити елементе који представљају резултат интеракције алата са материјалом – припремком. То могу бити рупе, отвори, навоји, цепови, разне површине итд. Овим елементима се додају захвати помоћу опција *Facing*, *Pocketing*, *Contouring*, *Drilling*, *Spiraling*, *Threading* итд. У десном делу прозора налазе се детаљи одређеног захвата. Ту су приказане координате почетне и крајње тачке профила који се обрађује, радна равна, нула комада, дужина и дубина профила, смер обрађивања итд. Сваки од захвата хијерархијски је позициониран на технолошком стаблу модела, на левој страни прозора.



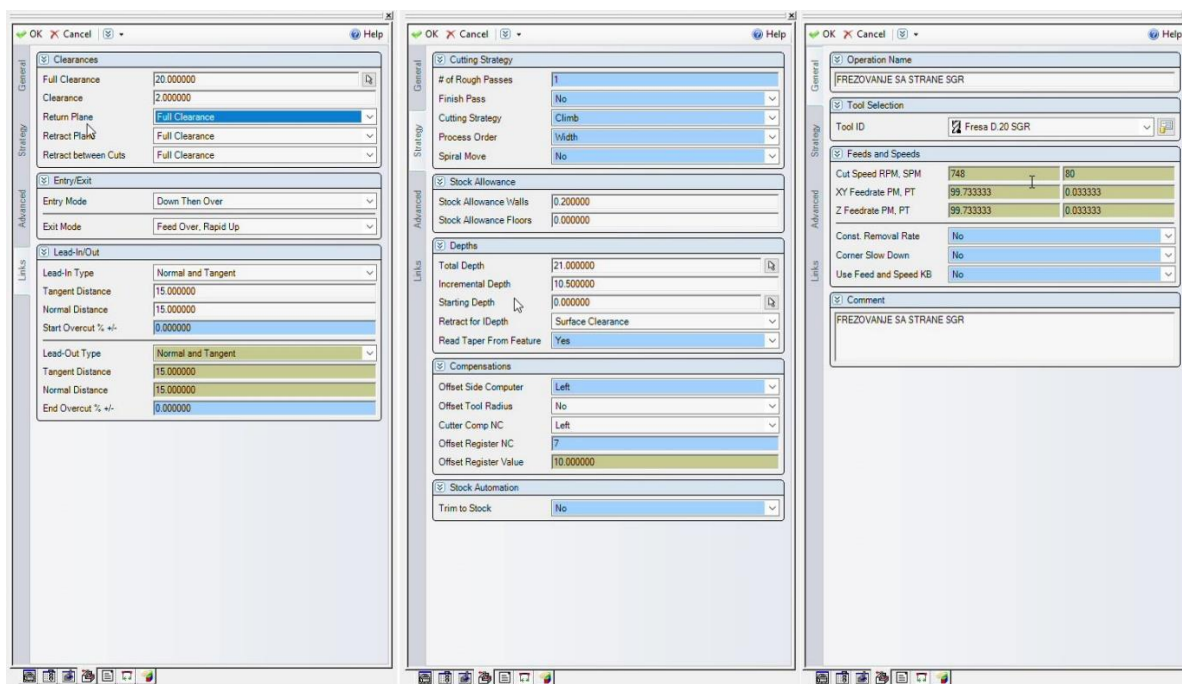
Слика 21: Означавање елемената и дефинисање захвата

Што се тиче алата и опреме, креирање база и каталога машина, прибора, режима рада и других битних елемената процеса од виталног је значаја за брзо и ефикасно моделирање и симулацију производње. CNC модули CAD/CAM система поседују богате библиотеке резних алата. Међутим, корисник не мора искључиво њих користити, већ може креирати или преузети моделе алата и из других компатибилних база података. На слици је приказан пример уноса једног алата у библиотеку. Означава се бројем у библиотеци, додељује му се боја којом обележава обрађене површине током симулације, смер обртања, опција хлађења итд.



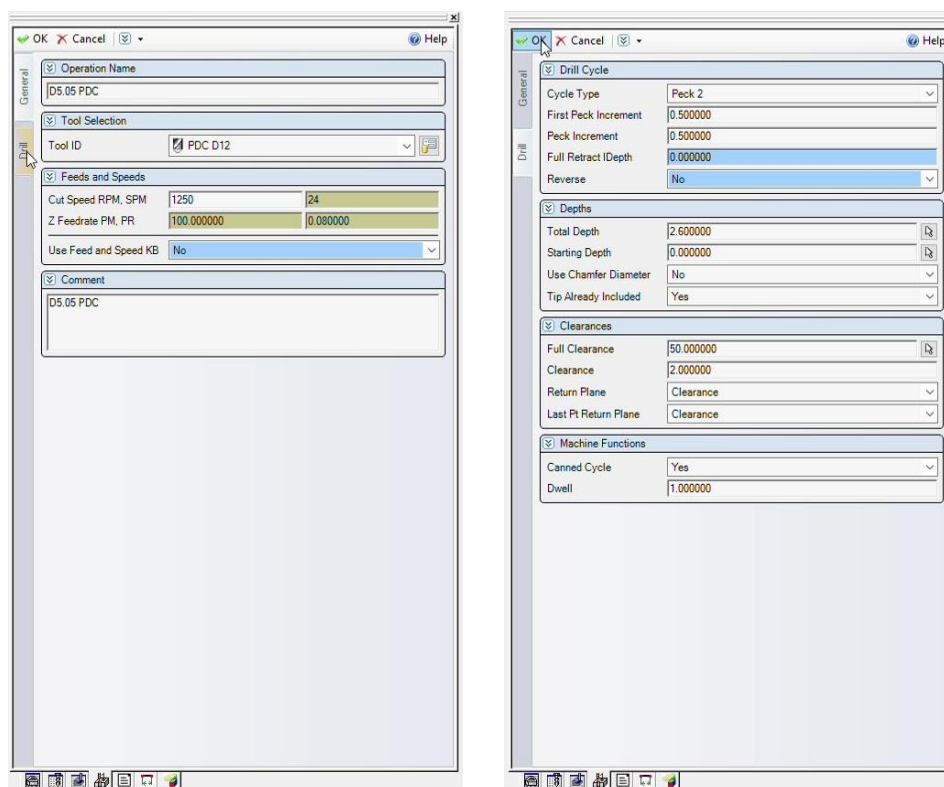
Слика 22: Пример дефинисања алата

На наредној слици је размотрен пример избора алата за раније приказан захват чеоног глодања (FREZOVANJE SA STRANE SGR). Из листе понуђених алата изабрано је глодало за грубу обраду пречника 20mm (FRESA D20 SGR). Режији се могу двојачко дефинисати – на основу расположивих база података или појединачним задавањем вредности за сваки параметар. У овом случају се Режији уносе ручно, препорученом формулом за рачунање, најчешће због различитих типова глодала – различитих физичких и резних карактеристика алата, препорука произвођача итд. Вредности се могу унети у два формата, а изабран је први – брзина $750 \text{ } \frac{\text{mm}}{\text{min}}$, посмак $80 \text{ } \frac{\text{mm}}{\text{min}}$. Остављен је додатак од 0.2mm за фину обраду (*Stock Allowance Walls*). Алат ради у слојевима од по 10.5mm (*Incremental Depth*) до коначне дубине од 21mm (*Total Depth*). Глодало се спушта брзим ходом (*Entry Mode*), улази у материјал радним ходом нормално на раван коју обрађује, након чега се радним ходом подиже до сигурносне равни (*Clearance*) на висини од 2mm, а онда брзим ходом на растојање од 20mm (*Full Clearance*).



Слика 23: Пример избора глодала и дефинисања режима

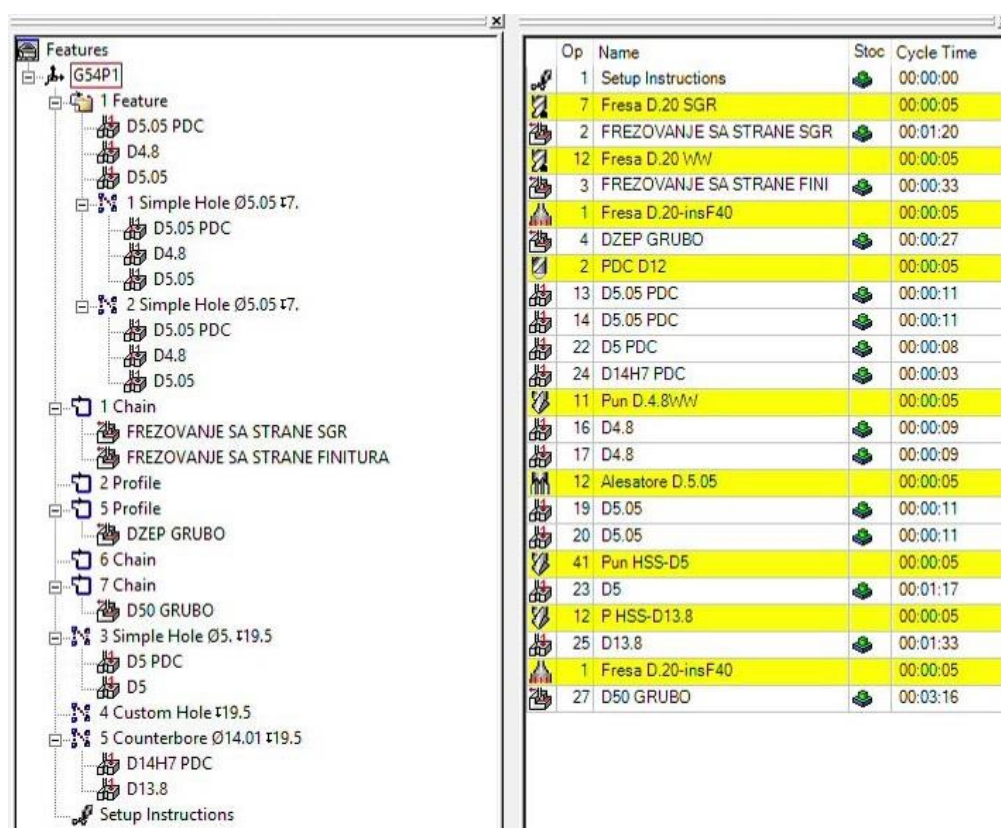
На слици је размотрен пример избора забушивача пречника 12mm (PDC D12) за захват бушења (D5.05 PDC). Одабрани режими: брзина 1250 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$ и посмак 25 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$, циклус бушења са задржавањем (Cycle Type), корак 0.5mm, сигурносно растојање од 50mm.



