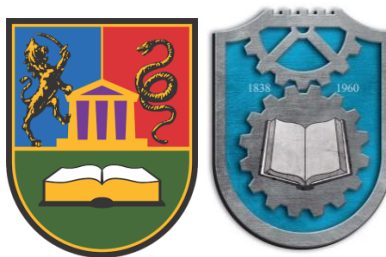


Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 13/2017

Марко С. Митић

Врсте и карактеристике САМ софтвера

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, јул 2020. године



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основнестудије: **Машинско инжењерство**

Студијскоподручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Марко Митић**

Бројиндекса: **13/2017**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Врсте и карактеристике САМ софтвера**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о софтверима за генерисање НЦ кода – САМ софтверима. Потребно је описати различите САМ софтвере са аспекта специфичности и примене. У посебном делу рада описати софтвер *NCG САМ* који се користи у предузећу Горење МДМ, Крагујевац и извршити поређење овог софтвера са осталим САМ софтверима.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. САМ софтвери, карактеристике и примена,
3. Карактеристике *NCG САМ* софтвера,
4. Поређење *NCG САМ* софтвера са осталим САМ софтверима,
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

ДрБогдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 12.03.2020.

Резиме

У овом раду детаљно су описивани САМ софтвери, њихове врсте и карактеристике, са акцентом на NCG који се примењује у „Горење МДМ“. Неки од најпознатијих су свакако, CATIA CAM, SolidWorks CAM, али и многи други, мање познати, као што су: Mastercam, HyperMill, PowerMill, итд. У раду је извршено поређење NCG софтвера са осталим софтверима, са главним фокусом на CATIA и SolidWorks CAM. У поглављу 2, које гласи „САМ софтвери, карактеристике и примена“, дати су практично сви софтвери који се користе. У поглављу 3, које се назива „карактеристике NCG CAM софтвера“, највећа пажња је посвећена карактеристикама овог софтвера, где се може наћи упутство за коришћење и поступање са софтвером, односно целокупан процес од увођења предмета обраде, преко генерисања стратегије обраде, до финалне израде комада и израде технолошке документације. Када је у питању последње поглавље, у њему су изражене разлике NCG-а у односу на CATIA и SolidWorks CAM.

Кључне речи: *CAM софтвери, NCG CAM, CATIA CAM, SolidWorks CAM*

Abstract

This paper describes in detail CAM software, their types and characteristics, with an emphasis on NCG used in "Gorenje MDM". Some of the most famous are certainly CATIA CAM, SolidWorks CAM, but also many others, lesser known, such as: Mastercam, HyperMill, PowerMill, etc. The paper compares NCG software with other software, with the main focus on CATIA and SolidWorks CAM. Chapter 2, "CAM Software, Features, and Applications," are present all of the software used. In Chapter 3, "Characteristics of NCG CAM software", the greatest attention is paid to the characteristics of this software, where is possible find instructions for use and handling of the software, or the entire process from the introduction of the object of processing, through the generation of processing strategy pieces and production of technological documentation. When it comes to the last chapter, it expresses the differences of NCG in relation to CATIA and SolidWorks CAM.

Keywords: *CAM software, NCG CAM, CATIA CAM, SolidWorks CAM*

Садржај

1. Увод.....	4
2. САМ софтвери, карактеристике и примена.....	5
2.1. BobCAD-CAM.....	8
2.2. CAMBAM.....	8
2.3. FeatureCAM.....	9
2.4. CATIA.....	10
2.5. SolidWorks CAM.....	14
2.6. Остали САМ софтвери	18
3. Карактеристике NCG САМ софтвера	20
3.1. Обраде у софтверу NCG САМ	23
3.2. Начини пролаза алата у NCG САМ-у	26
4. Поређење NCG САМ софтвера са осталим САМ софтверима.....	33
5. Закључак.....	42
Литература	43

1. Увод

Са појавом сложених делова који се примењују у разноврсним системима, јавила се потреба за усавршавањем начина обраде. То усавршавање се односи како на смањење времена обраде и тачност обраде, тако и на оптимизацију трошкова. У том циљу, као идеално решење, намеће се употреба CAM (Computer Aided Manufacturing) софтвера као савремени вид машинирања. Погодност ових софтвера је генерисање NC кода, који се користи за програмирање CNC машина, односно комуникацију између рачунара и машине. Они захтевају моделирање изгледа готовог комада (CAD) који ће се касније обрађивати. Сваки CAM процес захтева одређени број поступака, који се извршавају у циљу што тачнијег процеса обраде. Ти поступци су генерисање припремка, генерисање и оптимизација путања алата, креирање и коришћење база података и каталога режима и алата, прорачун времена израде, генерисање NC програма, симулација и визуелизација процеса израде, генерисање производне документације, брза израда прототипова, надградња знањем и управљање производним процесима. Поглавље 2, о CAM софтверима, детаљно разрађује овај пасус. Поред тога, даје увид о свим CAM софтверима и даје њихове основне карактеристике.

Данас, у примени се може наћи широк избор CAM софтвера, који по својим карактеристикама међусобно варирају. Већина тих софтвера се огледа везом CAD-CAM, што подразумева да се свака промена на моделу, аутоматски генерише током машинирања. Међутим, постоје софтвери који су предвиђени стриктно за машинирање, односно CAM. Једни од најбољих, свакако најпопуларнији, су CATIA и SolidWorks CAM. Између осталих, у примени су: NCG (који ће се обрадити у наставку), HSM Works, HyperMill, PowerMill, CAM Works, Solid CAM, Feature CAM, Mastercam и други. Оно што је заједничка тежња свих произвођача CAM софтвера, јесте да креирани софтвер буде сврсисходан. Сходно томе, светски позната компанија Siemens, направила је CAM софтвер за сопствене потребе, под називом Siemens NX CAM. С друге стране, предузеће Горење МДМ, Крагујевац користи NCG CAM за своје потребе. Карактеристикама овог софтвера је посвећено цело једно поглавље, поглавље 3, које је базирано на детаљном упутству о начину функционисања програма.

Како се пресерски алат састоји од делова сложеног облика, који не укључује серијску производњу, потребан је софтвер који ће са лакоћом извршити обраду. У индустрији на глобалном нивоу, тежи се да софтвер задовољи однос цене и квалитета. Са аспекта цене, SolidWorks и CATIA су изузетно скупи софтвери, јер су високо софистицирани. Са аспекта квалитета, NCG не заостаје пуно за њима, а притом је цена коштања тог софтвера значајно нижа. Притом, овај софтвер се карактерише са одређеним бројем недостатака, али још већим бројем предности. Најзначајнија предност јесте релативно једноставан поступак машинирања, уз добру обуку. Потом, може се рећи да је применљив за потребе машинирања врло сложених предмета. На крају, у софтверу постоји велики број различитих обрада, од којих неке одговарају грубој обради, док преостали број одговара финој, чиме се постиже врло тачна обрада радног комада. Разлике NCG софтвера у односу на CATIA-у и SolidWorks, објашњене су на конкретним примерима, у поглављу 4.

2. CAM софтвери, карактеристике и примена

Компјутерски подржана производња, односно CAM (енг. Computer Aided Manufacturing) обично се односи на употребу рачунарског софтвера за нумеричку контролу (NC) за креирање детаљних упутстава (G-код), која покрећу рачунарске алатке за нумеричко управљање (CNC) за производњу делова. Кључна предност CAM-а јесте правилно дефинисан производни план који доноси очекиване резултате у производњи. Ови рачунарски системи помажу произвођачима у различитим операцијама, као што су планирање, транспорт, управљање и складиштење. CAM помаже произвођачима да оптимизују своје време и визуелно сагледају процес [1].

Као процес, CAM се користи након компјутерски подржаног дизајнирања (CAD) или компјутерски подржаног инжењерства (CAE). Модел дизајниран помоћу CAD-а се понекад користи као CAM улаз, због тога се и назива CAD-CAM. Функције овог комбинованог софтвера подељене су у две главне категорије:

- Планирање производње – у овом процесу, рачунар испоручује информације за планирање производње као и за управљање. То може да укључује: компјутерско планирање процеса (CAPP), компјутерско програмирање NC дела, компјутеризовани систем података о обрадљивости, развој радних стандарда и планирање залиха и производње.
- Контрола производње – у току процеса се рачунар користи за управљање и контролу физичких операција производног погона. Они могу да укључују: Shop Floor контролу, процес надгледања и контроле, контролу залиха и контролу испоруке производње [2].

CAM има бројне погодности које указују на његово масовно коришћење, а неке од њих су:

1. Побољшава могућности обраде – коришћењем CAD-CAM система, произвођачи могу побољшати своје могућности обраде. На пример, када се произвођач бави сложеним обрадама у три осе, тада се ослања на комбиновани софтвер за креирање путање алата за обраду пројеката као што је обликовање. CAM систем аутоматизује процес и олакшава произвођачима да заврше пројекат на време.
2. Побољшава приступачност клијента – CAD-CAM софтвер омогућава произвођачима да примају CAD датотеке од својих купаца. Након примања ових датотека, они могу поставити путању алата за обраду и извести симулације, што им помаже у израчунавању времена циклуса обраде. Софтвер омогућава произвођачима да минимизирају грешке, лако извршавају пројекте и испоручују производе на тржиште у краћем временском року.

3. Помаже у побољшању продуктивности CNC машина – већина CAD-CAM система обезбеђује путање за алатне машине велике брзине, што има за циљ скраћење времена циклуса, смањење трошења алата и машина.
4. Помаже у смањењу материјалног отпада – како CAD-CAM софтвер одликује симулацијске карактеристике, то омогућава визуелно прегледање процеса обраде. Ова карактеристика доприноси укупној продуктивности производног погона. Такође, помаже да се елиминишу грешке, као и да се смањи материјална потрошња.

Постоје разни типови CAM софтвера, који су користе у обрадним процесима, а биће наведени неки од њих: BobCAD-CAM, CAMBAM, CAMWorks, CATIA, EdgeCam, Esprit, Fusion 360, GibbsCAM, HyperMill, HSM Works, Mastercam, PowerMill, Siemens NX CAM, SolidCAM, SolidWorks CAM, SprutCAM, FeatureCAM и многи други.

Што се тиче основних функција CAM система, оне су везане за планирање производно-технолошких процеса (слика 1), као што су генерисање припремка, генерисање и оптимизација путања алата, креирање и коришћење база података и каталога режима и алата, прорачун времена израде, генерисање NC програма, симулација и визуелизација процеса израде, генерисање производне документације, брза израда прототипова, надградња знањем и управљање производним процесима.



Слика 1. Основне функције CAM система[3]

Геометријски модел производа представља финални облик који треба постићи након израде. CAM системи имају могућност за аутоматско генерисање припремка на основу геометријског модела производа (готов комрад, односно обрадак). Поменута функција се заснива на „логици додатака за обраду“, односно логици стандардних димензија материјала. Користећи габаритне димензије геометријског модела, CAM систем генерише допунски модел, тј. модел припремка и придружује га производно-технолошком моделу.

Генерисање и оптимизација путања алата је функција САМ система која се најчешће изводи у оквиру технолошког планирања. Међутим, има производних ситуација које захтевају накнадну проверу путања алата и њихову евентуалну корекцију и регенерацију. 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.

Креирање и коришћење база података и каталога машина, опреме, алата, прибора, режима рада и других битних елемената производног процеса су од виталног значаја за брзо и ефикасно моделирање и симулацију производње.

Прорачун времена израде се изводи аутоматски на основу осталих производно-технолошких параметара, узимајући у обзир величину и конфигурацију производа. Уопштено, време израде, поред главног времена, укључује сва припремна, помоћна и завршна времена. Оно што посебно краси САМ софтвере јесте могућност симулације пре израде програма за нумерички управљане машине алатке и пре генерисања производне документације. Током симулације, САМ систем визуелно приказује све релевантне информације, посебно означавајући места могућих проблема и недостатака.

Генерисање NC програма, којима се врши рачунарско управљање производном опремом, потпуно је аутоматизовано. Изводи се посебним функцијама САМ система, на основу геометријског и технолошког модела. NC програми се односе и на другу производну опрему, као што су нумерички управљане мерне машине, роботи, транспортна средства и слично.

Генерисање производне документације се односи на формирање документације у електронском облику, погодном за размену између различитих учесника у развоју производа. Генерисање производне документације се односи на аутоматско креирање документа у HTML формату [4].

Брза израда прототипова је нова технологија којом се стварају физички модели и функционални прототипови директно на основу геометријског (CAD) модела производа. За израду оваквих прототипова, није потребна никаква производна опрема, као што су алати и прибори, нити је потребно генерисати NC програм [4].

Надградња знањем се односи на креирање фамилије делова и уношења параметара, како би одређен геометријски модел могао имати више конфигурација. Ово се посебно користи када је потребно од једног модела, добити две или више конфигурација, које се разликују по одређеним димензијама.

Управљање производним процесима мора задовољити два основна услова. Са једне стране, потребно је да обједине све податке и информације од значаја за реализацију производа. Са друге стране, потребно је испоштовати захтев асоцијативности са другим модулима САМ система [4].

Када се захтева извршавање задатка у вези пројектовања технологије, потребно је применити знање које се односи на изабрану технологију, поштујући поступке и препоруке из литература, али и искуство. Потребно је да технолог дефинише параметре и њихове вредности којима се постиже добијање производа жељених особина. То дефинисање се може обавити према неким устаљеним формулама, из литературних препорука или пак искуствено. Пројектовање технологије, ако се као пример узме обрада метала резањем (ОМР), састоји се од следећих корака: избор врсте обраде, избор врсте и редоследа операција, избор машина алатки, избор алата, избор режима обраде, генерисање путање алата, одређивање времена обраде, генерисање NC кода и одређивање трошкова и економичности обраде.

2.1. BobCAD-CAM

BobCAD-CAM је креиран 1980. године и данас постоји у две верзије. Једна верзија је свеобухватни CAD софтвер који садржи све функције CAM-а, док је друга верзија предвиђена за софтвер SolidWorks. Што се тиче операције глодањем, овај софтвер има могућност моделирања 2D и 3D модела, као и путање алата у 2.5 и 3 осе. Поред тога, поседује напредне видове симулације и могућност генерисања NC кода. Поред глодања, издваја се операција стругањем, која се може користити за све грубе обраде, као и за урезивање навоја. Такође, могу се примењивати и савременији процеси обраде, као што су ласерско, плазма и водено убризгавање [5].

Ако се у BobCAD-CAM-у ради процес машинирања, онда све податке који се директно тичу тих процеса, налазе се у прозору под називом „Data-CAM tree manager“. Манипулисање у стаблу се врши углавном притиском на десни клик. На тај начин се одмах улази у жељени процес. Као и код већине оваквих софтвера, једна од ствари која се бира јесте машина, али се углавном користи стандардна машина. Што се тиче избора алата, они се могу бирати из библиотеке или ручно подешавати. Након тога, подешава се позиција координатног система. Када се говори о одређеним операцијама, на пример глодању, поступак је следећи: у поменутом стаблу се десним кликом изабере опција да се започне процес. Даље се дефинише стратегија машинирања. Неке од широких опција су прављење цепова, профилно глодање, глодање са обарањем ивица и слично. Једна од предности овог софтвера, приликом генерисања операција, јесте што се може селектовати више обрадних операција одједном. Наравно, могу се подесити алати за фину и грубу обраду, а такође и путање алата за све селектоване операције.