Слика 24: Пример избора забушивача и дефинисања режима и циклуса

Запажа се да се параметри који дефинишу већину захвата понављају и да се задају на исти начин. Закључак би био да се сродни захвати над истим елементима, као што су грубо и фино глодање или бушење и развртање не морају понаособ дефинисати, већ се могу искористити постојећи са одређеним корекцијама.

Корисна ставка сваког радног окружења CAD/CAM система је технолошко стабло модела. У њему су, поред основних карактеристика геометријског модела производа садржане и технолошке моделске форме сваког захвата. Сем тога, у таквом стаблу модела могу бити присутни и неки допунски елементи који додатно описују технолошки модел, попут коментара, провере, анимације итд. На наредној слици је приказано технолошко стабло разматраног примера, временско трајање захвата по алату и секвенцирање (одређивање редоследа операција и захвата).



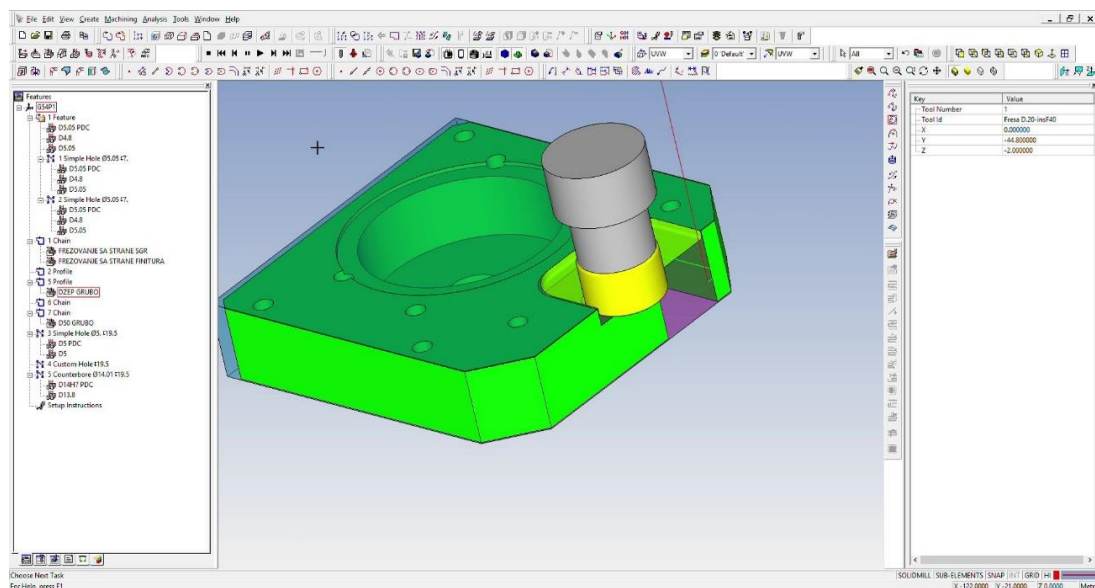
The image shows a screenshot of a CAD/CAM software interface. On the left is a 'Features' tree for a part named 'G54P1'. It lists various features like 'D5.05 PDC', 'Simple Hole', 'Chain', 'Profile', 'DZEP GRUBO', 'Custom Hole', and 'Counterbore'. On the right is a table titled 'Op Name Stoc Cycle Time' which lists 27 operations in a sequence, including setup, milling, drilling, and grinding, with their respective cycle times.

Op	Name	Stoc	Cycle Time
1	Setup Instructions		00:00:00
7	Fresa D.20 SGR		00:00:05
2	FREZOVANJE SA STRANE SGR		00:01:20
12	Fresa D.20 W/W		00:00:05
3	FREZOVANJE SA STRANE FINI		00:00:33
1	Fresa D.20-insF40		00:00:05
4	DZEP GRUBO		00:00:27
2	PDC D12		00:00:05
13	D5.05 PDC		00:00:11
14	D5.05 PDC		00:00:11
22	D5 PDC		00:00:08
24	D14H7 PDC		00:00:03
11	Pun D.4.8W/W		00:00:05
16	D4.8		00:00:09
17	D4.8		00:00:09
12	Alesatore D.5.05		00:00:05
19	D5.05		00:00:11
20	D5.05		00:00:11
41	Pun HSS-D5		00:00:05
23	D5		00:01:17
12	P HSS-D13.8		00:00:05
25	D13.8		00:01:33
1	Fresa D.20-insF40		00:00:05
27	D50 GRUBO		00:03:16

Слика 25: Пример технолошког стабла и секвенцирања захвата

Пре израде програма за нумерички управљане машине алатке и другу производну опрему (роботе, транспортна средства итд.) и пре коначног генерисања производне документације, потребно је извршити симулацију појединачних технолошких процеса, као и читавог производног процеса. САМ системи поседују веома добре функције за ту намену које кориснику омогућавају уочавање неправилности у иницијално креираном производно – технолошким поступцима. Циљ је, свакако, да се евентуалне измене по почетку производње у потпуности избегну, или пак сведу на најмању могућу меру. Током симулације САМ систем визуелно приказује

све релевантне информације, посебно означавајући места могућих проблема и недостатака. На слици је приказана симулација једног захвата на разматраном комаду.



Слика 26: Пример симулације поступка обраде дела

Генерисање NC програма, којима се врши рачунарско управљање производном опремом, у потпуности је аутоматизовано. То се изводи посебним функцијама САМ система, на основу геометријског и технолошког модела, а односи се и на другу производну опрему, као што су нумерички управљане мерне машине, роботи итд. При томе је потребно изабрати одговарајућу управљачку јединицу.

CAD/CAM пакети дају могућност пост – процесирања за велики број управљачких јединица. Пост – процесирање представља поступак финалног обједињавања свих операција и захвата предвиђених за израду производа, као и уобличавања програма за конкретну управљачку јединицу машине алатке.

Генерисање производне документације, у савременим САМ системима односи се пре свега на формирање документације у електронском облику погодном за размену између различитих учесника у развоју производа. Експортовање документације врши се у .xlsx формату. Претраживање документа изводи се помоћу картица (*Tab*) на којима су производно – технолошки ентитети (операције, захвате, алате, режиме...). Овако креирана документација се по потреби може и одштампати.[3]

Ова документација није уско везана за производни сектор. Наиме, подаци које пружа могу се искористити за процену економичности, планирање производње, техничку припрему итд. Примера ради, у документацији се налази план алата са називима, каталожним бројевима, пречником, режимима и сличним подацима који се доставља служби техничке припреме и на основу кога се монтира алат и припрема машина. На наредним странама су приказани генерисани NC код за разматрани пример са пратећом технолошком документацијом.

[GD 0MF11462
[Esprit CAM
[27.10.2017. 12.22.52

[LISTA ALATA:
[Fresa D.20 SGR - D20
[Fresa D.12 SGR – D12
[Fresa D.12 WW – D12
[Fresa D.20-insF40 - D20
[Fresa D.8 2TG – D8
[PDC D12 – D12
[Pun D.4.8WW - D4,8
[Pun HSS-D5.3 - D5,3
[Pun HSS-D13.8 - D13,8
[Alesatore D.14 – D14
[Alesatore D.5.05 - D5,05
[Mas M6passs - D6
[Smus.D.29 - D18

[MATERIJAL: 90x20 L=95mm
[FAZA A: KONTURA + RUPE
[PARALELE: 35mm
[KOMAD STEGNUT ZA MERU 90
[IZBACITI GA 27mm DESNO VAN
[X0=+1.5 DESNO NA KOMADU
[Y0 DO FIKSNE PAKNE
[Z0=+0.5 NA KOMADU

G17
O1

T11 M6 [Fresa D.63-insF40 - D63]
M1
[RAVNANJE]
S900 F600. M3
M8 T1
G49 I 31.5
G0 X-133.5 Y-18.9
G0 Z200.
G0 Z2.
G1 Z0.
G1 X33.
G1 Y-69.3
G1 X-133.5
G0 Z20.