2.2. CAMBAM

Неке од карактеристика које одликују овај софтвер су те да је врло једноставан за почетнике, јер има за кориснике обезбеђене видео туторијале. Као и сваки CAM софтвер, нуди могућност рада у 2.5 и 3D. У свом широком спектру могућности издвајају се операција прављења отвора са могућношћу дефинисања острва, односно површине која се неће обрађивати, затим све врсте бушења, гравирање, увоз геометрије из cb, dxf, 3ds, stl, tap, ps и gbr формата и слично [6].

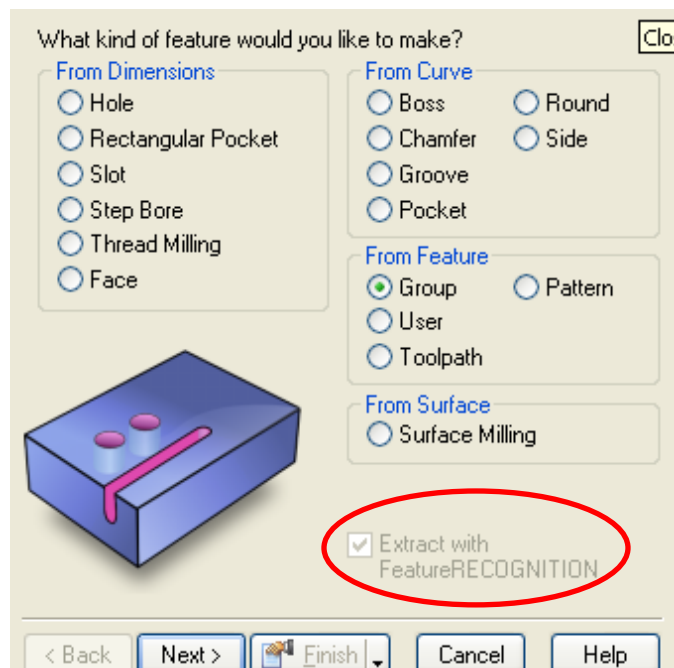
У САМВАМ-у се машинирање може вршити у тзв. mesh cam-у. Прво је потребно увести готов део, а након тога креирати припремак. Почетна подешавања се настављају одређивањем висине подизања алата након обраде. Наравно, потребно је поставити „0“ радног предмета, односно координатни систем. Након свега наведеног, подешава се путања алата. За одабир операција постоји палета испод падајућих менија, где се могу бирати обраде као што су прављење џепова, профилно глодање и слично. Један од можда недостатака овог софтвера јесте што нема могућност визуелне симулације, па корисник не може реално сагледати да ли је добре путање одредио, што изискује претходно искуство у другим САМ софтверима. Наравно, ово се објашњава чињеницом да САМВАМ прави G-код али је радни комад у 2D. Треба поменути да процес машинирања нема потпору дизајнирања CAD модела, утицајући на увоз геометрије из неког другог софтвера.

2.3. FeatureCAM

Програм има модуле за 2.5D и 3D глодање на троосним машинама, моделирање пуних облика, аутоматско препознавање облика на 3D моделима, обраду на 2D струговима, 2D и 4D обраду на ерозиматима и слично. Основна предност је што се за процесе аутоматски могу бирати операције, алати, стратегије, брзине, кораци, путање и на крају NC код. Главни задаци које овај софтвер обезбеђује приликом машинирања су одређивање облика почетног комада, дефинисање операција на деловима при машинирању, дефинисање услова машинирања при обрадном процесу, визуелизација одстрањивања вишка материјала, модификовање геометрије и поправљање операција машинирања и генерисање APT кода за машине или NC кода.

Овај софтвер, на самом почетку, пружа могућност да се изабере облик и димензије припремка, као и његов материјал. FeatureCAM, иако како му име каже предвиђен за машинирање, има и опције које кориснику омогућавају да сам моделира предмет. У ту сврху се користи „Steps Panel“, где се могу вршити додатне корекције на припремку, који је на почетку стартовања програма дефинисан. Ипак, пожељније је користити неки софтвер предвиђен за CAD, па такву геометрију убацили у FeatureCAM. Огромна предност овог софтвера, слично као и код SolidWorks CAM-a, јесте опција „Automatic Feature Recognition“ (AFR). AFR је опција коју програм поседује и помоћу ње рачунар сам препознаје облике на моделу и може аутоматски понудити начин производње (алате, брзине, путање итд). Међутим, постоје случајеви када ова опција није најпоузданија па је потребно мењати или самостално бирати начин производње, али то не мења чињеницу да та могућност у великој мери олакшава избор параметара.

Уколико се захтева корак по корак извршавање машинирања, то се може одрадити преко опције „Features“ у Steps Panel–у (слика 2). У оквиру ове опције може се вршити 2.5D и 3D глодање. 2.5D се обрађују најчешће рупе, џекови, чеono глодање, бочно глодање, док се 3D глодањем најчешће обрађују криволинијске површи. Код обе врсте глодања, програм сам бира алате, брзине и помаке који се могу мењати и прилагођавати, нарочито ради скраћивања укупног времена, пре свега корекцијом у празном ходу могу се добити мања времена.



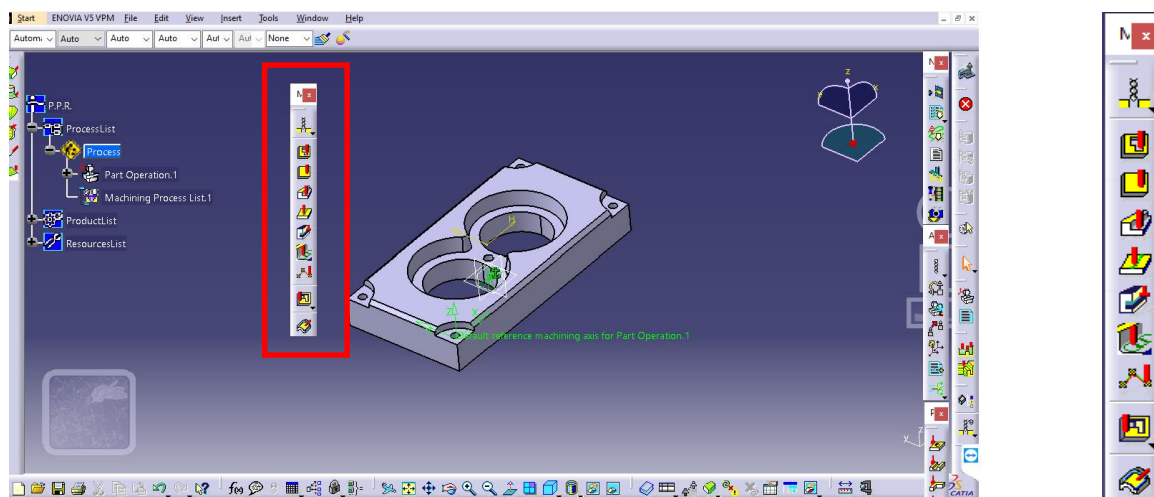
Слика 2. Приказ опције *Features y steps panel-y*[7]

Могуће је код већине обрада користити опцију „Extract with Feature Recognition“ (слика 2, уоквирено црвеном бојом), која пружа помоћ при налажењу појединих облика. Након тога, одређује се начин на који се бира геометрија облика који се обрађује. Потом, врши се одабир страница, линија и тачака које могу дефинисати геометрију обрађиваног облика како би се ограничило поље деловања алата. Следећи корак је селектовање површина од које креће обрада и површине до које се обрађује, као и обарање ивица, радијуса заобљења и слично. Једна од претпоследњих ствари на које треба обратити пажњу, јесте стратегија резања (истосмерно/супротносмерно резање, путања алата, број пролаза, дубина резања по пролазу и забушивање). Као последњи корак, бира се тип алата, при чему софтвер предлаже понуђену листу алата, али се избор може извршити и ручно.

2.4. CATIA

Софтвер CATIA у себи има посебан модул за CAM. Како је већ било речено, увек је добро када софтвер може обезбедити везу CAD-CAM, из разлога што свака промена на CAD моделу, чак и након генерисања путање алата, неће пореметити дефинисану путању, већ ће се путања прилагодити модификованој површини. CATIA има цео један одељак за машинирање (енг. Machining), где се налазе, између осталих, операције стругања (енг. Lathe machining), операције призматичног машинирања (енг. Prismatic machining), операције за напредно машинство (енг. Advanced machining) и друге.

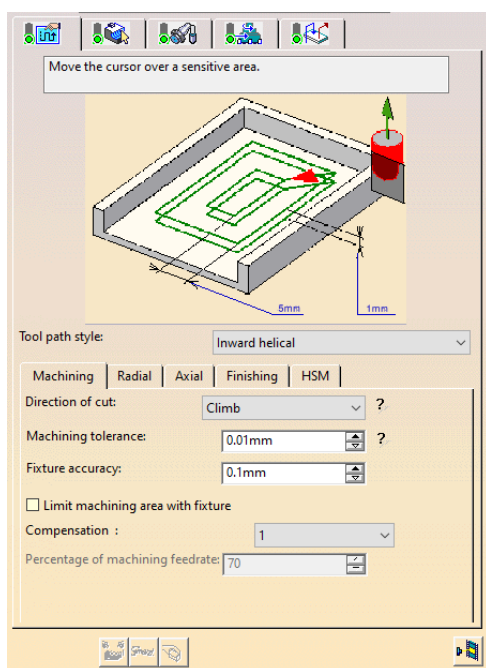
Свакако, један од најобухватнијих сегмената машинирања CATIA CAM система (слика 3), малопређашње поменутих, јесте сегмент за призматично машинирање, из разлога што садржи обраде чеоног глодања, прављења цепова, профилног глодања и још других, поред обраде бушења (наравно, ова обрада подразумева обраду свих врста отвора). Овај софтвер нуди одличан преглед извршених операција, ређајући их у спецификационом стаблу. Такође, увек је могуће кориговати извршену обраду двокликом на њу у поменутом стаблу. Извршене симулације, које се могу извршавати након сваке операције, врло доследно показују обрађене површине. Као и код претходно описиваних софтвера, циљ је добити NC код, који се касније користи за CNC машину. Можда један од недостатака CATIA CAM система, јесте што нема опцију додељивања материјала (наравно, могуће је доделити материјал сваком моделу при њиховом моделирању у CATIA-и). Такође, битно је напоменути списак машина које софтвер нуди: троосна машина (најчешће у примени), троосна са ротирајућим столом, петоосна, хоризонтални струг и вертикални струг, а постоји и могућност да се увезе нека друга машина, која није интегрисана у софтвер.



Слика 3. CATIA CAM – палета са најчешће коришћеним операцијама[8]

У оквиру палете „Machining Operations“, где се налазе понуђене операције, свака од операција нуди исти избор подешавања параметара, као што су:

1. Стратегија машинирања (слика 4) –подешавају се смер резања, дубина резања, толеранција, мод између пролаза, размак између пролаза (за профилно глодање), стил путање алата и завршна обрада.
2. Одабир површина (слика 5) – подешавају се сензитивне површине, при чему се алату даје информација по каквој ће контури вршити обраду. У зависности од изабране обраде, могуће је извршити дефинисање „острва“, односно површина која се неће обрађивати (израда цепова). Поред наведеног, могуће је задавати подизање алата након завршене обраде, ако се ради о обради бушењем, јер је код ове обраде могуће обележити више отвора истих пречника, где би при бушењу наредног отвора, бургија направила рез на радном комаду.



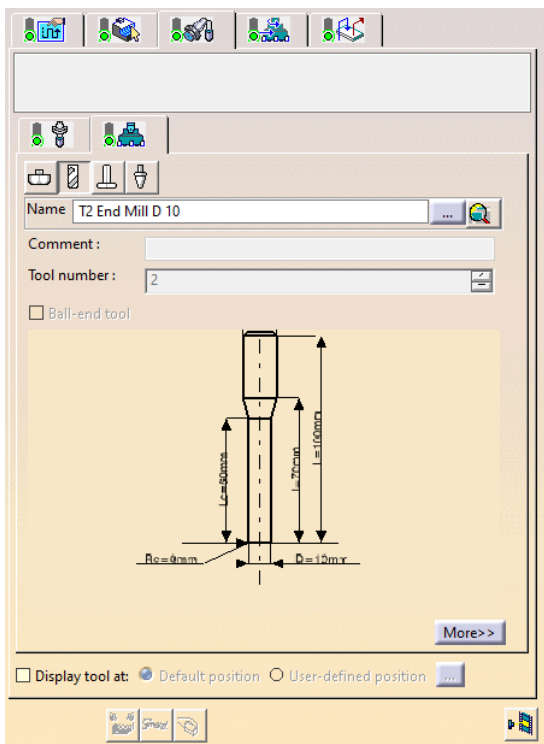
Слика 4. Стратегија машинирања[8]



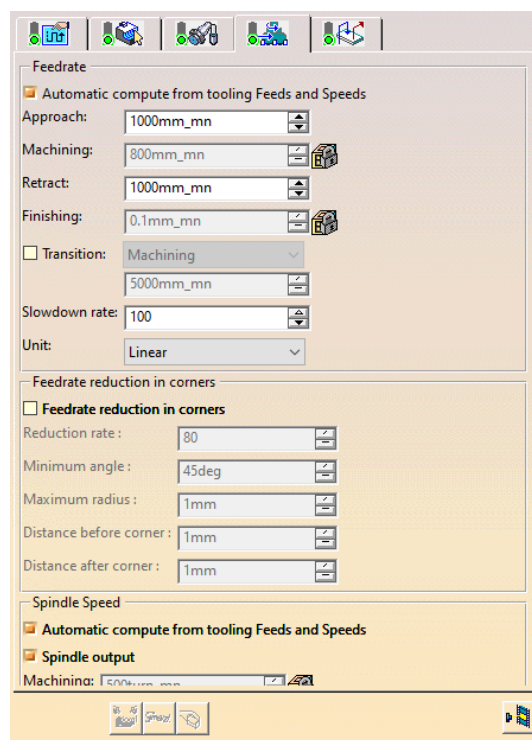
Слика 5. Одабир површина[8]

3. Дефинисање алата (слика 6) – подешава се тип алата (чеоно глодало, бургија, бочно глодало, конусно глодало итд), димензије алата (пречник алата, висина резног дела алата, укупна висина алата, радијус заобљења, угао врха бургије, део алата који се причвршћује у стезну главу) и редни број алата, који ће програм позивати. Од великог је значаја водити рачуна о редном броју алата. Софтвер сам додељује наредни слободни редни број приликом избора неког другог типа алата, на пример ако је чеоно глодало имало ознаку T1, наредни алат, рецимо бургија, имаће ознаку T2. Међутим, ако је потребно променити само димензију алата, а не тип алата, програм не додељује наредну ознаку, већ је потребно то урадити ручно. Ако се то не уради и остане претходна ознака (на пример, потребно је смањити пречник глодала са $\phi 5 \text{ mm}$ на $\phi 2.5 \text{ mm}$), програм ће „позивати“ алат претходно дефинисаном ознаком (глодало $\phi 5$, а не $\phi 2.5$).