T1 M6 [PDC D12 - D6]
M1 [KOREKTOR NA Z-3]
[D5.3 PDC]
S1250 F100. M3
M8 T44
G49 I 3.
G0 X-30. Y-85.
G0 Z2.
G81 X-30. Y-85. J2. Z-2.8 I.5 K1
X-81. Y-81.
X-86. Y-5.5
G80
[D5.05 PDC]
G0 X-43. Y-5.5
G0 Z2.
G81 X-43. Y-5.5 J2. Z-2.6 I.5 K1
Y-72.5
G80
[D8/D4.8 PDC]
G0 X-15. Y-67.
G0 Z2.
G81 X-15. Y-67. J2. Z-3. I.5 K1
X-71.
Y-11.
X-15.
G80
[D14H7 PDC]
G0 X-58. Y-39.
G0 Z2.
G81 X-58. Y-39. J2. Z-2.8 I.5 K1

G80
T44 M6 [Pun HSS-D5.3 - D5,3]
M1
[D5.3]
S1500 F100. M3
M8 T19
G49 I 2.65
G0 X-30. Y-85.
G0 Z2.
G83 X-30. Y-85. J2. Z-22.53 I2.
X-81. Y-81.
X-86. Y-5.5
X-10.5 Y-46.
G80

T19 M6 [Mas M6passs – D6]
M1
[M6, Z-15]
S630 F630. M3
M8 T10
G49 I 3.
G0 X-10.5 Y-46.
G0 Z50.
G84 X-10.5 Y-46. J2.5 Z-14.5 F1000. Q50.
G80

T10 M6 [Pun HSS-D13.8 - D13,8]
M1
[D13.8]
S670 F60. M3
M8 T13
G49 I 6.5
G0 X-58. Y-39.
G0 Z2.
G83 X-58. Y-39. J2. Z-24.753 I2.
G80

T13 M6 [Pun D.4.8WW - D4,5]
M1
[D4.8]
S2300 F170. M3
M8 T12
G49 I 2.25
G0 X-15. Y-67.
G0 Z2.
G83 X-15. Y-67. J2. Z-21.819 I2.
X-71.
Y-11.
X-15.
G80
[D4.8]
G0 X-43. Y-5.5
G0 Z2.
G81 X-43. Y-5.5 J2. Z-8.119 I2. K1
Y-72.5
G80

T12 M6 [Alesatore D.5.05 - D5,05]
M1
[D5.05]
S630 F50. M3
M8 T17
G49 I 2.525
G0 X-43. Y-5.5
G0 Z2.
G86 X-43. Y-5.5 J2. Z-7. F50.
G80
[D5.05]
G0 X-43. Y-72.5
G0 Z2.
G86 X-43. Y-72.5 J2. Z-7. F50.
G80

T17 M6 [Alesatore D.14 - D14]
M1
[D14H7]
S300 F30. M3
M8 T7
G49 I 2.525
G0 X-58. Y-39.

G0 Z2.
G86 X-58. Y-39. J2. Z-21. F30.
T7 M6 [D.8-HSS-2TG - D8]
M1
[D8]
S1700 F70. M3
M8 T4
G49 I 4.
G0 X-15. Y-67.
G0 Z2.
G83 X-15. Y-67. J2. Z-16. I.5
X-71.
Y-11.
X-15.
G80

T4 M6 [Fresa D.20 SGR - D20]
M1
[FREZOVANJE SA STRANE SGR]
S1300 F260. M3
M8 T14
G49 I 10.
G0 X-11.859 Y21.355
G0 Z20.
G0 Z2.
G1 Z-10.5
G41
G1 X-22.465 Y10.748
G1 X-11.859 Y.141
G1 X.2 Y-11.917
G1 Y-78.083
G1 X-11.859 Y-90.141
G1 X-22.465 Y-100.748
G40
G1 X-11.859 Y-111.355
G0 Z2.
G0 Y21.355
G1 Z-21.
G41
G1 X-22.465 Y10.748
G1 X-11.859 Y.141
G1 X.2 Y-11.917
G1 Y-78.083
G1 X-11.859 Y-90.141
G1 X-22.465 Y-100.748
G40
G1 X-11.859 Y-111.355
G0 Z20.

T14 M6 [Fresa D.20-insF40 - D20]
M1
S2800 F560. M3
M8 T2
G49 I 10.
[DZEP Z-4.5 GRUBO]
G0 X15. Y-32.2
G0 Z2.
G0 Z-2.
G41
G1 Y-17.2
G1 X0.
G1 X-23.8
G1 Y-54.8
G1 X0.
G1 X15.
G40
G1 Y-39.8
G0 Z2.
G0 Y-32.2
G0 Z-4.
G41
G1 Y-17.2
G1 X0.
G1 X-23.8
G1 Y-54.8
G1 X0.
G1 X15.
G40
G1 Y-39.8
G0 Z2.

G0 Y-32.2
G0 Z-4.5
G41
G1 Y-17.2
G1 X0.
G1 X-23.8
G1 Y-54.8
G1 X0.
G1 X15.
G40
G1 Y-39.8
G0 Z20.
[OTVOR D50]
G0 X-58. Y-39.
G0 Z2.5
G0 Z.5
G41
G1 X-78.
G1 Y-43.8
G3 X-58. Y-63.8 I-58. J-43.8
G3 X-58. Y-63.8 Z-.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-1.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-2.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-3.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-4.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-5.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-6.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-7.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-8.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-9.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-10.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-11.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-12.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-13.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-14.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-15.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-16.5 I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 Z-17. I-58. J-39.
G3 X-58. Y-63.8 I-58. J-39.
G3 X-38. Y-43.8 I-58. J-43.8
G1 Y-39.
G40
G1 X-58.
G0 Z2.5
[OTVOR D60]
G0 X-46.2 Y-39.
G0 Z2.
G0 Z-.8
G41
G1 Y-51.
G1 X-40.2
G3 X-28.2 Y-39. I-40.2 J-39.
G3 X-28.2 Y-39. I-58. J-39.
G3 X-40.2 Y-27. I-40.2 J-39.
G1 X-46.2
G40
G1 Y-39.
G0 Z2.

T2 M6 [Fresa D.12 SGR - D12]
M1
S1300 F80. M3
M8 T9
G49 I 6.
[DZEP Z-4.5 SGR]
G0 X10. Y-35.2
G0 Z2.
G0 Z-4.3
G41
G1 Y-25.2
G1 X0.
G1 X-15.8
G1 Y-46.8
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-36.8

G0 Z20.
G0 Y-27.2
G0 Z-4.3
G41
G1 Y-17.2
G1 X0.
G1 X-15.
G3 X-23.8 Y-26. I-15. J-26.
G1 Y-46.
G3 X-15. Y-54.8 I-15. J-46.
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-44.8
G0 Z2.
[KANAL 18MM Z-21 SGR]
G0 X10. Y-27.2
G0 Z2.
G0 Z-20.8
G41
G1 Y-17.2 F100.
G1 X0.
G1 X-15.
G3 Y-34.8 I-15. J-26.
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-24.8
G0 Z2.

T9 M6 [Fresa D.12 WW - D12]
M1
[FREZOVANJE FINITURA]
S1450 F220. M3
M8 T15
G49 I 6.
G0 X-4.929 Y14.142
G0 Z2.
G0 Z-21.
G41
G1 X-15.536 Y3.536
G1 X-12. Y0.
G1 X0. Y-12.
G1 Y-78.
G1 X-12. Y-90.
G1 X-15.536 Y-93.536
G40
G1 X-4.929 Y-104.142
G0 Z2.
[DZEP Z-4.5 FINITURA]
G0 X10. Y-35.
G0 Z2.
G0 Z-4.5
G41
G1 Y-25.
G1 X0.
G1 X-16.
G1 Y-47.
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-37.
G0 Z20.
G0 Y-27.
G0 Z-4.5
G41
G1 Y-17.
G1 X0.
G1 X-15.
G3 X-24. Y-26. I-15. J-26.
G1 Y-46.
G3 X-15. Y-55. I-15. J-46.
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-45.
G0 Z2.

[KANAL 18MM FINITURA]
G0 X10. Y-26.
G0 Z2.
G0 Z-21.
G41
G1 Y-17.
G1 X0.
G1 X-15.
G3 Y-35. I-15. J-26.
G1 X0.
G1 X10.
G40
G1 Y-26.
G0 Z2.

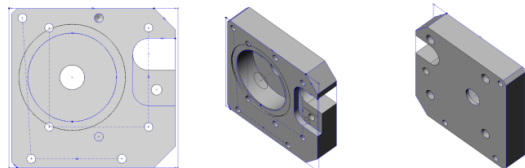
T15 M6 [Smus.D.29 - D18]
M1
[OBARANJE IVICA 0.3]
S3000 F600. M3
M8 T11
G49 I 9.
G0 X-105. Y15.
G0 Z20.
G0 Z-1.3
G41
G1 Y0.
G1 X-90.
G1 X-12.
G1 X0. Y-12.
G1 Y-17.
G1 X-24.
G1 Y-55.
G1 X0.
G1 Y-78.
G1 X-12. Y-90.
G1 X-90.
G1 X-92. Y-88.
G1 Y-2.
G1 X-90. Y0.
G1 X-79.393 Y10.607
G40
G1 X-90. Y21.213
G0 Z20.
[OBARANJE IVICA 0.3]
G0 X-48. Y-39.
G0 Z20.
G0 Z-2.3
G41
G1 Y-54.
G3 X-33. Y-39. I-48. J-39.
G3 X-33. Y-39. I-58. J-39.
G3 X-48. Y-24. I-48. J-39.
G40
G1 Y-39.
G0 Z20.