4. Брзине резања (слика 7) – подешавају се брзине помоћног кретања (брзина прилаза алата, брзина одмицања алата и брзина фине обраде) и брзине главног кретања (обртно кретање глодала), када се говори о операцијама глодања, а када се ради о операцији бушења, такође се подешавају брзине помоћног кретања (брзина прилаза алата, брзина одмицања алата и брзина при којој бургија „урања“ у комад) и брзине главног кретања (обртно кретање бургије). Наравно, подешавање шта је помоћно а шта главно кретање зависи од обраде (глодање или бушење). Из тог разлога, разликују се прозори за ове две операције. Нека препорука је да и за глодање и за бушење, брзина прилаза и одмицања алата износи 1000 mm/min . Брзине обртног (главног) кретања су веома високе за обе обраде и износе 500 mm/min , за операцију бушења и 700 mm/min , за операцију глодања.



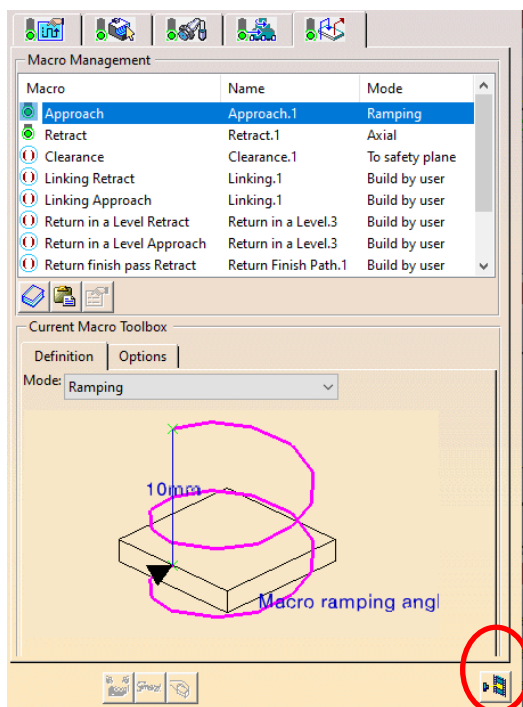
Слика 6. Дефинисање алата[8]



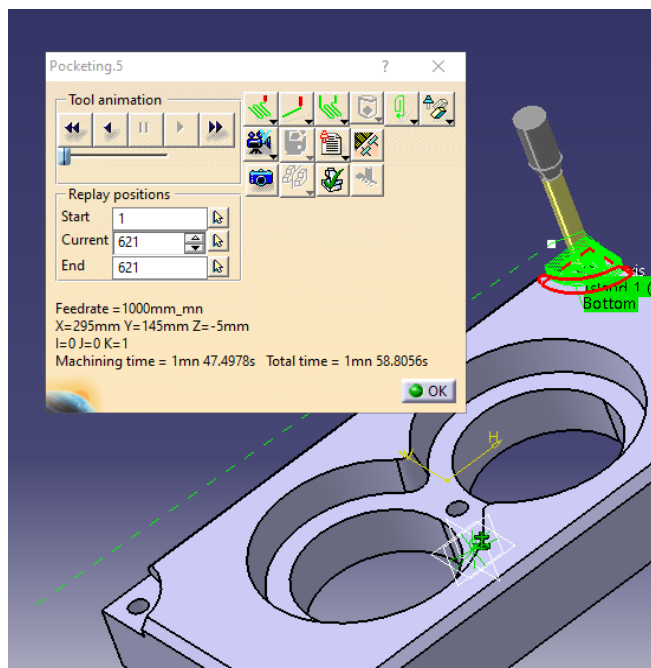
Слика 7. Брзине резања[8]

5. Примицање и одмицање алата (слика 8) – подешава се тип путање прилаза алата (мануелно примицање алата, хоризонтално-хоризонтално-аксијално, аксијално и спирално) и тип путање одмицања алата (могућност одмицања алата се може извршити на исти начин као код примицања алата). Такође, могуће је поставити висину на коју ће се алат подићи након извршене обраде, из разлога да не дође до колизије алата са предметом обраде. Подизање алата на одређену висину може се извршити задавањем одређене дистанце, коришћењем безбедносне равни (која је претходно дефинисана) или до неке друге задате равни.

Након извршења ових пет корака, приступа се покретању симулације (слика 9). Опција „Tool Path Replay“ (слика 8, уоквирена црвеном бојом) користи да се покрене симулација и да се врло реално уоче путање алата. Поред тога, софтвер сам приказује изглед геометрије након проласка алата, што изузетно помаже у праски, како би се предупредиле будуће грешке. CATIA, ипак, нема могућност да покрене само једну појединачну обраду, већ пушта све обраде које јој претходе. Такође, врло је корисна чињеница да се притиском на поменути опцију, аутоматски појављују зелене линије, које представљају путању алата, па се, на тај начин, може визуелно и уочити колики је размак између тих пролаза (посебно битно код глодања бочних страна). Током обраде, постоји могућност за предузимање корака, као што су паузирање или пак убрзавање симулације и слично. Још једна карактеристика овог дела CATIA-е, јесте процена времена обраде за пројектовану обраду.



Слика 8. Примицање и одмицање алата[8]



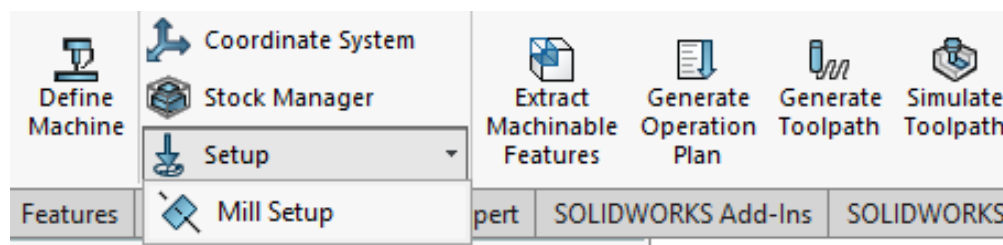
Слика 9. Покренута симулација[8]

2.5. SolidWorks CAM

SolidWorks CAM је модул који је интегрисан у оквиру истоименог софтвера од стране 3DS-a, како би се његов спектар могућности обогатио. Увек је пожељно када софтвер има могућност за везу CAD-CAM, јер сваки вид неке корекције, може се лако извршити и свака од тих промена ће се пренети на део који се машинира. Поседује алат за аутоматско препознавање функција, која тиме штеди време. Подржава истовремено обраду и до пет оса, што га чини изузетно погодним и за најсложеније делове, као што су лопатиче турбине, рецимо, или ливени калупи. Оно што се такође уочава јесте да се модул SolidWorks CAM налази у истом окружењу где и део који се моделира, што значи да се врло лако може прећи из скицања у машинирање [9].

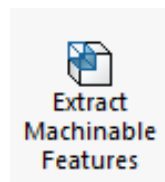
SolidWorks CAM је опремљен са мноштвом операција које може обављати, а само неке од њих су правоугаони џепови, правоугаони зарези, џепови неправилне геометрије, прорези неправилне геометрије, класични отвори и слично. Оно што значајно олакшава процес израде G-кода јесте чињеница да овај софтвер сам генерише потенцијалне обраде на предмету који је увезен и у спецификационом стаблу даје називе тих операција. Не само да олакшава, већ и значајно штеди време. Дакле, софтвер има способност да препозна која би била логична обрада и да, на основу геометрије и димензија, одреди и димензије алата.

На почетку генерисања путање алата и G-кода, неопходно је извршити пар корака приликом уношења параметара (слика 10). Најпре је потребно изабрати машину („Define Machine“ на слици 10). При избору машине, корисник добија податке о намени машине, броју оса, максималној брзини праволинијског кретања и максималној брзини обртног кретања. Након тога, приступа се генерисању припремке („Stock Manager“ на слици 10), о чему ће бити речи касније у тексту. Одмах након тога, уводи се координатни систем („Coordinate System“ на слици 10), у чијем почетку алат увек почиње све обраде. Постоје разне методе за постављање координатног система. Ипак, издвајају се ручна (где корисник поставља координатни систем, обично на припремку) и аутоматска метода (где сам софтвер нуди могућност постављања координатног система). Корак који се следећи предузима јесте „Mill Setup“. Овде се практично бира раван од које ће се вршити обрада, чак је и могуће имати и више ових setup-ова, за случај да се врши обрада у више од једне равни.



Слика 10. Кораци за унос параметара[10]

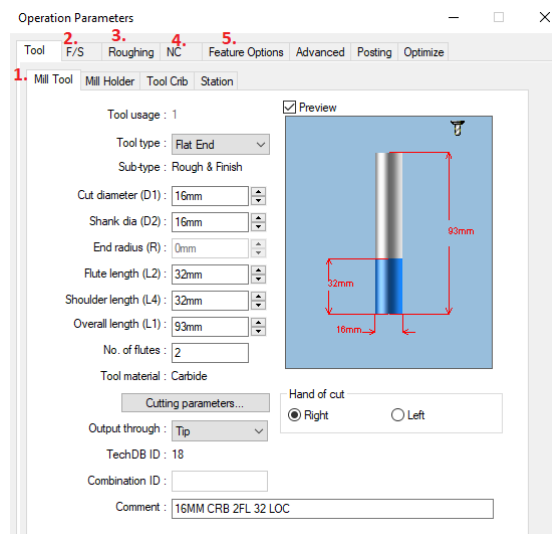
Као што је било поменуто, SolidWorks CAM има могућност да препозна логичан процес обраде, само на основу геометрије (слично као FeatureCAM). То је омогућено помоћу опције „Extract Machinable Features“ (слика 11). Овом опцијом се истог тренутка у стаблу појављује обрада која би била примерена за такав модел. Поред тога, као и код CATIA-е, омогућена је добра веза CAD-CAM, с тим што овај софтвер има још једну разлику, а она се огледа у томе да је картица за моделирање удаљена свега пар картица од картице за машинирање.



Слика 11. Extract Machinable Features[10]

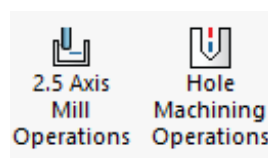
Како би се уште приступило обрадама и путањама, потребно је кликнути на „Generate Operation Plan“ (видети слику 10), а потом и „Generate Toolpath“, помоћу којих се добија увид у алате који су коришћени, стратегију машинирања и приказ симулације. Активирање симулације се такође види на слици 10 под називом „Simulate Toolpath“.

Даље, у стаблу је могуће вршити одређене корекције параметара алата, а такође и генерисати путању алата (визуелно уочити). Поменуто подешавање се врши простим двокликом на жељену обраду, где се појављује прозор за подешавања (слика 12). То омогућава да се подешавају параметри алата (слика 12, број 1), где се конкретно подешавају његове димензије, али и његова позиција и стезна поглавље алата. Затим, могуће је задати брзину помоћног и главног кретања (слика 12, број 2), а у оквиру исте картице се може доделити материјал из библиотеке. Даље, подешава се стратегија машинирања (слика 12, број 3), где се издавају тип путање алата, број пролаза, дубина пролаза, начин резања и други. Једно од последњих битнијих подешавања јесте подешавање одакле ће алат почети обраду (слика 12, број 4), међутим показало се да опција „Extract Machinable Features“ не греша када се говори о подешавању површина. Чешће грешке су оне које се односе на избор и димензије алата. Такође, могуће је мануелно подесити каква је површина која се обрађује (мада је и ту софтвер непогрешив), у зависности од њене геометрије (слика 12, број 5).



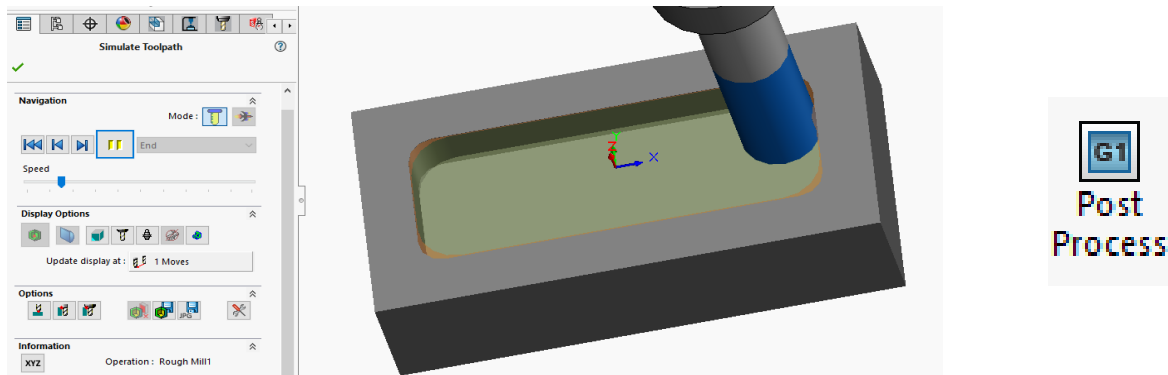
Слика 12. Прозор за подешавања[10]

С друге стране, недостатак опције „Extract Machinable Features“ јесте што поједине обраде не може самостално извршити, већ је потребно ручно то подесити. Те обраде су чеono глодање и израда навоја, а понекад је потребно да сам оператер изврши одређене обраде, независно од опције „Extract Machinable Features“, а то су бочно глодање, израда цепова, израда отвора и забушивање. Покретање ових опција се врши из менија на врху програма (слика 13).



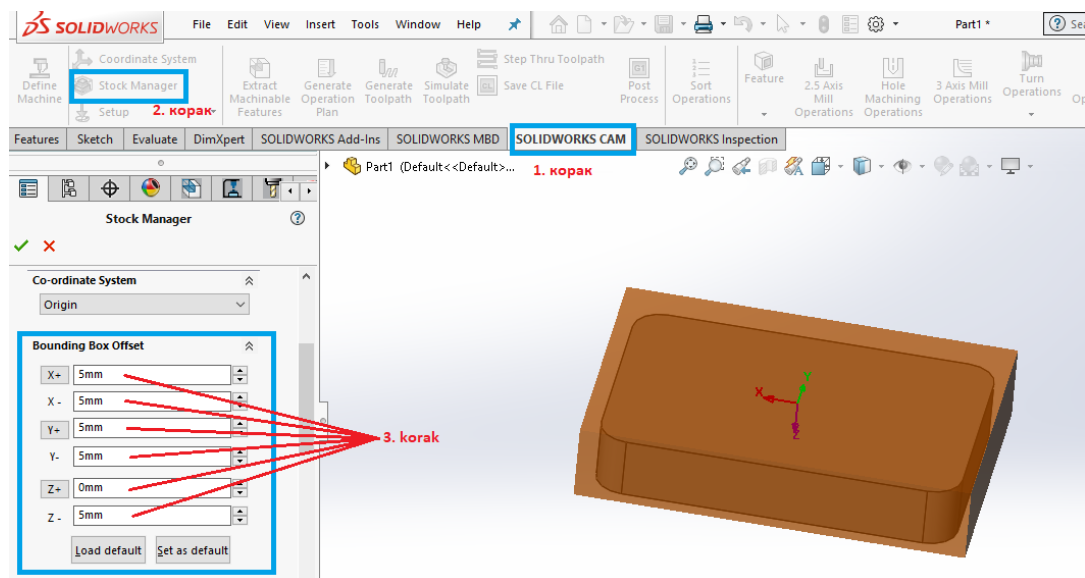
Слика 13. Покретање опција за ручно подешавање појединих обрада[10]

На крају је, одговарајућом брзином, могуће проверити како алат извршава обраду, слично као код CATIA CAM система. Такође, могуће је и стопирати симулацију у било ком тренутку. Дакле, последњи корак јесте симулација (слика 14, лево) и након тога, генерисање NC кода (слика 14, иконица десно) и технолошке документације.



Слика 14. Симулација и генерисање NC кода [10]

Као и код осталих софтвера, након увоза и моделирања предмета обраде, а пре почетка машинирања, потребно је генерисати припремак. Генерисање припремак зависи од софтвера до софтвера. Ипак, најчешћи случај је да се припремак генерише директно у модулу за CAM (слика 15). Између осталих, то је случај и код SolidWorks-a. Најпре је потребно прећи у простор за CAM (корак 1 на слици 15), а потом изабрати „Stock Manager“ (корак 2 на слици 15). Извршавањем 2. корака, отвара се „Bounding Box Offset“ (уоквирени прозор на левој страни слике 15). У њему је потребно унети координате по x и $-x$, односно y и $-y$ и по z и $-z$ (корак 3 на слици 15). Генерисани припремак је наранџасте боје.



Слика 15. Генерисање припремак[10]

2.6. Остали САМ софтвери

CAMWorks је заправо основа САМ модула који је интегрисан у SolidWorks-у. Такође, поред коришћења за овај софтвер, може се користити и за SolidEdge. Има исти интерфејс (радно окружење) као и поменути САМ модул, на исти начин се врши генерисање путање алата и сви неопходни параметри за успешно извршавање машинирања. Наравно, велика предност (већ неколико пута помињана) јесте неоспорно битна веза CAD-CAM, а овај модул је поседује. Поред тога, опција иста као код SolidWorks-a, „Extract Machinable Features“, омогућава аутоматско препознавање обрадиве површине и извршава избор алата и осталих параметара. Способан је за обраду у пет оса, што га чини изузетно погодним за сложене облике.

EdgeCAM је један од најопремљенијих програма за машинирање. Као и сваки софтвер, може се користити за разноврсне обраде, али опште мишљење је да је врло практичан, јер издавају у први план корисне опције (оне које се највише примењују). Неки од корисних почетних опција су могућност убацивања радног стола и стеге. Такође, опремљен је савременим избором машина. Што се тиче опција стриктно везаних за обрадни процес, издава се опција која све чешће узима маха, а то је опција „Plan“, која служи за аутоматско препознавање облика и учитавања одговарајуће обраде. Свакако, увек је пожељно проверити све критичне параметре, а такође је могуће обрисати неке сувишне обраде или просто одредити редослед тим операцијама, јер све то утиче на укупно време обраде. Још једна у низи од предности јесте што може да отвори све датотеке од свих највећих софтверских произвођача за CAD моделирање, укључујући CATIA-у и SolidWorks. Оно што је занимљиво, произвођачи су се максимално потрудили да приближе обраду реалним условима. Томе у прилог иде податак да радни сто (ако се ради о глодању) врши помоћно праволинијско кретање, а алат (глодало) главно обртно кретање.

Esprit је развила компанија DP Technology 1985.године. Предност је веза CAD-CAM, користи се за разноврсне обраде, од две до пет оса, за обраду врло сложених делова, погодан је за пуно различитих CAD софтвера [9]. Сам процес генерисања путање алата се не разликује много од претходно описиваних софтвера, с тим што се обрада цепова врши једноставним обележавањем површине тог отвора.

Fusion 360 има у себи интегрисане модуле за CAM, CAD, моделирање лимова, израда техничке документације и слично. Њега је креирао Autodesk. На почетку креирања путање алата, могуће је врло једноставно моделирати припремак користећи димензије готовог дела. Могу се извршавати све обраде, од чеоног глодања, преко бушења, профилног глодања до прављења цепова. Затим, приступа се подешавању свих основних параметара (тип путање, број пролаза, дубина резања, димензије алата, брзине кретања алата и радног стола и слично) [9].

GibbsCAM је дизајниран од исте компаније као и SolidWorks, 3DS-a. Овај софтвер карактерише рад у више оса, као и могућност примене скоро свих обрада резања, као што су профилно глодање, бушење, нарезивање навоја, прављење цепова, обрада у пет оса и слично.

HyperMill је дизајниран од стране Open Mind-a. То је софтвер чија је можда и главна предност што се може наћи као самосталан, али и као додатак за неке моћније, као што су hyperCAD-S, Autodesk Inventor и SolidWorks. HyperMill може обрађивати у 2.5D или 3D, али такође има способност обраде врло сложених делова, који се карактеришу дубоким шупљинама, високим стрмим зидовима, неприступачним угловима унутар цепова и слично [11].

HSM Works је заправо додаток који се уграђује у Inventor, Fusion 360 и Solidworks, па отуда ово „Works“ у називу. Погодности овог додатка су што може подржати моделе из скоро сваког CAD софтвера. Само неке од обрада су глодање, стругање, обрада воденим млазом, плазмом и ласером, а подржава обраду до пет оса. Једна занимљивост овог додатка јесте што садржи библиотеку завршних обрада.

Mastercam је развијен 1980. године и важи за један до најстаријих софтвера, па се сматра једним од иницијатора ка даљем развоју и усавршавању САМ софтвера. Поседује везу CAD-CAM, а може се примењивати за све врсте обраде. Између осталих, овај софтвер је у стању да очита датотеке типа catpart, catproduct, sldprt и sldasm [9].

PowerMill је Autodesk-ов софтвер за машинирање. Предвиђен је за врло сложене облике, индустријске сврхе, а такође се користи за израду калупа, исто свих облика. Што се тиче обрада, PowerMill је способан за обраду у три и пет оса. Оно за шта је посебно добар, јесте израда мањих делова високе толеранције. Поред тога, садржи библиотеку накнадних (завршних) обрада.

Siemens NX CAM је софтвер који је развила компанија Siemens, у своје личне сврхе. Практично, не разликује се од горе наведених софтвера, с тим што има врло погодну опцију, а то је да се радном комаду, као и алату додели материјал, чиме се симулација додатно приближава реалности.

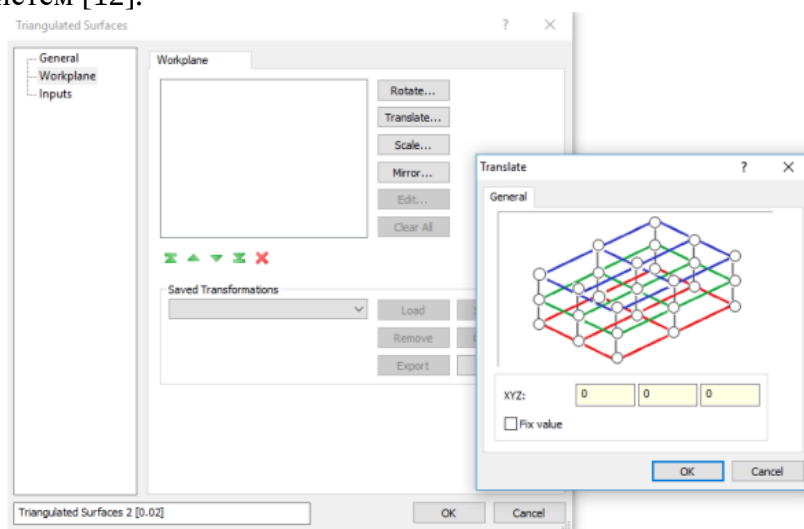
SolidCAM је софтвер који се, практично поистовећује са CAMWorks софтвером, саставни је део Inventor-a и SolidWorks-a. Као што је већ било речи, кључна предност јесте опција за аутоматско препознавање обраде на основу облика, која се показала изузетно прецизна.

SprutCAM је самосталан програм који се уграђује у разне друге софтвере. На њему је могуће извршити обраде као што су глодање у више оса, стругање, ЕДМ машинирање, као и обрада на обрадном центру са нумеричким управљањем. Нека од разлика описиваног софтвера у односу на остале јесте чињеница да SprutCAM нуди услове за програмирање индустријских робота, што га издваја по спектру могућности [9].

3. Карактеристике NCG CAM софтвера

NCG CAM софтвер, познат још под називом DEPOCAM, је софтвер за генерисање G-кода, креирања путање алата и симулације обрадног процеса у циљу побољшања начина обраде. Као и код практично свих софтвера овог типа, увози се готов комад моделиран у неком од других софтвера у виду igs, stp, dxf фајлова, између осталих, на коме је потребно генерисати путању алата и по завршетку извршене симулације, добити исти такав обрадак. NCG CAM је нашао примену у једној од водећих компанија за израду пресерских алата, Горење МДМ. Тренутно, предузеће Горење МДМ, Крагујевац користи верзију овог програма из 2011. године. У склопу инсталације овог програма, налази се и детаљно упутство, које корисницима помаже да савладају почетна подешавања софтвера (увоз модела, сачување модела, сналажење у радном окружењу, манипулација командама и слично), као и примери свих обрада које се могу примењивати у софтверу.

Неки од наредних корака, након увоза модела, јесте дефинисање позиције координатног система, односно тзв. „0“ предмета, како би алат увек долазио у ту тачку, при свакој наредној обради. У овом софтверу, препорука је да позиција координатног система буде на оси симетрије две идентичне рупе (отвора), а ако то није могуће, увек је пожељно изабрати средину модела. Све што је потребно за боље сналажење у радном окружењу јесте познавање спецификационог стабла овог софтвера. Под именом „Triangulated Surfaces 1 (0.02)“ подразумева се 3D модел. Затим, како би корисници боље савладали манипулисање моделом, у упутству је наглашено које се опције могу користити за постизање тог циља. Сходно томе, двокликом на стабло, отвара се прозор у коме се бира опција „Properties“. Избором поменуте опције, отвара се могућност за бирање три картице: „General“, „Workplane“ и „Inputs“. Картица која омогућава манипулисање моделом јесте „Workplane“, која нуди ротацију, транслацију, скалирање и пресликавање (слика 16). Примера ради, избором понуђене опције „Translate“ (слика 16), могуће је померити модел у правцима оса координатног система и на тај начин га ручно поставити у жељени координатни систем [12].



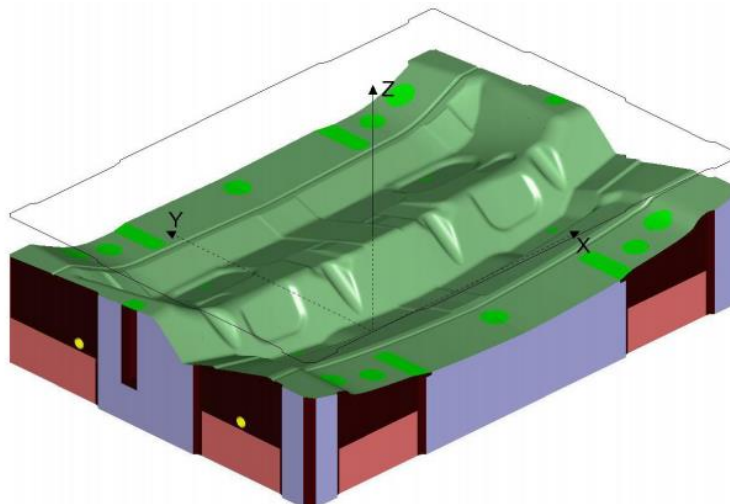
Слика 16. Опција „Workplane“ и примена опције „Translate“ [12]

NCG CAM софтвер нуди начине за дефинисање границе обраде. Један од начина дефинисања границе обраде се заснива на методи „боја“ (слика 17). То се објашњава тако што свака обрада има своју боју и по томе се обраде лако и ефикасно препознају (нпр. плава боја је толерисана мера, браон је слободна мера, жута представља навој и слично). Поступак издвајања само једне обраде, односно само једне боје се изводи на следећи начин: означи се „Triangulated Surfaces 1 (0.02)“ у стаблу, затим се отвори падајући мени „Edit“ и изабере опција „Folder Content“. Отвара се прозор где треба чекирати „Select by level“, а затим изабрати боју површина које треба да остану видљиве у пољу „Include selected colour“. Треба обратити пажњу да се границе избришу и попунити где је то потребно.



Слика 17. Дефинисање границе обраде методом „боја“ [12]

Други начин дефинисања границе обраде се односи на пројектовање геометрије дела (слика 18) који се машинира. У стаблу се бира модел „Triangulated Surfaces 1 (0.02)“, а упоредо и „Silhouette Boundary“, након чега се графички приказују габаритне границе обраде. Затим помоћу CTRL + леви клик миша, бира се поново „Triangulated Surfaces 1 (0.02)“ и „Silhouette Boundary 1“ и користи се опција „Cutter Contact Areas“, одакле се улази у теоријску геометрију (границу) алата. Лево, у новом прозору налази се стабло, из ког се бира картица „Boundaries“ и у њој се уписују додаци за X, Y и Z. Опција „Offset“ производи већу површину обраде коју је потребно уклопити или ручно повећати границу обраде, јер програм прави тачну границу. У опцији „Constrain“ се увек бира „Contact Point“. Под „Limits“ се утврђује угао обрадиве површине који се креће у границама од 0° до 90°. Када је граница површине која се обрађује одређена и садржи рупе унутар своје контуре, а није жеља обрада рупа, онда се те рупе бришу тако што се левим кликом миша изабере спољна граница, која када се обележи промени боју, потом десним кликом миша се бира „Invert Selection“. Тим кораком су обележене све контуре унутар спољне границе. Изабране контуре се бришу тастером „Delete“ на тастатури [12].