LFINE:
M30

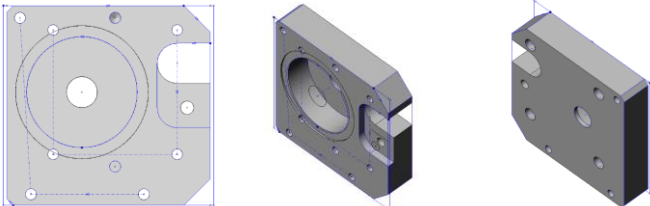
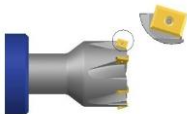
[PROMEK SELCA]
[27.10.2017. 12.22.52]

[LENGTH OF NC TAPE: 53]
[NUMBER OF CHARACTER: 6358]
[NUMBER OF NC BLOCKS: 469]

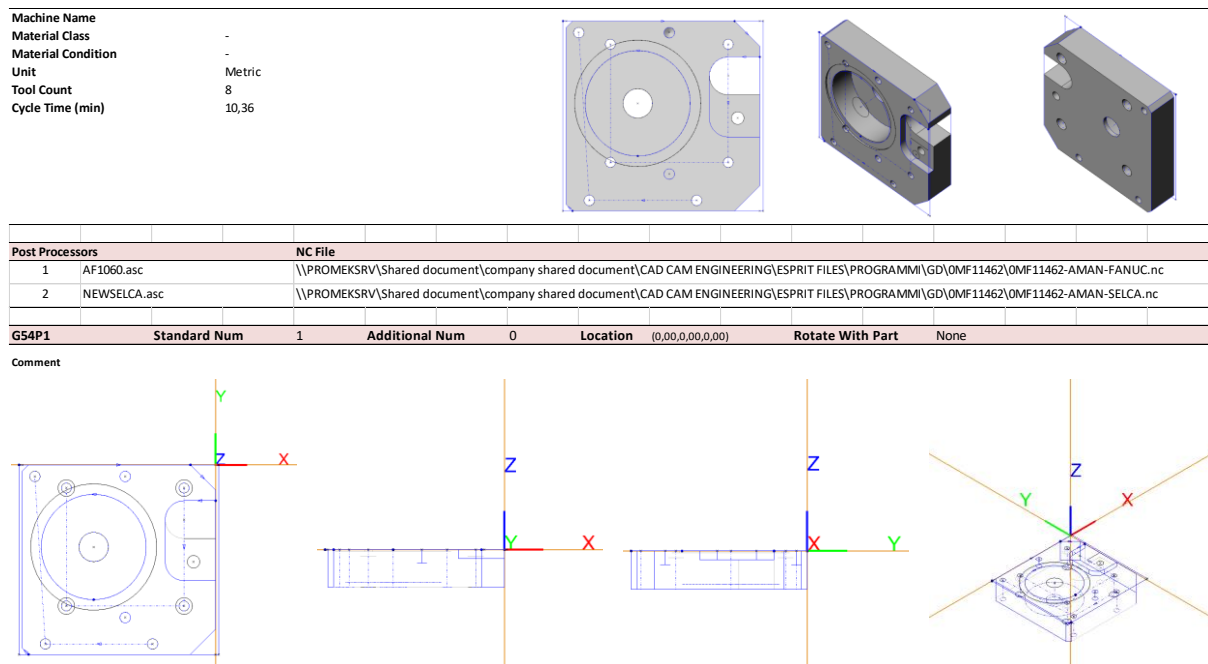
[LENGTH OF FEED]
[153.17757 INCHES]
[3890.71024 MM]
[LENGTH OF RAPID]
[35472.54274 INCHES]
[901002.58568 MM]

Machine Name		-																				
Material Class		-																				
Material Condition		-																				
Unit		Metric																				
Tool Count		8																				
Cycle Time (min)		10,36																				
Post Processors																						
		NC File																				
1	AF1060.asc	\\PROMEKSRV\Shared document\company shared document\CAD CAM ENGINEERING\ESPRIT FILES\PROGRAMMI\GD\0MF11462\0MF11462-AMAN-FANUC.nc																				
2	NEWSELCA.asc	\\PROMEKSRV\Shared document\company shared document\CAD CAM ENGINEERING\ESPRIT FILES\PROGRAMMI\GD\0MF11462\0MF11462-AMAN-SELCA.nc																				
Op Num	Operation Name	Tool Num	Tool Length Offset	Tool Name	Operation Comment	Dia (mm)	WC	RPM (min-1)	V (m/min)	F (mm/min)	F (mm/rev)	F (mm/Tooth)	Feed Adj	Feed Length (mm)	Rapid Rate (mm/min)	Rapid Adj	Rapid Length (mm)	Cut Time (min)	Rapid Time (min)	TC Time (min)	Other Time (min)	Op Time (min)
1	Setup Instructions	0	-			0,000	GS4P1	0	0	0,0	-	-	1	0,000	50000,0	1	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	RAVNANJE	11	11	Fresa D.63-insF40	RAVNANJE	63,000	GS4P1	900	178	600,0	0,667	0,111	1	385,400	50000,0	1	398,000	0,64	0,01	0,08	0,02	0,75
3	FREZOVANJE SA STRANE SGR	4	4	Fresa D.20 SGR	FREZOVANJE SA STRANE SGR	20,000	GS4P1	1300	82	260,0	0,200	0,050	1	347,461	50000,0	1	204,209	1,34	0,00	0,08	0,02	1,44
4	KANAL 18mm Z-21 SGR	4	4	Fresa D.12 SGR	KANAL 18mm Z-21 SGR	12,000	GS4P1	1300	49	100,0	0,333	0,019	1	66,796	50000,0	1	45,600	1,34	0,00	0,00	0,02	1,36
5	D50 OTVOR	14	14	Fresa D.20-insF40	D50 OTVOR	20,000	GS4P1	2800	176	560,0	0,200	0,100	1	1827,848	50000,0	1	39,000	3,26	0,00	0,08	0,02	3,37
6	FREZOVANJE FINITURA	9	9	Fresa D.12 WW	FREZOVANJE FINITURA	12,000	GS4P1	1450	55	220,0	0,300	0,051	1	137,366	50000,0	1	46,000	0,23	0,00	0,08	0,02	0,33
7	D5.05 PDC	1	1	PDC D12	D5.05 PDC	6,000	GS4P1	1250	24	100,0	0,160	0,080	1	17,600	50000,0	1	26,600	0,18	0,00	0,08	0,02	0,28
8	D5.3 PDC	1	1	PDC D12	D5.3 PDC	6,000	GS4P1	1250	24	100,0	0,160	0,080	1	13,800	50000,0	1	144,457	0,14	0,00	0,00	0,02	0,16
9	D14H7 PDC	1	1	PDC D12	D14H7 PDC	6,000	GS4P1	1250	24	100,0	0,160	0,080	1	5,000	50000,0	1	5,000	0,05	0,00	0,00	0,02	0,07
10	D4.8	13	13	Pun D.4.8WW	D4.8	4,500	GS4P1	2000	28	160,0	0,160	0,080	1	23,819	50000,0	1	31,819	0,15	0,00	0,08	0,02	0,25
11	D13.8	10	10	Pun HSS-D13.8	D13.8	13,800	GS4P1	600	26	50,0	0,167	0,083	1	76,984	50000,0	1	336,984	1,54	0,01	0,08	0,02	1,65
12	D5.05	12	12	Alesatore D.5.05	D5.05	5,050	GS4P1	630	10	50,0	0,476	0,079	1	9,000	50000,0	1	9,000	0,18	0,00	0,08	0,02	0,28
13	D14H7	17	17	Alesatore D.14	D14H7	5,050	GS4P1	630	10	50,0	0,476	0,079	1	9,000	50000,0	1	9,000	0,18	0,00	0,00	0,02	0,20
14	M6	19	19	Mas M6pass	M6, Z-15	6,000	GS4P1	630	12	630,0	0,000	1,000	1	24,000	50000,0	1	105,000	0,00	0,00	0,08	0,02	0,10
15	OBARANJE IVICA 0.3	15	15	Smus D.29	OBARANJE IVICA 0.3	18,000	GS4P1	3000	170	600,0	0,000	0,100	1	479,352	50000,0	1	42,600	0,00	0,00	0,08	0,02	0,10

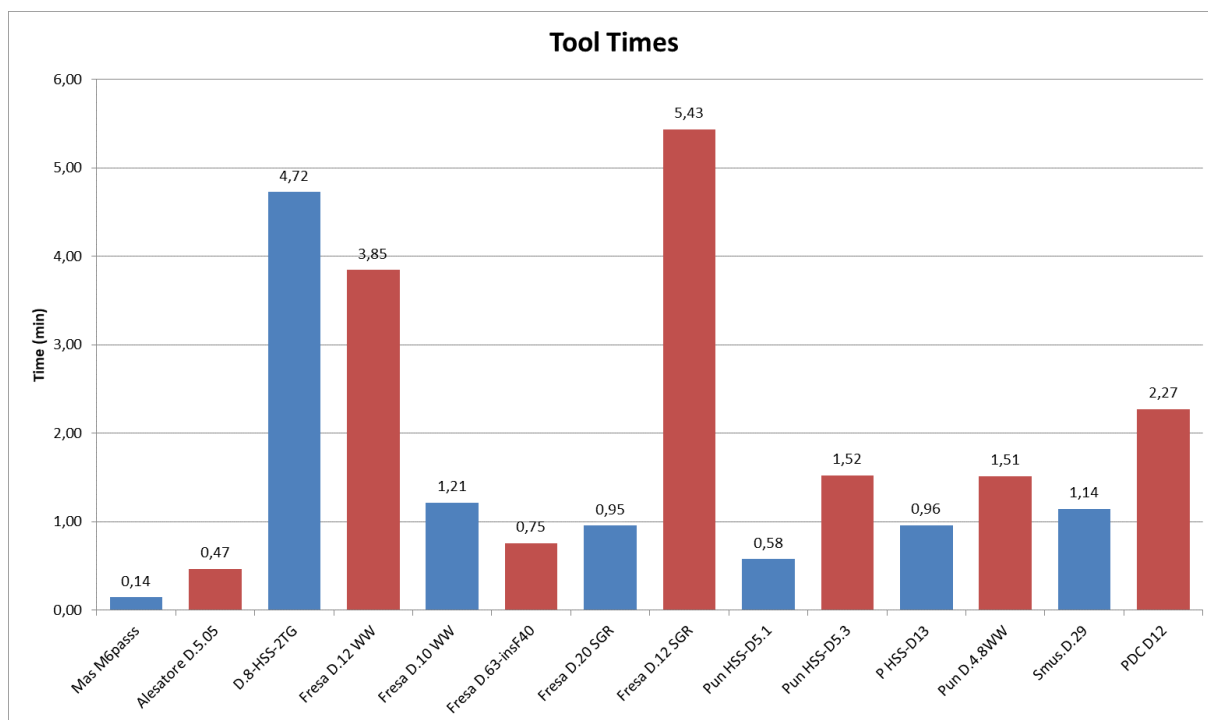
Слика 27: Пример листе операција генерисане технолошке документације

Machine Name	-							
Material Class	-							
Material Condition	-							
Unit	Metric							
Tool Count	8							
Cycle Time (min)	10,36							
Post Processors		NC File						
1	AF1060.asc	\\PROMEKSRV\Shared document\company shared document\CAD CAM ENGINEERING\ESPRIT FILES\PROGRAMMI\GD\0MF11462\0MF11462-AMAN-FANUC.nc						
2	NEWSELCA.asc	\\PROMEKSRV\Shared document\company shared document\CAD CAM ENGINEERING\ESPRIT FILES\PROGRAMMI\GD\0MF11462\0MF11462-AMAN-SELCA.nc						
1 - Fresa D.20-insF40		Turret	0	Station	0	Tool Usage (min)	#REF!	
Cutter ID		Holder ID		Tool Type		Face Mill		
Tool Length (mm)	40,00	Process Order	3	Frequency		2		
Corner Radius (mm)	0,8	Flutes	2	Tool Dia (mm)		20,000		
Comment								
2 - PDC D12		Turret	0	Station	0	Tool Usage (min)	#REF!	
Cutter ID		Holder ID		Tool Type		Chamfer Mill		
Tool Length (mm)	60,00	Process Order	4	Frequency		4		
Chamfer Angle (deg)	45,0000	Flutes	2	Tool Dia (mm)		6,000		
Comment	KOREKTOR NA Z-3							
7 - Fresa D.20 SGR		Turret	0	Station	0	Tool Usage (min)	1,44	
Cutter ID		Holder ID		Tool Type		End Mill		
Tool Length (mm)	70,00	Process Order	1	Frequency		1		
Corner Radius (mm)	-	Flutes	4	Tool Dia (mm)		20,000		
Comment								

Слика 28: Пример листе алата генерисане технолошке документације



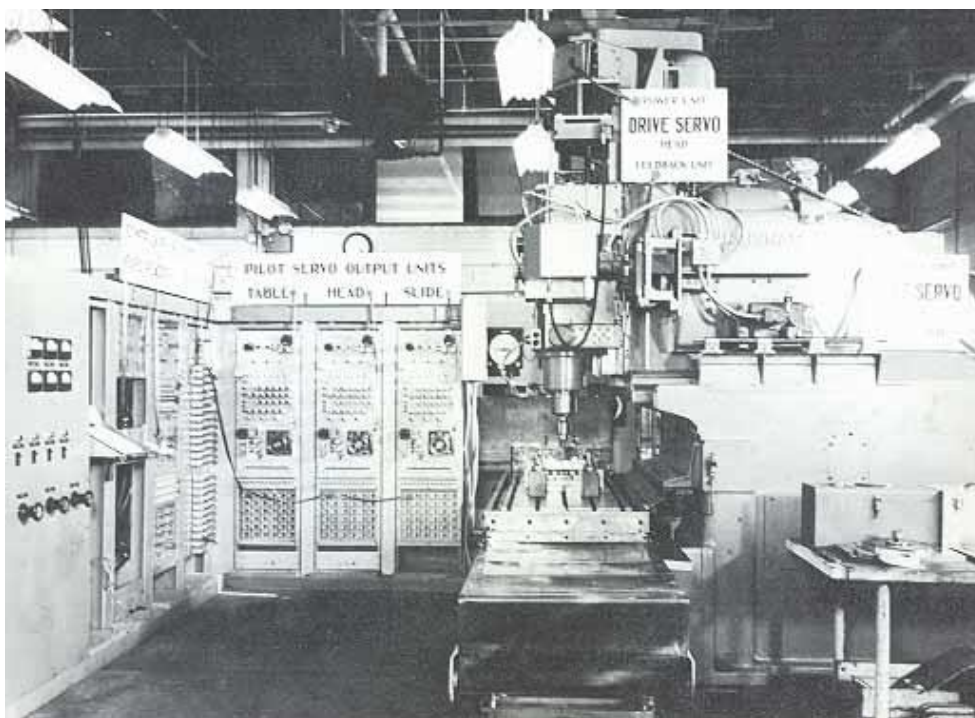
Слика 29: Пример плана координата генерисане технолошке документације



Слика 30: Пример временског прорачуна генерисане технолошке документације

3. CNC технологија

Прва нумерички управљана алатна машина (слика 31) направљена је у Америци почетком 50 – их година уз помоћ научника MIT-а (*Massachusetts Institut of Technology*). Новина на машини је било увођење електронског управљања помоћу управљачке јединице у коју се програм уносио преко бушене папирне траке. Тадашња управљачка јединица је била већа од саме машине. У односу на конвенционалне машине значајна промена је била увођење посебних истосмерних мотора за погон главног вретена.



Слика 31: Прва нумерички управљана алатна машина

Основа нумеричког управљања је управљање машином помоћу унапред дефинисаног програма. Програм је скуп шифрованих геометријско-технолошко-функционалних наредби којима се путем различитих физичких медија (папирна трака, касета, дискета) дају управљачкој јединици нумерички управљане машине унапред замишљене радње.

Прве управљачке јединице биле су без компјутера и носиле су назив NC управљачке јединице (*Numerical Control*), а будући да се програм састојао од бројева и слова, отуда назив нумеричко управљање. Данашње управљачке јединице грађене су на принципу коришћења микропроцесора, то јест електронског рачунара који се може програмирати и тиме остварити процес нумеричког управљања. Због тога се такве управљачке јединице зову CNC (*Computer Numerical Control*) управљачке јединице.

Најмодерније машине овог типа су обрадни центри који обрађују радне предмете веома сложене геометрије са високим степеном тачности. Ове машине омогућавају комплетну обраду радног предмета уз аутоматску измену алата (магацин са механичком руком за измену алата). Радни предмет има могућност заокретања и помицања у више смерова. Повезивање више CNC машина чини тзв. флексибилни обрадни центар - садржи неколико обрадних центара повезаних системом транспорта. Најновије достигнуће је повезивање низа флексибилних обрадних центара које послужују роботи. То су фабрике без људи, потпуно аутоматизоване у којима се постиже највећа продуктивност. У даљем току рада анализираће се реалан пример на конкретној машини. Ради се о обрадном центру Awea BM850 управљачке јединице Selca S4040DH (слика 32).



Слика 32: Awea BM850 (2004.)

Основне предности примене ових машина су:

- повећање продуктивности смањењем укупног времена,
- висока тачност обраде и незнатна контрола обратка,
- обрада делова сложених профила који се тешко могу да остваре на конвенционалним машинама,
- повећање временског степена искоришћења машине,
- смањење броја и трајања припремних операција,
- једноставније управљање процесом производње итд.

Недостаци примене су:

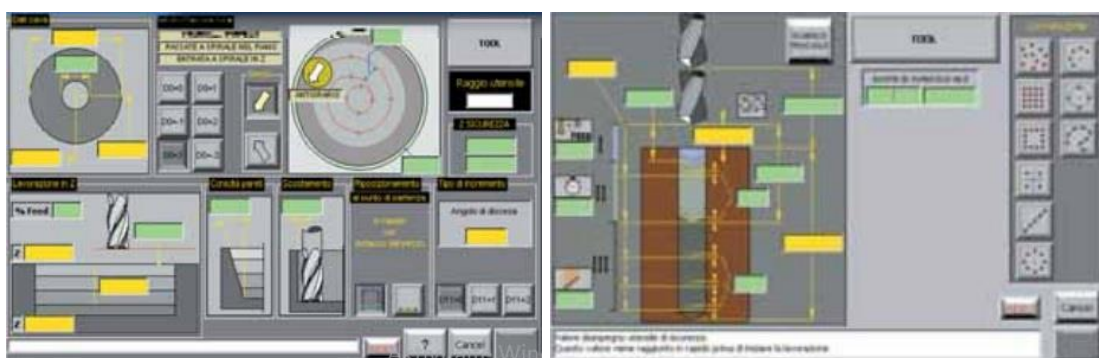
- обавезно планирање рада до детаља, као код сваке аутоматизоване производње,
- велики инвестициони трошкови,
- потреба за високостручним програмерима,
- трошкови одржавања итд.

Међутим, наведени условни недостаци су много мањег значаја од добити коју пружа ова технологија. Упоредна анализа коришћења ових машина показује да једна нумерички управљана машина замењује 3 до 8 конвенционалних машина алатки, што омогућује смањење опреме, производног простора, радне снаге итд. Продуктивност се повећава до 50%, тачност израде делова повећава се 2 до 3 пута, а број и цена накнадних операција смањује се 4 до 8 пута.

3.1 Радионичко програмирање

Програм за НУ машине алатке треба да буде оптималан, економичан и без грешака. Програмирање обрадних процеса на нумерички управљаним машинама обухвата низ захвата на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом и кодом према правилима програмског језика у форми управљачког програма. Машина на тај начин добија све потребне информације за аутоматску обраду неког елемента. То су информације о потребним главним и помоћним кретањима, информације за укључивање и искључивање извршних органа машине алатке, за аутоматску измену алата и обратка, за почетак и крај програма.