Слика 18. Дефинисање границе обраде пројектовањем геометрије дела [12]

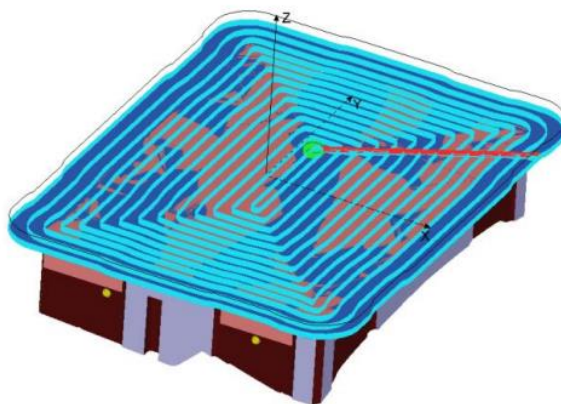
Када се говори о параметрима обраде, једна од кључних ставки јесте да се адекватно подеси и да софтверу до знања да ли се ради о финој (завршној) или грубој обради. У ту сврху користи се једна од три малопређашње поменутих опција, при чему је поступак скоро исти (двоклик на стабло - „Properties“ - „General“). У оквиру картице „General“, бира се Tolerances-General, где постоји могућност за уписивање толеранције модела у границама од 0,02 до 0,002. Издвајају се три команде, које и немају неки пресудни утицај на ток обраде. То су „Adaptive stepdown“, која се користи за адаптацију пролаза алата, „Profile step-in“, која се користи за подешавање корака профила (углавном није потребно, јер програм сам генерише изузетно тачно) и последња је „Shaf profile“, која помаже да се израчуна минимално извлачење алата, како би се спречила колизија. Такође, након одабира жељене обраде, неопходно је на правилан начин изабрати параметре fine и грубе обраде (табела 1). Параметри се односе на избор алата, додатка за обраду, дубине глодања, брзине алата и слично. Поменути параметри директно зависе од врсте материјала.

Табела 1. Параметри за фину и грубу обраду [12]

Материјал	Додатак X, Y, Z (mm)		Stepdown (mm)	
	Груба обрада	Фина обрада	Груба обрада	Фина обрада
Гус	0,3÷1	0	Круна: Φ42 R5 = 0,8÷1,2 Круна: Φ25 R5 = 0,8÷1	Глодало: Φ12 R6 = 0,22
Обичан челик	0,3÷1	0	Круна: Φ42 R5 = 0,8÷1,2 Круна: Φ25 R5 = 0,8÷1	Глодало: Φ12 R6 = 0,22
Каљен челик	0,3÷0,5	0	Круна: Φ25 R5 = 0,15÷0,5	Глодало: Φ12 R6 = 0,18

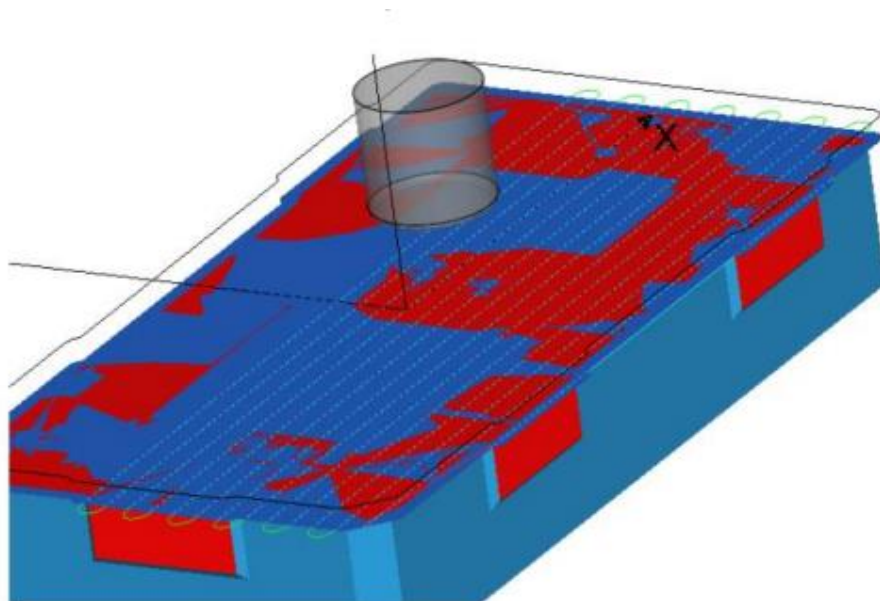
3.1. Обраде у софтверу NCG CAM

Прво шта јасно треба уочити јесте разлика између грубе и fine обраде на конкретном примеру, везано за подешавање параметара. Разлика ће бити дата на конкретном примеру, где је потребно извршити обраду на доњој страни модела. Када се говори о грубој обради (слика 19), најпре се постави почетни положај модела тако да његова доња површина лежи у ХоУ равни. Затим, потребно је да се направи нова површина. Површина се одређује избором модела и границе у спецификационом стаблу. Ово ограничење се „Offset-ује“ за више од полупречника алата, да би алат почео да обрађује припремак. Затим, обележи се „Offset-ована“ граница левим кликом миша и изабере опција „Planar Patch“. Под „Height“ се уноси износ висине на којој ће програм направити нову површину, а уколико се говори о доњој површини, онда се уноси вредност висине 0. Програм у том случају прави нову површину у ХоУ равни. Груба обрада представља обраду у најкраћем могућем року, са минималним додацима за обраду. Даље, бира се површина направљена са „Offset-ованим“ границама и користи се опција „Area Clearance Passes“ (груба обрада). Сада је потребно одредити пролаз, у картици „Passes“, где се за Z_{min} узима вредност 0,5mm (додатак, који ће бити касније обрађен фином обрадом), док се Z_{max} одређује у зависности од тога колико материјала се скида са радног комада. Када се ови параметри подесе, приступа се повезивању програма тако што се десним кликом миша кликне на „Area Clearance Passes“, потом из падајућег менија изаберемо „Link Passes“. Након тога, може се погледати анимација обраде помоћу опције „Animate“ [12].



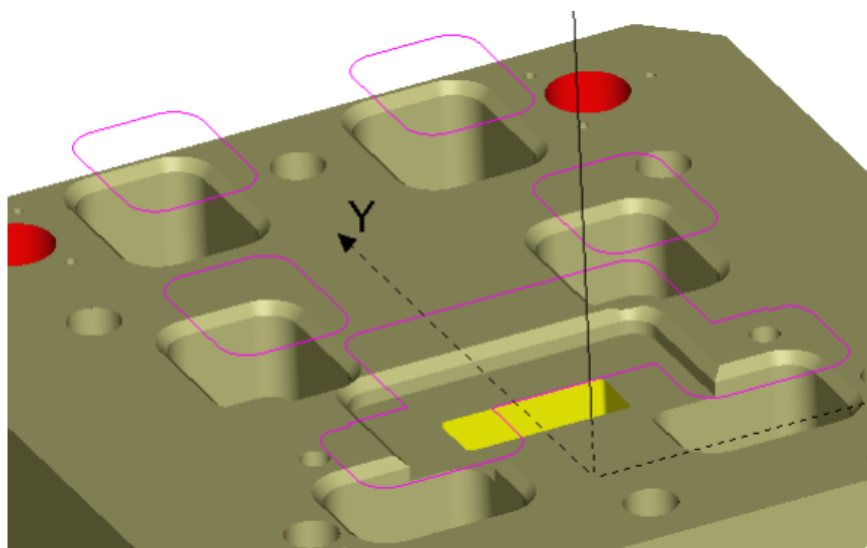
Слика 19. Груба обрада [12]

После грубе обраде, остаје грубо обрађена површина на моделу и додатак (Z_{min}) који је остављен за фино обраду (слика 20). Финој обради одговара назив „Raster Passes“. Наиме, идеја је да се користи исти модел и иста површина са границама која је коришћена код грубе обраде. Сада је један од кључних услова да Z_{min} мора бити 0, док се Z_{max} одређује на основу претходно утврђених додатака, уз додавање око 0,1mm, из сигурносних разлога.



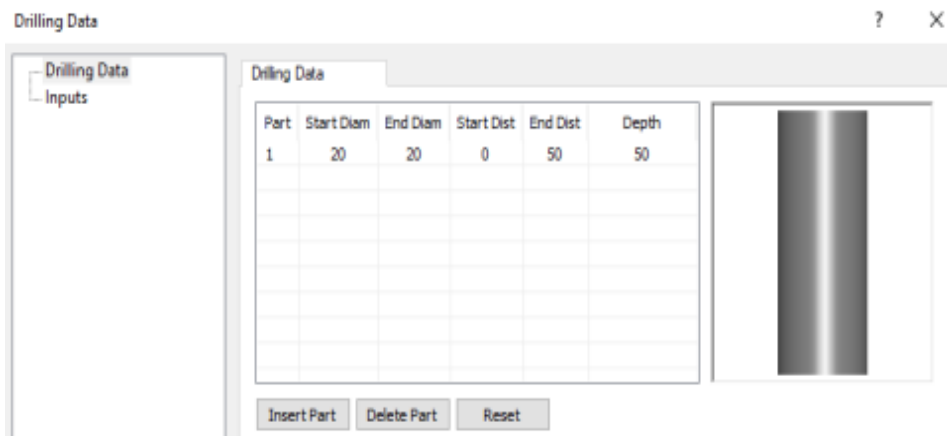
Слика 20. Фина обрада [12]

За обраду жлебова, канала или цепова (слика 21), најпре је потребно генерисати границу за сваки жлеб посебно на већ описиван начин. Прва од обрада је груба обрада („Area Clearance Passes“). Посебно се мора адекватно одредити Z_{min} , који је већи од стварних димензија вредности изабраних додатака. Z_{max} се одређује приближно, око 0,1 испод горње ивице жлеба, да алат не би обрађивао површине које не треба. Такође, постоји и могућност да се жлеб обради тачно на меру и то преко обраде „Waterline Passes“, која обрађује зидове жлеба на меру, а Z_{min} и Z_{max} су исти као и код раније поменутог обраде „Area Clearance Passes“ [12].



Слика 21. Обрада канала [12]

Корисна могућност код овог софтвера, а тиче се бушења, јесте способност програма да проналази све рупе на моделу. Ова опција знатно унапређује и убрзава поступак, с тим што је овако добијене рупе (отворе) увек могуће дорадити или прилагодити, у неку руку и проверити. Поступак који је потребно испратити како би се извршила обрада бушењем се састоји од притискања десног клика миша и бирања модела на који се израђује рупа. Даље, бира се опција „Create Driling Folder“ (слика 22), где се отвара нови прозор у коме се попуњавају колоне „Start Diam“ и „End Diam“, које заправо представљају пречнике отвора и попуњава се „Depth“, односно дубина рупе.

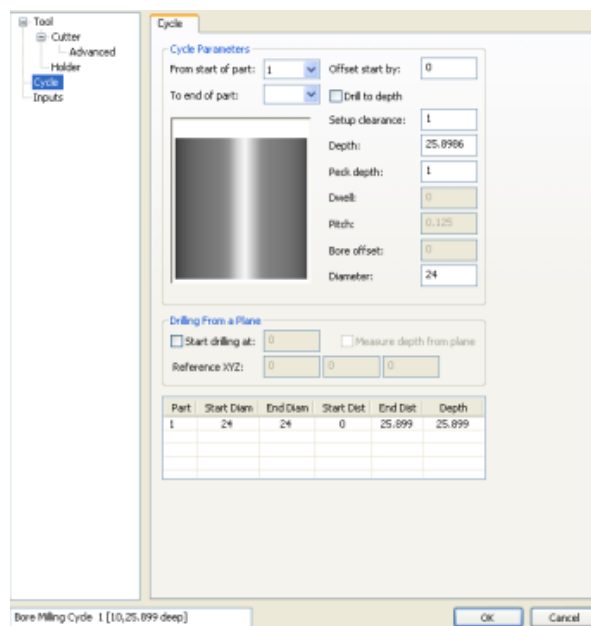


Слика 22. „Create Driling Folder“ опција [12]

У картици „Drilling Data Folders“ у структурном стаблу, означе се рупе које је неопходно центрирати (забушити), ради што квалитетније рупе. Суштина забушивања своди се на то да се обезбеди правилно вођење алата у процесу бушења. То означавање се врши десним кликом миша, при чему се из падајућег менија бира опцију „SpotDrilling“. Затим, отвара се нови прозор „Spot Drilling Cycle“, где се уноси вредност дубине забушивања која стандардно износи $2 \div 3$ mm [12].

У спецификационом стаблу се десним кликом миша на команду „Drilling Data Folders“ бира опција „Tapping“ (десни навој). У истом прозору, у оквиру картице „Tool“, уписује се димензија урезнице. Под картицом „Cycle“, уписују се „Pitch“ (корак навоја) и „Setup Clearance“ (10 mm, раздаљина ради сигурности). Потребно је водити рачуна да приликом резања навоја рупе, које су предвиђене да се у њима уреже навој, буду дубље за најмање 5 mm, да би се спречила деформација урезнице.

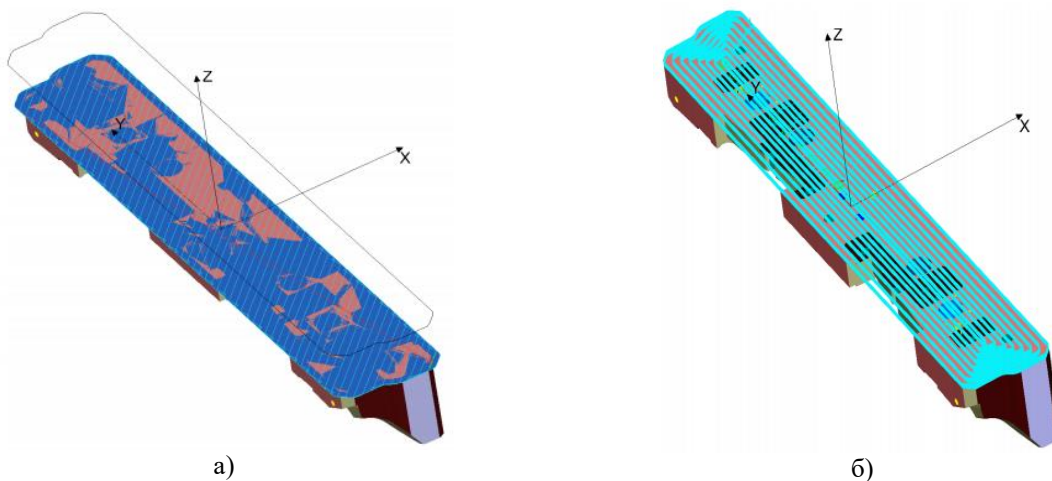
Поступак за одређивање процеса обраде рупа на глодалу покреће се командом „Bore Milling Cycle“. Под картицом „Tool“ се одређују димензије глодала, којим ће се вршити обрада. Под картицом „Cycle“ (слика 23), уколико је потребно, могуће је одредити дубину рупе. Битно је одредити „Pesk depth“, односно дубину корака за коју глодало сиђе. Потребно је знати да пречник алата треба бити већи од полупречника рупе, али никако већи од пречника, јер се не би добио жељени исход.



Слика 23. Картица „Cycle“ [12]

3.2. Начини пролаза алата у NCG CAM-у

Када се говори о врстама обраде у овом софтверу, издвајају се два пролаза алата, а то су „Zigzag Roughing Passes“ (слика 24.а) и „Area Clearance Passes“ (слика 24.б). Прво-поменути команда се не користи у предузећу Горење МДМ на CNC машинама, јер ако се при неравним и неправилним облицима радног комада израчунава пут алата, може доћи до бржег хабања алата. С друге стране, друго-поменути команда се најчешће користи при грубој обради модела, јер се обрада одвија брзо и са кратким радним путем алата, без непотребних наглих покрета.

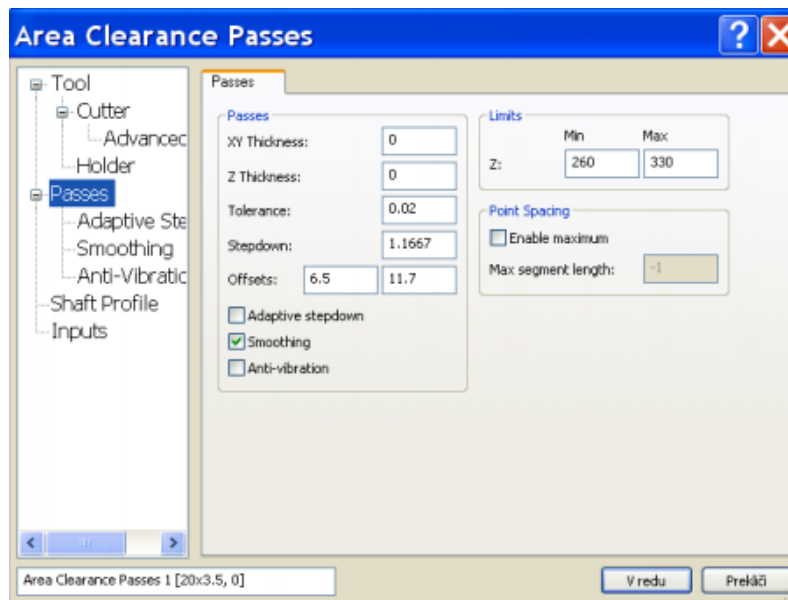


а) б)
Слика 24. Пролази алата у софтверу NCG CAM [12]

Слика 24.а. Команда „Zigzag Roughing Passes“

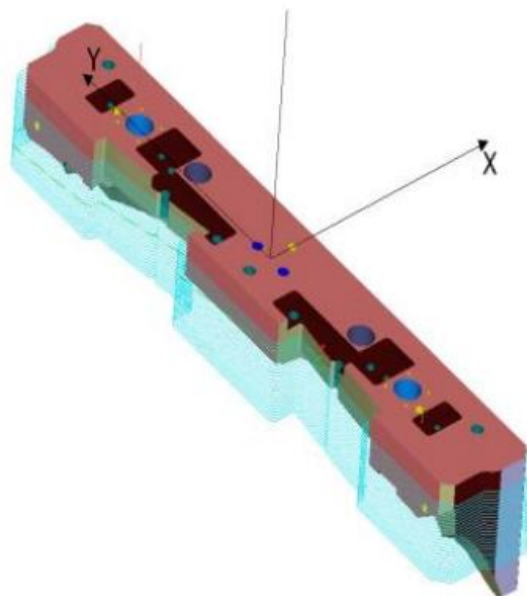
Слика 24.б. Команда „Area Clearance Passes,,

Како је установљено да се опција „Area Clearance Passes“ више користи него „Zigzag Roughing Passes“, у наставку ће бити приказано подешавање опције „Area Clearance Passes“ (слика 25). Приликом подешавања, неопходно је укључити опцију „Smoothing“, јер она спречава да се алат „забије“ у радијус. Користи се у 2D и 3D грубој обради. У 3D обради такође може бити активирана опција „Adaptive stepdown“ и по жељиподешена. Ако је жеља да се финије обраде грубе површине, може се подесити мањи „Profil step-in“, али ће обрада трајати знатно дуже.



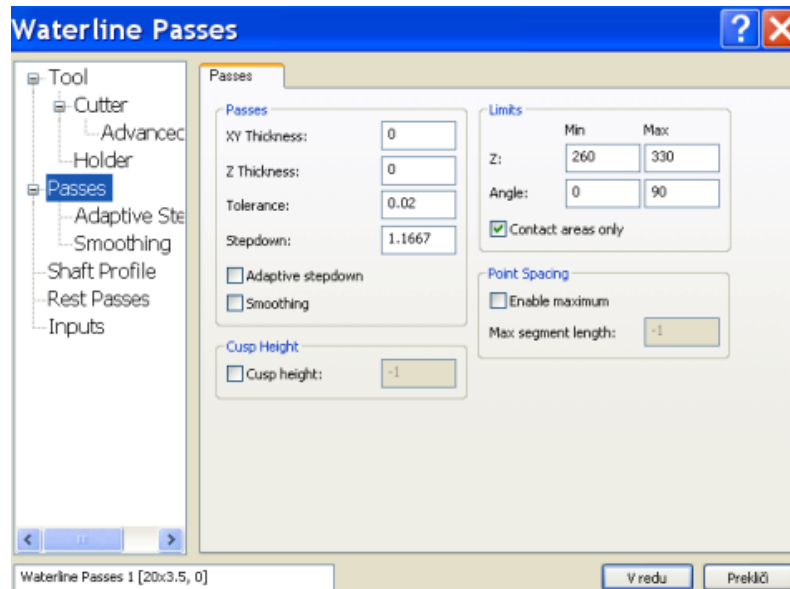
Слика 25. Прозор за подешавање команде „Area Clearance Passes“ [12]

Наредна команда која се често користи, посебно за уклањање остатака са бочних страна радног комада, јесте „Waterline passes“ (слика 26).



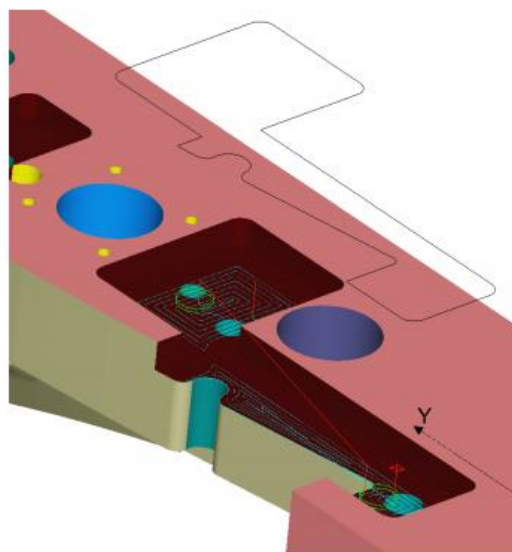
Слика 26. Команда „Waterline passes“ [12]

Код ове команде, процес обраде је одређен моделом и границом која је претходно дефинисана, на пример за обраду жлеба. Код ње такође постоји прозор за подешавање (слика 27), где се одређују алат и параметри обраде, док се под картицом „Passes“ одређује додатак $X=0$, $Y=0$, када је потребно радити „на меру“. У овом случају није потребно укључивати опције „Adaptive stepdown“ и „Smoothing“. Потребно је унети величину Z под картицом „Limits“, слично као код опције „Area Clearance Passes“ (видети слику 25).



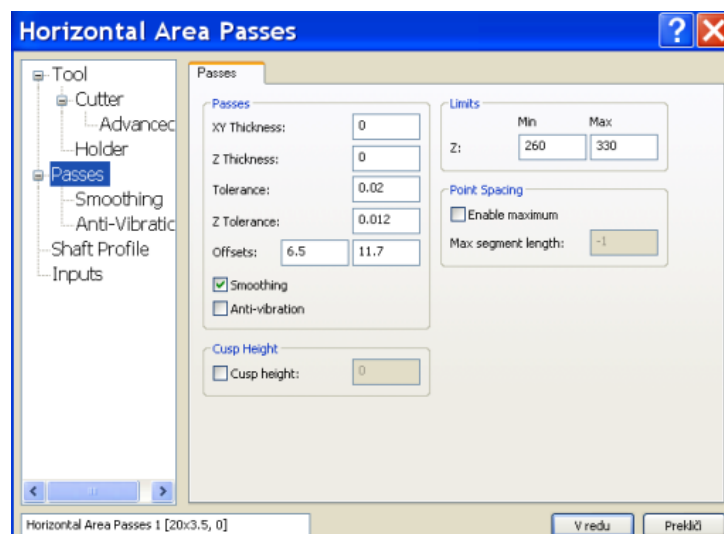
Слика 27. Прозор за подешавање команде „Waterline passes“ [12]

Следећа команда се дефинише тако што се користи за поравњање дна и назива се команда „Horizontal Area Passes“ (слика 28).



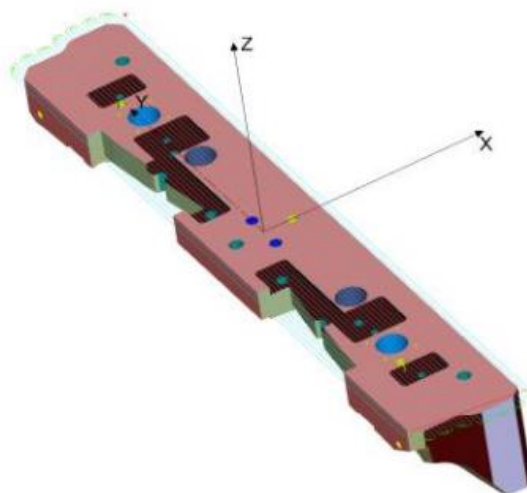
Слика 28. Команда „Horizontal Area Passes“ [12]

Поступак коришћења започиње селектовањем модела и границе обраде, затим се десним кликом из падајућег менија биракоманда „Horizontal Area Passes“. Даље, отвара се прозор за подешавање (слика 29). У том прозору се одређују параметри алата и параметри обраде. Под параметрима обраде се одређује Z_{max} и Z_{min} , као и код осталих врста обрада. Ако је циљ да се цело дно обради, „на меру“, додаци се остављају на 0. Такође, овде је могуће чекирати опцију „Smoothing“.



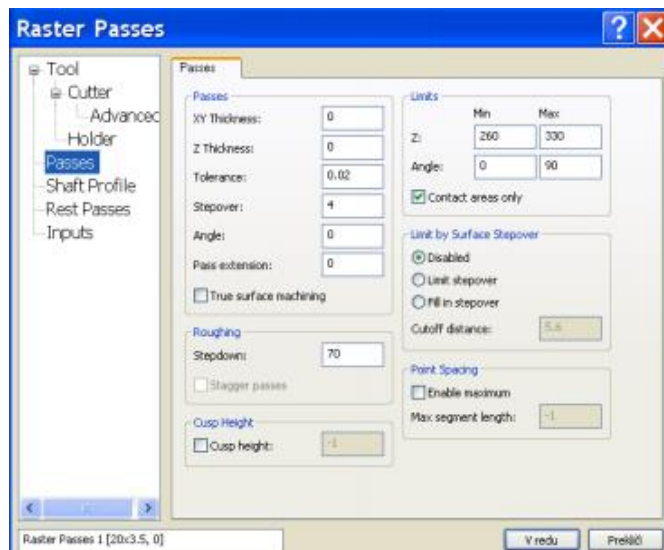
Слика 29. Прозор за подешавање команде „Horizontal Area Passes“ [12]

Врло значајна је и опција „Raster Passes“ (слика 30). Да би се она употребила, потребно је извршити пар корака пре њеног избора. При поравнању, направи се површина помоћу команде „Silhouette Boundary“ и „Offset-ује“ се за око половине пречника алата (пример: прави се површина глодалом $\varnothing 25$, а „Offset-ује“ се за 13 mm). Затим, у структурном стаблу се изабере модел и „Offset-ују“ му се границе помоћу команде „Planar Patch“, где се уписује висина на којој ће се направити нова површина са датим границама. Након тога, бира се врста обраде „Raster passes“.



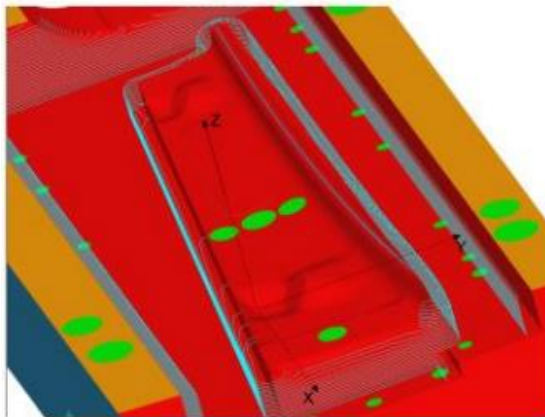
Слика 30. Команда „Raster Passes“ [12]

Након одабира команде, као и до сада, отвара се прозор за подешавање (слика 31). У новоотвореном прозору уписују се параметри алата и параметри обраде. Под картицом „Passes“, одређује се „Stepover“ (који је мало већи од половине пречника алата) и одређује се висина под картицом „Limits“, односно Zmin и Zmax.



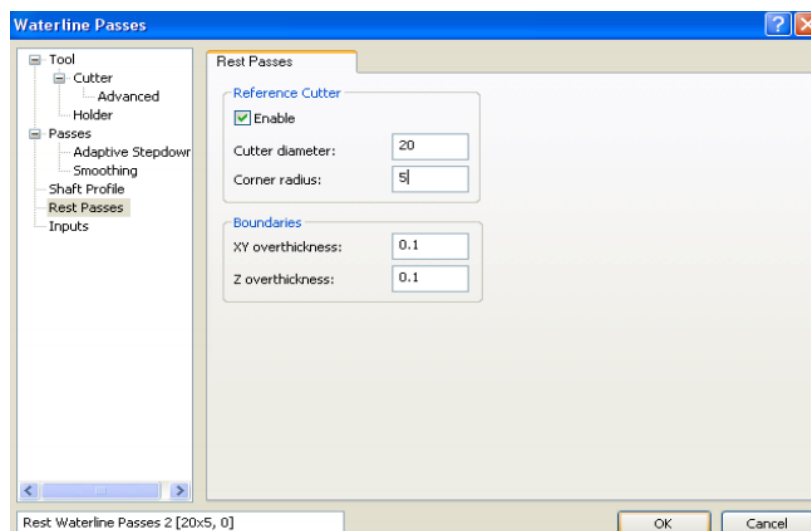
Слика 31. Прозор за подешавање команде „Raster Passes“ [12]

Увек се намеће питање након завршене обраде које гласи: „Да ли је алат негде оставио материјал?“ У NCG CAM-у је могуће лако „одговорити“ на ово питање. Као пример биће узет случај када је радни комад обрађиван глодалом полупречника R5. Услед ове димензије, могуће је да у угловима остане одређени део материјала који зависи од димензија алата. Може се закључити да ако се користи наведено глодало, а ако је радијус у углу 2 mm, остаће остатак. У следећој обради, остаци се могу уклонити командом „Rest Passes“ (слика 32), тако што се левим кликом миша изабере команда „Waterline Passes“, која је употребљена у ранијој обради (или било која друга обрада која је последња коришћена). Затим, у структурном стаблу је потребно отворити картицу „Rest Passes“ двоструким левим кликом, при чему се отвара нови прозор, где се, под картицом „Tool“, уноси димензија мањег алата са којим ће се уклонити остатак (у конкретном случају, алат ће бити R2).