Selca S4040DH представља снажни вишепроцесорски систем са компјутерском графиком. Код оваквих управљачких јединица могуће је директно уношење програма преко тастатуре на самој машини коришћењем специјално развијених менија који олакшавају рад оператеру (слика 33). Такође је могуће описивање контура обраде коришћењем предефинисаних елементарних геометријских примитива, разних облика жлебова и усека, оборене и заобљене ивице, навоја и слично. Њихов број и облик зависе од врсте НУМА и њених технолошких карактеристика, као и квалитета саме управљачке јединице. Оне се бирају из менија и врши се компоновање контуре обраде њиховим слагањем и задавањем конкретних димензија. Управљачка јединица је снабдевена програмима који аутоматски, на основу описа контуре, дефинишу путању алата и срачанувају све потребне координате.[7]



Слика 33: Пример напредног коришћења предефинисаних функција спиралног копања кружног отвора и циклуса бушења

Такође постоје одређене програмске рутине које генеришу облик реченице за унете податке. У управљачку јединицу се уносе датотеке материјала, алата и режима тако да се одређени технолошки параметри обраде могу директно да срачунавају за време програмирања. Пошто поседује дисплеј за приказивање слика велике резолуције, ова управљачка јединица има посебно развијене и уграђене програме за графичку симулацију тока технолошког процеса обраде, као и контролу путање алата, пре него што почне обрада како би се унапред отклониле евентуално унете грешке у програму.

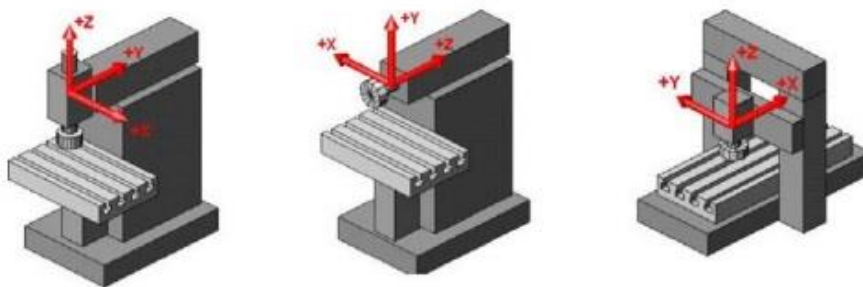
Код методе радионичког програмирања процес је од улаза до излаза, стопроцентно зависан од радника – оператора. Крајњи резултат производног циклуса – готов машински део је заједнички елемент процеса који обављају технолог CAD/CAM бироа и оператор, свако на свој начин и процедуром.

За добијени цртеж оператор креира план обраде и пише програм логичним и методолошки оправданим током. Он се углавном води следећим корацима, који су мање или више слични раније поменути:

- темељна анализа цртежа као полазног податка,
- дефинисање припремке,
- припрема алата
- секвенцирање захвата и операција,
- дефинисање режима обраде,
- прорачун путања и писање програма,
- тестирање и корекција програма,
- експлоатација и архивирање.

Радионички цртеж се детаљно проанализира, уоче се сви захтеви за обраду и на основу њих се утврђује у колико се радних положаја мора поставити радни предмет на машини да би се извршиле потребне обраде. На основу потребних положаја долази се до плана стезања радног предмета у координатном систему машине.

Радни органи машине крећу се у више праваца који морају бити дефинисани. Правци и смерови кретања и окретања дати су стандардом. Примарна транслаторна кретања су означена као осе X, Y, Z, које су уређене према правилу три прста десне руке у односу на радни предмет: палац X оса, кажипрст Y оса и средњи прст је Z оса.



Слика 34: Примери одређивања оса

Списак алата са свим подацима, доставља се служби припреме алата. Њен превасходни задатак је да изврши подешавање алата пре постављања алата на машину. Ту се врши монтажа алата, подешавање пречника на задату вредност, као и мерење тачне дужине алата која се касније уноси у одговарајућу табелу. Ове активности неретко обавља и оператер. За претходно подешавање алата користе се уређаји за подешавање алата, почев од једноставних па до оних који представљају праве машине.



Слика 35: Припремљени алати

Задавање режима обраде за изабране алате један је од најчешће разматраних проблема оптимизације производног процеса који се тиче поузданости и економичности јер ови параметри директно утичу на искоришћеност алата као ресурса. У највећем броју случајева лош избор режима повлачи отказ алата или брзо трошење истог што је значајан трошак сваке производње. У свакодневной пракси, избор ових параметара заснива се на искуственој процени оператера или на примени формула које зависе од материјала, дужине, броја зуба итд. Такође, произвођачи углавном дају препоруке за своје алате (слика 36). На исти начин приступа се рачунању параметара за све алате.

Тако на пример, за нелегирани угљенични челик режиме обраде четвороперог грубог глодала Ø20 са пресвлаком рачунамо према следећој препоруци:

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad S = \frac{45 \cdot 1000}{\pi \cdot 20} \quad S = \frac{45000}{62.832} \quad S \approx 715 \text{ } ^\circ/\text{min}$$

$$F = S \cdot n \cdot 0.05 \quad F = 715 \cdot 4 \cdot 0.05 \quad F \approx 140 \text{ mm}/\text{min}$$

	челик до 500N/mm ²	челик од 500-800N/mm ²	челик од 800-1200N/mm ²	инок	алуминиум
	vc m/min	vc m/min	vc m/min	vc m/min	vc m/min
HSS без третмана	25	18	12	12	50
HSS TiN ...	35	30	20	20	80
HSS TiCN	45	40	30	25	120
VHM без третмана	80	60	40	30	300
VHM TiN	95	85	70	45	300
VHM TiAlN	90	80	60	40	300

Слика 36: Препоруке за израчунавање режима глодала

На основу разрађеног плана обраде, стезања и алата приступа се изради програма. Програм представља комплетно дефинисан радни задатак машине, састављен из логички повезаних реченица, које се још називају и блок, захват или секвенца. Реченица је једна целина коју управљачка јединица машине прихвата и затим извршава. У ту сврху неопходно је познавање правила програмирања, односно одређени систем кодирања. У следећим табелама дат је преглед основних G и M кодова.

КОД	ЗНАЧЕЊЕ
M00	Заустављање програма
M01	Заустављање програма по избору
M02	Крај програма без враћања на почетак
M03	Укључење вретена у смеру казаљке на сату
M04	Укључење вретена у смеру супротном од казаљке на сату
M05	Заустављање вретена
M06	Циклус измене алата
M07	Укључење средства за хлађење кроз вретено
M08	Укључење средства за хлађење
M09	Искључење средства за хлађење
M19	Заустављање радног вретена у одређеном положају
M30	Крај програма с враћањем на почетак

Слика 37: Преглед помоћних функција [1]

КОД	ЗНАЧЕЊЕ
G00	Позиционирање у брзом ходу
G01	Линеарна интерполација
G02	Кружна интерполација у смеру казаљке на сату
G03	Кружна интерполација у супротном смеру од казаљке на сату
G04	Време чекања (задржавање)
G17	Избор X-Y интерполационе равни
G18	Избор X-Z интерполационе равни
G19	Избор Y-Z интерполационе равни
G40	Поништавање коректуре алата
G41	Коректура путање алата лево од радног комада
G42	Коректура путање алата десно од радног комада
G48	Корекција висине алата
G49	Корекција полупречника алата
G50	Искључење померања нулте тачке
G51	Укључење померања нулте тачке
G70	Програмирање у инчима
G71	Програмирање у милиметрима
G80	Искључење фиксних циклуса бушења
G81-G89	Позивање фиксних циклуса бушења
G84	Резање навоја
G90	Апсолутно програмирање
G91	Релативно програмирање
G94	Програмирање помака у mm/min
G95	Програмирање помака у mm/o

Слика 38: Преглед основних услова пута [1]

[GD 0MF11462
 [ALEKSANDAR BM850 6.10.2017.
 [FASE A: CONTORNATURA + FORI
 [PEZZO FE 90X20 L=95
 [PEZZO STRETTO PER MISURA 90 SUL PARALELE 35
 [FERMO SX, FUORI DESTRO VERSO 30MM
 [X1.5 DX, Y0 FISSA, Z0.5 SUL PEZZO
 [FRESA D63 INS
 [FRESA D20 SGR
 [FRESA D20 INS
 [FRESA D12 SGR
 [FRESA D12 W
 [FRESA D8 2TG
 [PDC D12
 [PUNTA D5.3 HSS
 [PUNTA D13.8 HSS
 [PUNTA D4.8 W
 [MASCHIO M6
 [ALESATORE D5.05
 [ALESATORE D14H7
 [SMUSATORE D29

G17
 O1

T15M6 [FRESA D63 INS
 S900F700M13
 T7
 L1 [IMBIANCATURA
 Z100R

T7M6 [FRESA D20 SGR
 S715F140M13
 T2
 G49I10.2
 L2 [INTESTATURA
 Z100R

T2M6 [PDC D12
 S2000F100M13
 T44
 G81J2Z-2.8I0.5K1
 L3 [D5.3
 G80
 G81J2Z-2.6I0.5K1
 L4 [D5.05
 G80
 G81J2Z-4.2I0.5K1
 L5 [D4.8/D8
 L6 [D14H7
 G80
 G81J2Z-7.6I.5K1Q50
 L7
 G80
 Z100R