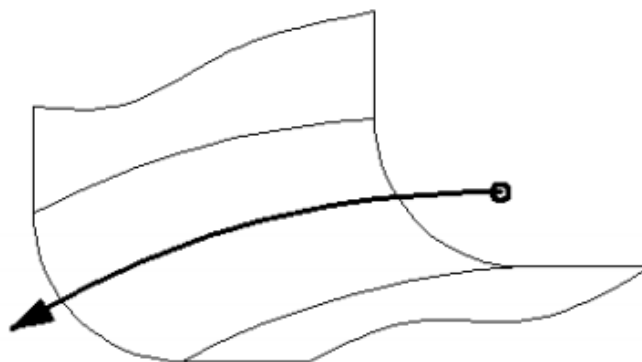
Слика 32. Команда „Rest Passes“ [12]

Што се тиче даљих подешавања команде „Rest Passes“ (слика 33), потребно је под картицом „Reference Cutter“ чекирати „Enable“ и уписати димензије алата који се користио за грубу обраду радног комада. Такође, у подкартици „Boundaries“ се уписују додаци.



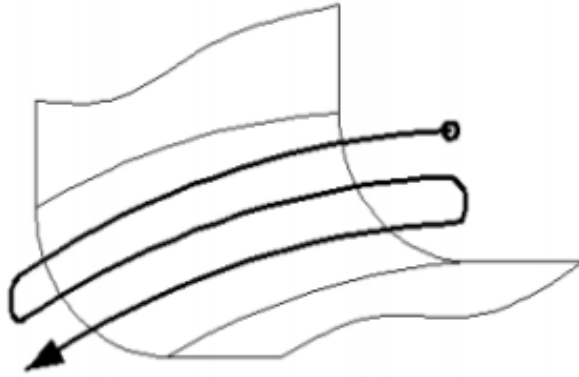
Слика 33. Прозор за подешавање команде „Rest Passes“ [12]

Начин обраде „Pencil Passes“ (слика 34) се користи за обраду радијуса, који може бити обрађен са кугличним глодалом истог радијуса као и радијус који треба да направи, па глодало то може покупити из само једног пута. Првенствено се користи за равнање већ направљених радијуса. Површине након обраде „Pencil Passes“ увек се могу обрадити на мањи радијус командом „Rest passes“, али се притом мора користити сферно глодало мањих димензија.



Слика 34. Команда „Pencil Passes“ [12]

Обрада „Parallel Pencil Passes“ (слика 35) се користи за обрађивање малих радијуса у угловима радног комада, а посебно се користи за обраду на троосној машини, уколико су другачије ти углови недоступни. При избору ове врсте обраде, алат прави више пролаза на радијусу, па се због тога добија површина која је степенаста, што није лако видљиво оком. Време обраде траје дуже, па се чешће користи „Pencil Passes“. Као и малопре, могуће је користити команду „Rest Passes“ у самом поступку обраде.

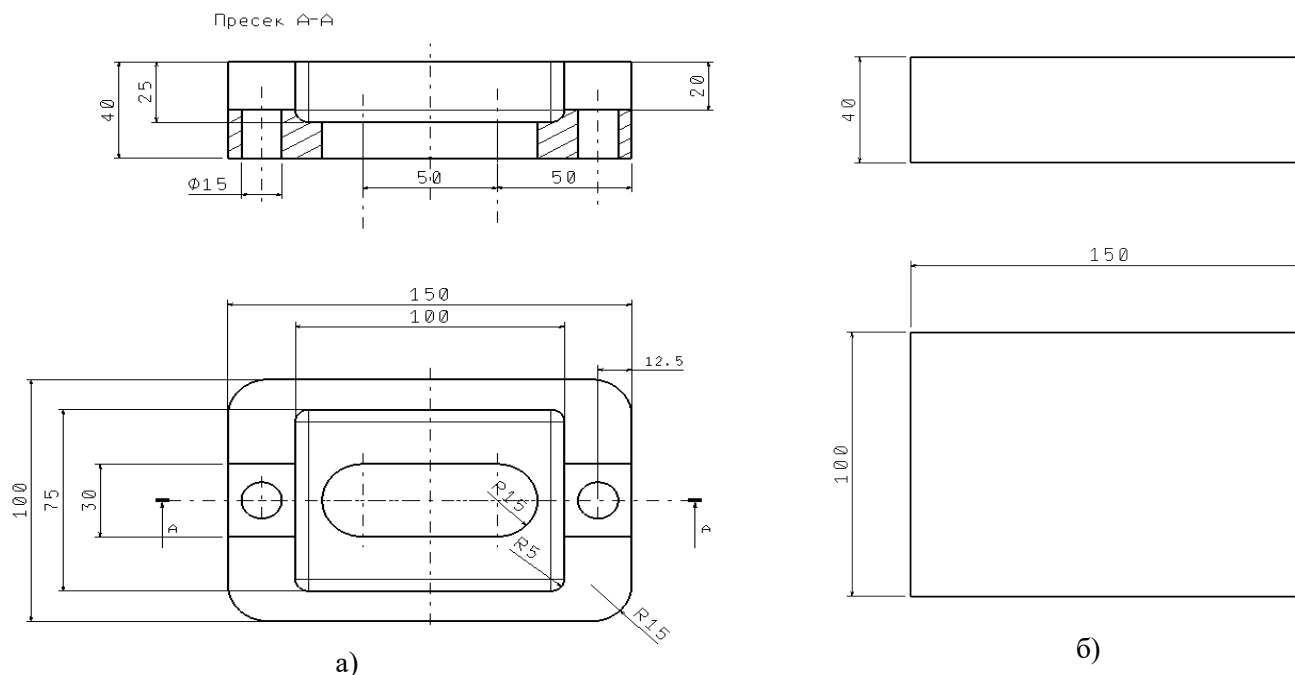


Слика 35. Команда „Parallel Pencil Passes“ [12]

Једна од великих предности овог софтвера јесте што омогућава да се преслика обрада на неком делу који је симетричан. Програми се пресликавају тако што се означе повезани програми и у траци са алатима се изабере „Edit“. У падајућем менију, који се отвара, бира се „Transform (Reverse Linking)“. Следеће, изабере се огледало („Mirror“) [12].

4. Поређење NCG CAM софтвера са осталим CAM софтверима

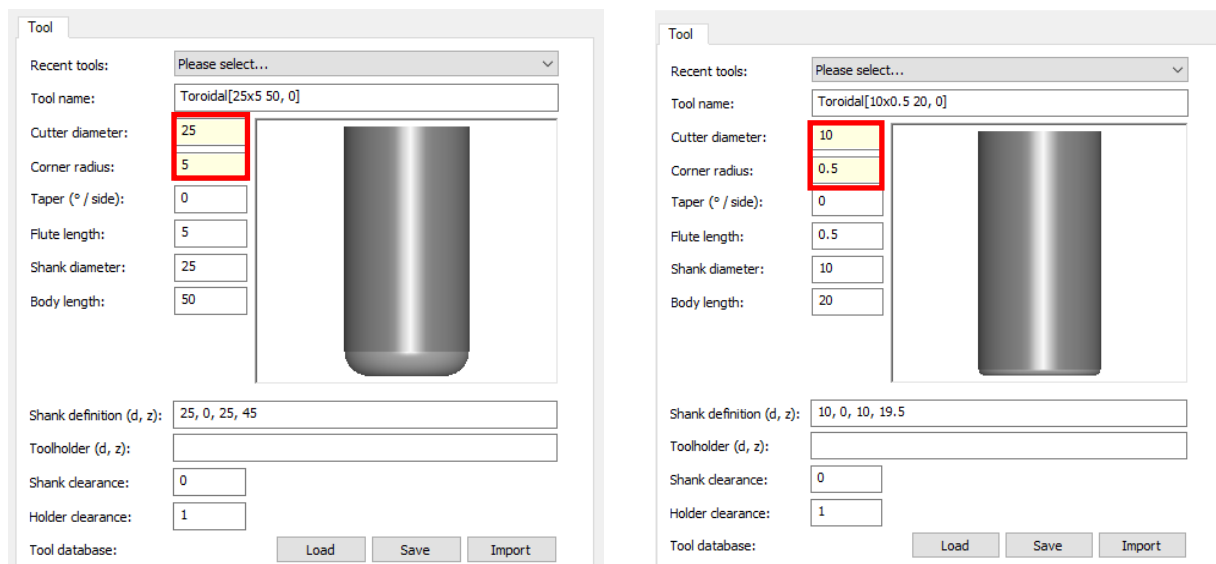
У овом поглављу је рађено поређење NCGCAM-а са осталим софтверима тог типа, у погледу стратегије машинирања. Сваки софтвер, зависно од карактеристика, нуди одређене предности које олакшавају рад у софтверу. Као два CAM софтвера са којима ће се поредити NCG, изабрани су CATIA и SolidWorksCAM, као два најпопуларнија програма, генерално за CAD-CAM системе. Поређење се реализује на начин да се исти обрадак (слика 36.а) обради у сва три софтвера и да се на основу утрошеног времена процени који је софтвер најпогоднији за стратегију машинирања. У индустрији се од припремка добија обрадак, односно готов комад. Дакле, потребно је одредити димензије припремка (слика 36.б). Поређења ради, CATIACAM захтева да се од припремка и обрадка направи склоп у модулу „Assembly Design“ и такав склоп убади у модул за машинирање, док се код NCGCAM-а и SolidWorksCAM-а припремак генерише аутоматски додавањем координата по x, y и z.



Слика 36. Технички цртеж обработка (а) и припремка (б) [8]

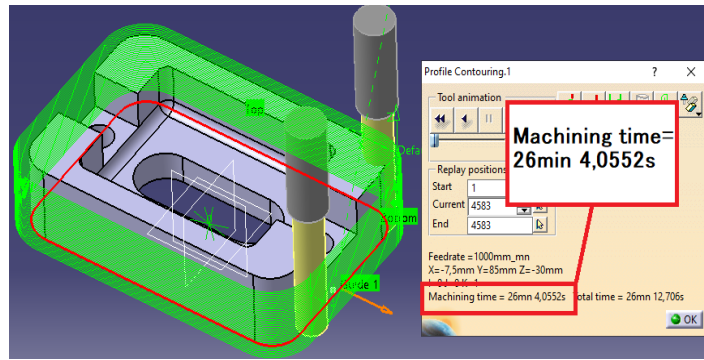
Након генерисања припремка, неопходно је одредити стратегију машинирања комада на основу његове геометрије. Конкретан пример је сачињен од геометријских облика: правоугаоника, кругова и издуженог круга. Ово је важно напоменути, јер је код NCG и SolidWorks CAM-а неопходно да програм препозна геометрију комада. На основу техничког цртежа, могуће је утврдити које ће обраде бити неопходне у циљу добијања готовог комада. Према томе, уочавају се обраде: грубо глодање (израда цепова), профилно глодање, израда отвора, бушење отвора.

Што се тиче обраде профилног глодања, NCG примењује две обраде, при чему једна одговара грубој, а друга финој обради. Јасно се могу уочити разлике у погледу димензија алата (слика 37). Те разлике се огледају у пречнику глодала и радијусу заобљења врха глодала. Грубо профилно глодање служи како би се са комада отклонила већа количина материјала, док ће остатак материјала уклонити фина обрада. Фином обрадом се уклања незнатна количина материјала која је остала након грубе обраде услед велике димензије алата.

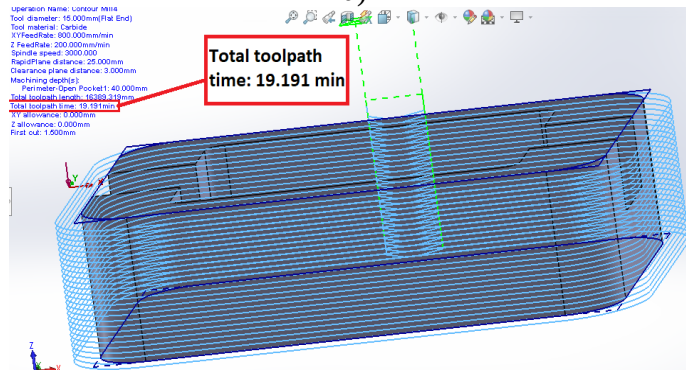


Слика 37. Подешавање параметра алата [13]

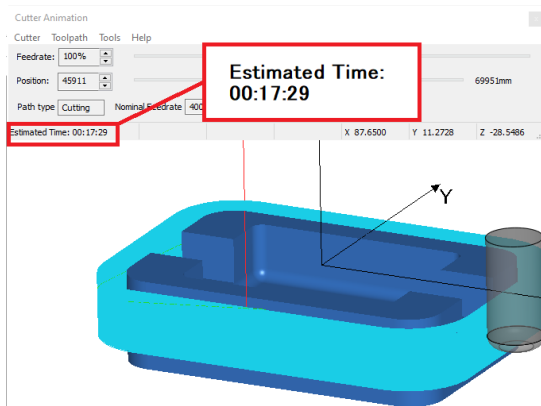
Када је у питању CATIA-ин модул за машинирање, обрада профилног глодања (слика 38.а) се изводи ограничавањем подручја глодања (црвена линија ограничења на слици 38.а). Потребно је унети брзине главног и помоћног кретања, као и жељене димензије алата. Све ово поменуто утиче на реално време обраде (Estimated Time на слици 38.а). Наравно, на време обраде утиче и број пролаза, односно дубина резања (узето је да износи 1 mm). Још једна разлика између описиваних софтвера је у начину селектовања површина које ће бити подвргнуте обради. CATIA захтева од оператера да сам изабере површине обраде за дату опеарцију, док NCG CAM аутоматски врши селекцију површина избором одговарајуће обраде (Waterline toolpath). Иста обрада за SolidWorks (слика 38.б) се изводи ручним подешавањем обраде профилног глодања. Поменуто је да овај софтвер поседује опцију за аутоматско препознавање обраде, али операцију профилног глодања није могуће да самостално препозна. Из тог разлога, приступа се мануелном генерисању обраде (видети слику 13, поглавље 2.5). SolidWorks CAM такође даје неко предвиђено време обраде, међутим подешавањем дубине резања на 1 mm (као што је урађено у преостала два софтвера), време обраде (Total toolpath time на слици 38.б) је трајало изузетно дуго. Стога је унешено да дубина резања износи 1,5mm, при чему се добија реално време обраде слично као код преостала два софтвера. Рад NCG софтвера се темељи на раду SolidWorks софтвера, када је у питању аутоматски избор сензитивних површина. Предност NCG-а у односу на SolidWorks и CATIA-у је краће време обраде, при чему се примењују обраде за фино и грубо глодање (слика 38.в). Такође, примењује се да за приближно исто време, код NCG-а алат оставарује већи број пролаза, што резултира већом тачношћу обраде.