T44M6 [PUNTA D5.3 HSS
 S1500F130M13
 T11
 G81J2Z-23I1K1
 L3
 L7
 G80
 Z100R

T11M6 [MASCHIO M6
 S300M13
 T10
 G84J2Z-14F1000Q50
 L7
 G80
 Z100R

T10M6 [PUNTA D13.8 HSS
 S615F55M13
 T19
 G81J2Z-25I2K1
 L6
 G80
 Z100R

T19M6 [ALESATORE D14H7
 S300F30M13
 T11
 G86J2Z-21
 L6
 G80
 Z100R

T11M6 [PUNTA D4.8 W
 S2300F170M13
 T12
 G81J2Z-22I2K1
 L5
 G80
 G81J2Z-8.5I2K1
 L4
 G80
 Z100R

T12M6 [ALESATORE D5.05
 S630F50M13
 T7
 G86J2Z-7
 L4
 G80
 Z100R

T7M6 [FRESA D8 2TG
 S1200F70M13
 T8
 G81J2Z-16I0.5K1
 L5
 G80
 Z100R

T8M6 [FRESA D20 INS
 S2000F500M13
 T4
 G49I10
 L10 [D50
 Z100R

T4M6 [FRESA D12 SGR
 S1300F80M13
 T9
 G49I6.2
 L8 [SCASSI SGR
 Z100R

T9M6 [FRESA D12 W
 S2100F220M13
 T12
 G49I6
 L2
 L9 [SCASSI FIN
 Z100R

T15M6 [SMUSATORE D29
 S3000F800M13
 T15
 G49I9
 L11
 Z100R

LFINE:
 M30

L=1
X-135Y-20R
Z0R
X35
Y-70R
X-135
Z20R
G32

L=2
X-15Y15R
Z-25R
G41K1
G13Y0.5J0
G21J12.5
G13X0J-90
G21J12.5
G40K1X-15Y-105
Z20R
G32

L=3
X-30Y-85
X-81Y-81
X-86Y-5.5
G32

L=4
X-43Y-5.5
Y-72.5
G32

L=5
X-15Y-67
X-71
Y-11
X-15
G32

L=6
X-58Y-39
G32

L=7
X-10.5Y-46
G32

L=8
X10Y-39R
Z-4.5R
G41K1
G13Y-17J180
G13X-12J-90
G13Y-55J0
G40K1X10Y-39
G41K1
G13Y-17J180
G21I9
G13X-24J-90
G21I9
G13Y-55J0
G40K1X10Y-39
Z20R
[
X10Y-26R
Z-25R
G41K1
G13Y-17J180
G20X-15Y-26I9
G13Y-35J0
G40K1X10Y-26
Z20R
G32

L=9
X-58Y-39R
Z-17R

G41K2
G20I25
G40K2X0IY0I
Z-1R
G41K2
G20I30
G40K2X0IY0I
Z20R
[
X10Y-39R
Z-4.5R
G41K1
G13Y-17J180
G21I9
G13X-24J-90
G21I9
G13Y-55J0
G40K1X10Y-39
Z20R
[
X10Y-26R
Z-25R
G41K1
G13Y-17J180
G20X-15Y-26I9
G13Y-35J0
G40K1X10Y-26
Z20R
G32

L=10
X-58Y-39R
Z2R
Z0.5
G735Z-22I2
G41K2
G20I25
G40K2X0IY0I
G734
Z-1R
G41K2
G20I30
G40K2X0IY0I
Z20R
G32

L=11
X15Y15R
Z-1.5R
G41K1
G13X0J-90
G13Y-17J180
G13X-24J-90
G13Y-55J0
G13X0J-90
G21J12
G13Y-90J180
G21J3
G13X-92J90
G21J3
G13Y0J0
G21J12
G13X0J-90
G40K1X15Y15
Z20R
[
X-58Y-39R
Z-2.5R
G41K2
G20I25
G40K2X0IY0I
Z20R
G32



Слика 39: Процес израде од монтаже до готовог дела и карактеристични захвати

3.2 Координирање пословима у производњи

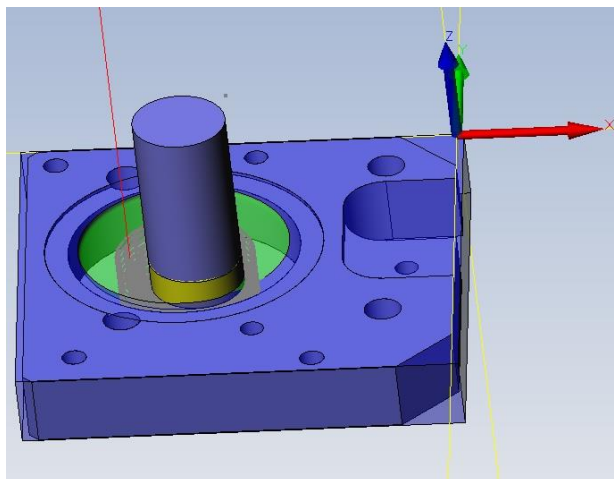
Након анализе радних задатака технолога и оператора могуће је повући извесну паралелу између њих. Ако се искључи физички део посла који се односи на манипулацију радним предметом и алатом, долази се до закључка да је крајњи резултат њиховог ангажовања веома сличан, а то је употребљив програм заснован на максималном, али и најоптималнијем и најекономичнијем искоришћењу понуђених ресурса где кључну улогу игра искуство и обученост кадрова.

Ту се пре свега мисли на способност визуелизације процеса, одговорно креирање стратегије и секвенцирање процеса. Зато технолог у оваквим случајевима често израђује програм за само једну, најкомплекснију фазу, док оператор ручним програмирањем израђује програм за остале, мање компликоване фазе. У овом случају то се односи на чеоне навоје М6 или равнање другог чела. Ове активности код искусног радника спадају у рутину и доста брже се изводе ручним програмирањем. Овом расподелом фаза добија се на времену, а време је у овом послу веома скуп ресурс.

У оба случаја бележе се примери који говоре у прилог аутоматском, односно ручном програмирању. Размотриће се секвенце из раније приказаних програма, а које се односе на спирално копање отвора пречника 50mm.

G0 X-58. Y-39. /позиционирање
 G0 Z2.5 /спуштање
 G0 Z.5 /сигурносно растојање
 G41 /улаз
 G1 X-78.
 G1 Y-43.8
 G3 X-58. Y-63.8 I-58. J-43.8 /путања
 G3 X-58. Y-63.8 Z-.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-1.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-2.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-3.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-4.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-5.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-6.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-7.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-8.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-9.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-10.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-11.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-12.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-13.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-14.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-15.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-16.5 I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 Z-17. I-58. J-39.
 G3 X-58. Y-63.8 I-58. J-39.
 G3 X-38. Y-43.8 I-58. J-43.8
 G1 Y-39.
 G40 /излаз
 G1 X-58.
 G0 Z2.5 /сигурносно растојање

X-58Y-39R /позиционирање
 Z2R /спуштање
 Z0.5 /сигурносно растојање
 G735Z-22I2 /спирално глодање, дубина и корак
 G41K2 /улаз
 G20I25 /путања
 G40K2X0IY0I /излаз
 G734 /крај функције
 Z20R /сигурносно растојање



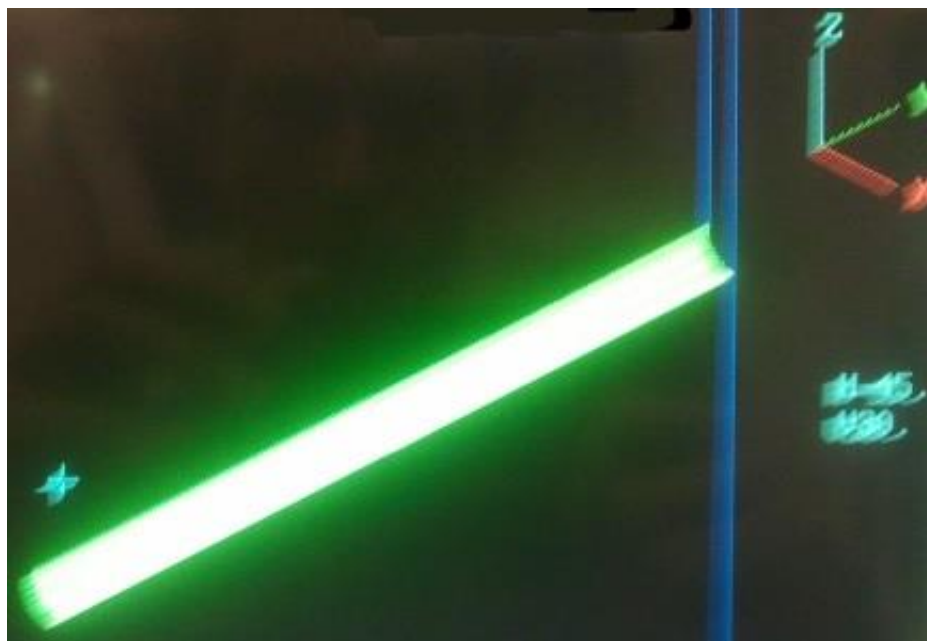
Слика 40: Упоредни приказ разматраних делова програма са симулацијом

Лево је приказан код који је генерисао САМ систем. Прво запажање односи се на дужину кода. Формулација истог је такође комплексна, па би у случају потребе за евентуалним корекцијама било прилично тешко извршити их ручно, а њихова тачност би била упитна. На пример, када би било потребно смањити корак завојнице по којој се креће алат, било би неопходно додати одређени број линија уз истовремено мењање параметра Z у њима. Сигурнија варијанта је корекција путање САМ софтвером.

Са друге стране је прилично једноставна функција која од кружне креира завојну путању алата. Она у себи садржи параметре за корак (I) и крајњу дубину (Z) и у случају потребе за корекцијама изводи се променом ових параметара.

Као супротан пример размотриће се формирање унутрашњег радијуса инкременталним померањем алата за одређени корак. За почетак генерисани код путање кретања глодала пречника 10mm, са кораком померања 0,05mm.

G0 X0. Y-5.	G1 Y-4.643 Z-3.145	G1 X0.	G1 Y-1.812 Z-.34
G0 Z50.	G1 X0.	G1 Y-3.484 Z-1.413	G1 X50.
G0 Z5.	G1 Y-4.605 Z-3.053	G1 X50.	G1 Y-1.718 Z-.305
G1 Z-5.	G1 X50.	G1 Y-3.411 Z-1.344	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.565 Z-2.961	G1 X0.	G1 Y-1.624 Z-.271
G1 Y-4.999 Z-4.9	G1 X0.	G1 Y-3.337 Z-1.277	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.524 Z-2.87	G1 X50.	G1 Y-1.529 Z-.24
G1 Y-4.996 Z-4.8	G1 X50.	G1 Y-3.262 Z-1.211	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.48 Z-2.78	G1 X0.	G1 Y-1.434 Z-.21
G1 Y-4.991 Z-4.7	G1 X0.	G1 Y-3.186 Z-1.146	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.435 Z-2.691	G1 X50.	G1 Y-1.337 Z-.182
G1 Y-4.984 Z-4.6	G1 X50.	G1 Y-3.108 Z-1.083	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.388 Z-2.603	G1 X0.	G1 Y-1.241 Z-.156
G1 Y-4.975 Z-4.501	G1 X0.	G1 Y-3.029 Z-1.022	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.339 Z-2.516	G1 X50.	G1 Y-1.144 Z-.133
G1 Y-4.964 Z-4.401	G1 X50.	G1 Y-2.949 Z-.962	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.289 Z-2.429	G1 X0.	G1 Y-1.046 Z-.111
G1 Y-4.951 Z-4.302	G1 X0.	G1 Y-2.868 Z-.904	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.236 Z-2.344	G1 X50.	G1 Y-.948 Z-.091
G1 Y-4.936 Z-4.203	G1 X50.	G1 Y-2.785 Z-.848	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.182 Z-2.26	G1 X0.	G1 Y-.85 Z-.073
G1 Y-4.919 Z-4.105	G1 X0.	G1 Y-2.702 Z-.793	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.127 Z-2.177	G1 X50.	G1 Y-.751 Z-.057
G1 Y-4.9 Z-4.007	G1 X50.	G1 Y-2.617 Z-.739	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-4.069 Z-2.095	G1 X0.	G1 Y-.652 Z-.043
G1 Y-4.879 Z-3.909	G1 X0.	G1 Y-2.531 Z-.688	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-4.01 Z-2.014	G1 X50.	G1 Y-.553 Z-.031
G1 Y-4.857 Z-3.811	G1 X50.	G1 Y-2.444 Z-.638	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-3.95 Z-1.934	G1 X0.	G1 Y-.453 Z-.021
G1 Y-4.832 Z-3.715	G1 X0.	G1 Y-2.357 Z-.59	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-3.888 Z-1.856	G1 X50.	G1 Y-.354 Z-.013
G1 Y-4.805 Z-3.618	G1 X50.	G1 Y-2.268 Z-.544	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-3.824 Z-1.779	G1 X0.	G1 Y-.254 Z-.006
G1 Y-4.777 Z-3.522	G1 X0.	G1 Y-2.178 Z-.499	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-3.759 Z-1.703	G1 X50.	G1 Y-.154 Z-.002
G1 Y-4.746 Z-3.427	G1 X50.	G1 Y-2.088 Z-.457	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-3.692 Z-1.629	G1 X0.	G1 Y-.054 Z0.
G1 Y-4.714 Z-3.333	G1 X0.	G1 Y-1.997 Z-.416	G1 X50.
G1 X0.	G1 Y-3.624 Z-1.555	G1 X50.	G1 Y0.
G1 Y-4.679 Z-3.239	G1 X50.	G1 Y-1.905 Z-.377	G1 X0.
G1 X50.	G1 Y-3.555 Z-1.484	G1 X0.	G0Z50



Слика 41: Унутрашњи десни радијус корака 0.05mm

L=3 /подпрограм
P1=-5 /Z почетак
P2=0 /Z крај
P3=0.05 /по пролазу
P4=5 /коректор глодала
P5=5 /радијус
P6=22 /Y почетак
P7=-13 /Y крај
P9=-10 /X центар
P10=0 /Z центар

L=63
P11=P10-P1 /једна катета (дужина Z)
{P5<P11}L64
P12=SQR(P5^2-P11^2)/друга катета (дужина X)
P13=P9-P12 /дужина X + центар X
P14=P13+P4 /+ радијус глодала
XP14YP6R /позиционирање XY
ZP1R /позиционирање Z
YP7 /рад по Y оси
P1=P1+P3 /подижемо за 0.05
P11=P10-P1 /дужина катете
{P5<P11}L64

P12=SQR(P5^2-P11^2) /дужина X катете
P13=P9-P12 /дужина X + центар X
P14=P13+P4 /+ радијус глодала
XP14ZP1 /позиционирање XZ
YP6 /рад по Y оси
P1=P1+P3 / параметар за дубину
{P1<P2}L63 /понављање до финала
G32
L=64
ZP11R
G32 /крај

У првом случају приказаног кода радијус се формира искључиво назначеним алатом и није подложен модификацијама. Предност у односу на ручно програмиран код се огледа у брзини израде, па се уместо евентуалних модификација лако прави нови.

Што се тиче ручно програмираног кода, овакав начин уноса није исплатив никоме. Код је превише комплексан, захтева цео прорачун, чија тачност је упитна. Међутим, једном изведен код може се сачувати у виду макроа (као што је овај) и позивати када се укаже потреба. У том случају његова модификација је веома једноставна. Захтева параметре у виду координата центра, корака и коректора алата, а може се ротирати по потреби.

4. Закључак

Што се тиче CAD/CAM технологија, као централног места у производњи, размотрене су позитивне и негативне ствари. Најзначајнија запажања везана за њихову практичну примену дата су у наредном тексту.

Циљеви аутоматског програмирања могу се исказати на следећи начин:

- аутоматски прорачун путање алата на основу што краћег и једноставнијег описа жељене путање алата,
- аутоматско дефинисање захвата обраде и њиховог редоследа у случајевима када је редослед стандардан,
- аутоматизовано одређивање режима обраде,
- аутоматизовани избор резног алата и стезног прибора,
- аутоматско прерачунавање координатног система.

Предности примене аутоматског програмирања НУМА су:

- бржа и јефтинија израда програма,
- програми су краћи и независни од произвођача машине,
- мања је могућност уноса грешака приликом рачунања,
- боље је искоришћење програмера,
- омогућено је управљање и просторним (контурним) системима обраде.

Основни недостаци ручног програмирања исказују се следећим констатацијама:

- програмер мора да мења коте са цртежа и да их прилагођава координатном систему машине,
- програмер мора сам да дефинише геометрију дела, тј. да израчунава поједине карактеристичне коте и да до најситнијих детаља дефинише пут алата,
- сваки захват или покрет алата, или клизача, мора се посебно дефинисати и шифрирати сагласно језику који разуме управљачка јединица машине,
- режиме обраде програмер мора сам да дефинише и
- сваки произвођач машине има свој специфичан начин програмирања и кодирања информација.

Као последице ових недостатака могу да се наведу следеће констатације:

- ручно програмирање код већег броја машина и компликованијих делова постаје "уско грло",
- потребно је више квалификованих програмера,
- сам технолошки поступак израде делова траје дуже услед спорог програмирања, што поскупљује производ,
- већа је могућност грешака, нарочито код сложенијих делова.

Конкурентност у савременој индустрији условљена је константним напретком у области конструисања, производним технологијама, организацији рада, тежњи већем

степену аутоматизације. Трендови се мењају готово свакодневно. Координација пословима у производњи диктира ефикасност која резултира крајњим профитом.

За спроведену анализу посматран је циклус активности. Свака од њих носи одређену количину одговорности, али и заслуга за крајњи резултат. Кључна ствар у сваком случају су кадрови јер њихово радно искуство, способности и знање уткани су у сваки произведени комад. Иницијална улагања су значајна. Обука може бити сложенија и скупља, али је повратак средстава знатно бржи.

Познавање неког од софтвера за моделирање данас не представља луксуз, него једну од основа писмености. Инжењери не могу да напредују а да не баратају добро овим програмима. CAD/CAM технологија је постала сфера око које се врте велике светске фирме и од чијег развоја зависи већина њих. У општем је интересу да ови системи наставе да напредују, како би на основу њих и многе светске компаније могле да се осавременују. Само улагање у нове напредне технологије гарантује сигурну будућност компаније и запослених. Ако имамо у виду да поједине земље преко 70% бруто друштвеног производа обезбеђују из нових технологија и нових производа, онда је то тренд који треба пратити. Сасвим је сигурно да су CAD/CAM технологије управо алати којима се један велики део нових производа дизајнирају и производе.

5. Литература

- [1] БУЋАН М., МИЛОЈЕВИЋ М., ПОТКОЊАК В., *Аутоматизација производње*, Завод за уџбенике, Београд, 2001.
- [2] ЈОВИЧИЋ С., МАРЈАНОВИЋ Н., *Основи конструисања*, Факултет инжењерских наука, CADLab, Крагујевац, 2011.
- [3] ДЕВЕЦИЋ Г., *CAD/CAM технологије*, Машински факултет Крагујевац, CIRPIS, Крагујевац, 2006.
- [4] ЈОВАНОВИЋ М., *Пројектовање рачунаром*, Машински факултет, Ниш, 2006.
- [5] МАРЈАНОВИЋ Н., *Инжењерски алати, предавања*, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2017.
- [6] www.dptechnology.com, *Esprit CAM brochure*, 2017.
- [7] www.selca.it, *Funzioni di programmazione*, 2017.