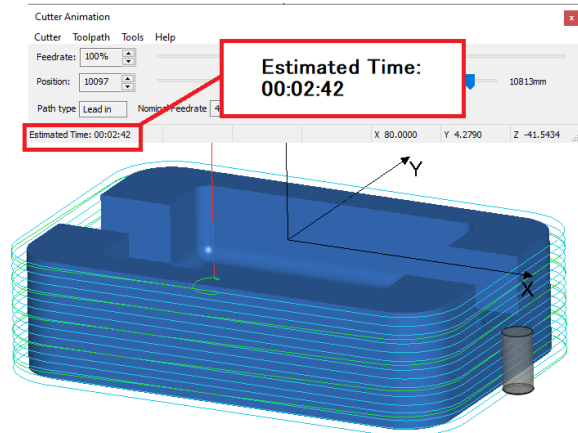
a)



b)



в)



Слика 38. Обрада профичног глодања у САМ софтверима

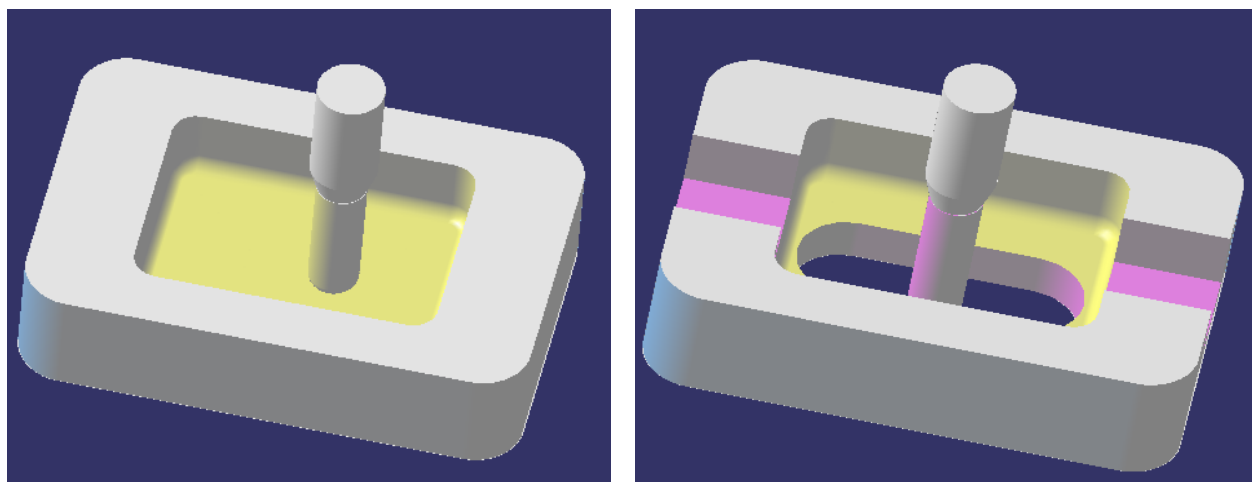
Слика 38.а. CATIA [8]

Слика 38.б. SolidWorks [10]

Слика 38.в. NCG [13]

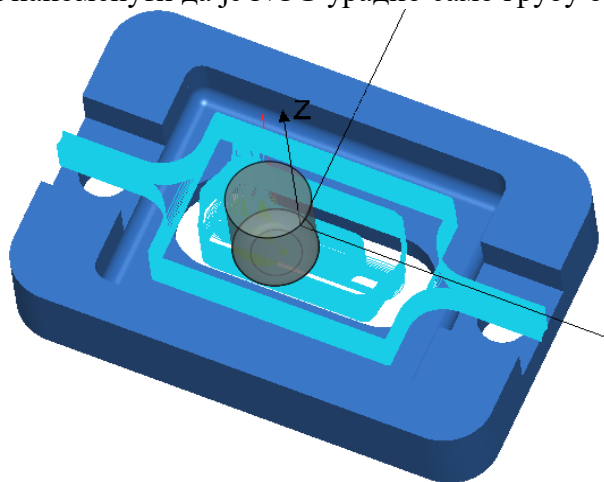
Дакле, ако би се урадио сажетак ове обраде, може се закључити да NCG обезбеђује и фини и грубу обраду (што је увек пожељно у индустрији) приближно за исто време као SolidWorks само за једну обраду. При дубини резања од 1 mm, CATIA и SolidWorks дају отприлике исто време. Свака од ових обрада има одређени назив у софтверима, па тако у NCG-у се зове „Waterline Toolpath“.

Можда једна од кључних предности NCG CAM-а у односу на „конкурентна“ два, огледа се при наредној обради. Након профилног глодања, потребно је приступити изради „цепова“. Укупно, на припремку, треба урадити четири цепа, од тога су два симетрична. Може се рећи да стратегија профилног глодања у сва три софтвера се, у већој или мањој мери, поклапа. То није случај са обрадом цепова и овде се ова три софтвера за CAM разилазе. Наиме, NCG је способан да изврши грубу обраду ових цепова одједном за пројектовано време од 17 минута применом опције „Area Clearance Toolpath“. С друге стране, у CATIA-и стриктно оператер бира стратегију и као најбоља се намеће редослед да се изврши обрада главног цепа (слика 39), потом да се измени алат и да се изврши обрада преостала три (слика 39). Ово знатно повећава време обраде, које би, заједно са изменом алата премашивало пола сата. Што се тиче CAM модула SolidWorks-а, искоришћена је опција „Extract Machinible Features“, којом је програм сам одредио да је потребно три грубе обраде за израду четири цепа. Наравно, било је неопходно прилагодити димензије алата димензијама радног комада.



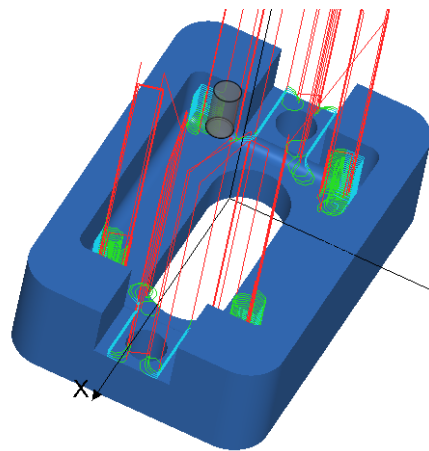
Слика 39. Обрада главног цепа и преостала три цепа у софтверу CATIA [8]

Дакле, ако би ове обраде биле резимиране, закључује се да стратегија NCG-а (слика 40) нуди најбрже машинирање, са аспекта времена и са аспекта лакоће машинирања. Потребно је још једном напоменути да је NCG урадио само грубу обраду, фина тек следи.

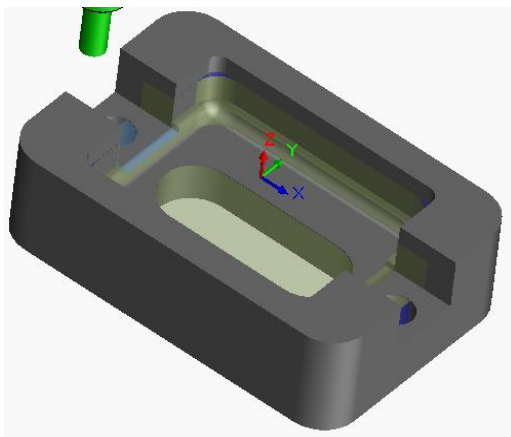


Слика 40. Стратегија NCG CAM-а за обраду главног цепа и преостала три [13]

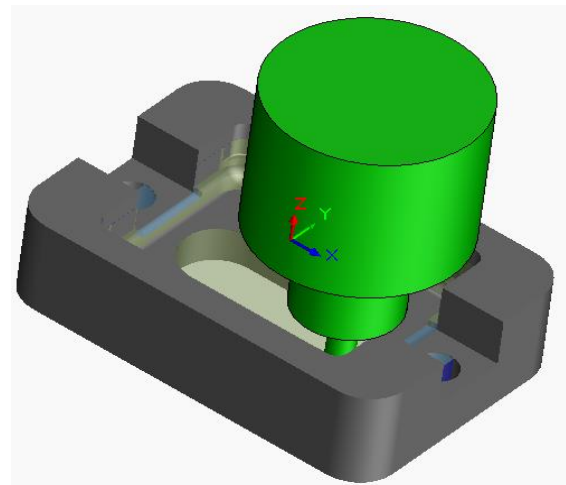
Завршена је груба обрада цепова у софтверима NCG и SolidWorks, док је у CATIA-и завршен цео процес обраде цепова. У два прво-поменути софтвера, потребно је урадити фину обраду, најпре обраду дуж ивице главног цепа, а потом и профилно глодање дуж зидова два симетрична цепа. Поново исти случај као малопре, NCG успева истом обрадом, користећи исти алат, урадити фину обраду за пројектовано време 11 минута (слика 41.а). С друге стране, SolidWorks расчлађава то на две обраде (слика 41.б). Узете су исте брзине главног кретања (2300 o/min) и помоћног које је, макар за случај fine обраде, увек доста мање (800 mm/min). Такође, коришћене су исте димензије алата, глодало пречника 10 mm. Поређење ће бити представљено преко истих параметара брзина, димензија алата и исте вредности дубина резања (1 mm по пролазу). Као одговор који је од софтвера бољи, намеће се да је то NCG, из разлога што је време обраде 11 минута, а код SolidWorks-а је, збирно за две обраде, 17 минута. Не само то, NCG уради једну обраду, док су SolidWorks-у потребне две.



а)



б)

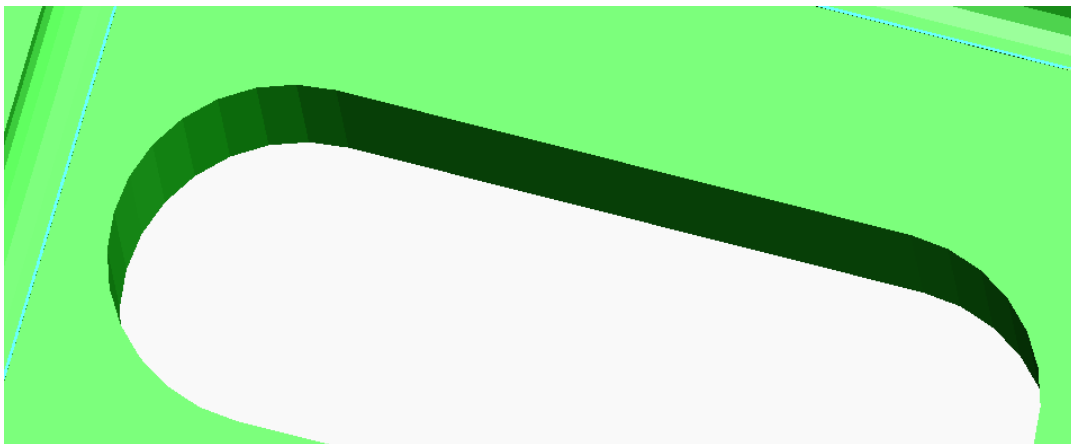


Слика 41. Поређење финих обрада NCG и SolidWorksCAM-а

Слика 41.а. NCG CAM [13]

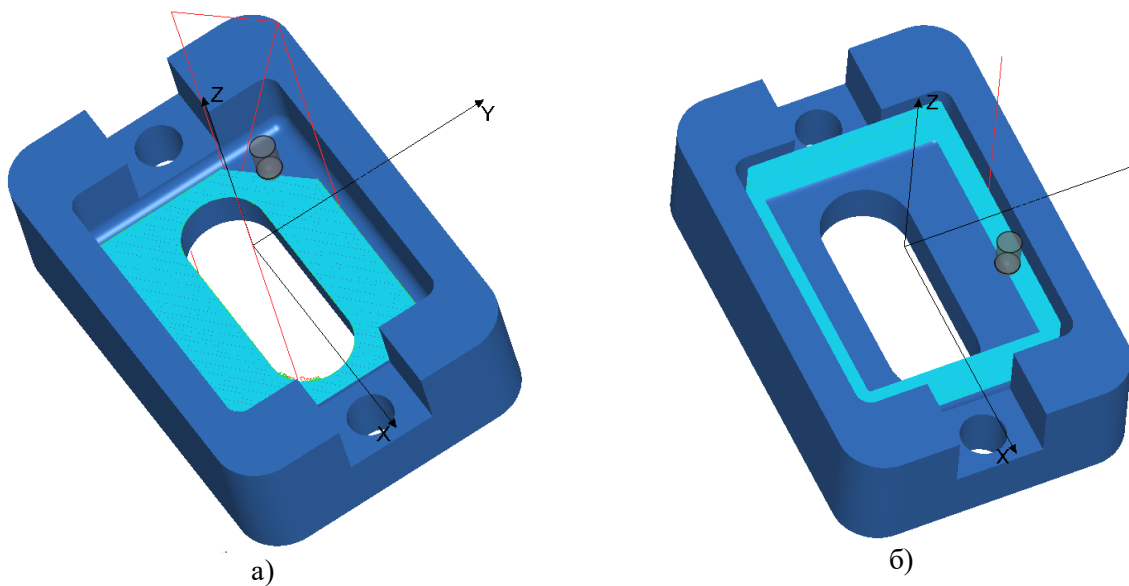
Слика 41.б. SolidWorks [10]

Последњи корак при обради цепова јесте фина обрада отвора облика издуженог круга. Оба софтвера генеришу једну операцију за ту обраду, при чему SolidWorks аутоматски. Поређење ће се вршити при идентичним брзинама (7500 o/min за обртно кретање глодала и 1500mm/min за праволинијско кретање радног стола). Затим, мора бити исти пречник глодала (8 mm) и мора се ускладити дубина резања, која износи, већ стандардних 1 mm. Након пуштања симулације, показано је да је овде SolidWorks у предности, који заврши обраду за нешто мање од 2 минута, док је NCG-у потребно 21 минут. Овде је потребно напоменути да NCG, приликом обраде поменутог отвора, обрађује и два симетрична цепа, па је отуда потребно дуже време. Генерално, то је обрада профилног глодања, која је овде искоришћена као фина. Овде ће први пут бити показана огромна предност SolidWorks-а. Наиме, он је способан да прикаже поље конаткта (слика 42), где на екрану даје скалу са бојама, при чему зелена значи да је 0 mm материјала остало. С друге стране, светло плава боја значи да је остао десети део милиметра, који ће се неком наредном обрадом уклонити. Ово умногоме олакшава процес машинирања, јер оператер има прилику да, поред визуелног приказа, уочи и вредносно где је остао материјал.



Слика 42. Поље контакта у софтверу SolidWorks [10]

Једна од последњих обрада је обрада карактеристична за NCG CAM. Та обрада се више изводи из мера предострожности. Овом обрадом се врши фина обрада након израде главног цепа. NCG CAM има тај недостатак да нема приказ симулације у којој се види како материјал „одлази“, па се ова операција уводи више искуствено. С друге стране, SolidWorks и CATIA имају детаљније анимације, па оператер сам може утврдити да ли је потребна нова операција. Ова обрада се у NCG-у назива „Raster Toolpath“ (слика 43.а). Овом обрадом се осигурава да дно обратка буде потпуно обрађено. Даље, из истих разлога, генерише се обрада профилног глодања под називом „Waterline Toolpath“ (слика 43.б). Ова обрада се користи за уклањање материјала са бочних страна главног цепа. Значај обраде „Raster Toolpath“ се може уочити тек на наредној слици (слика 44), на којој ће се видети остатак материјала који оператер може уочити у софтверу SolidWorks, преко поља контакта. Такође, на истој слици ће се видети како радни комад изгледа након те додатне (фине) обраде, на коју се оператер одлучио тек након визуелног уочавања. Поменути додатну обраду SolidWorks није сам детектовао применом опције „Extract Machinible Features“, већ она захтева од оператера да је сам уочи и изврши.

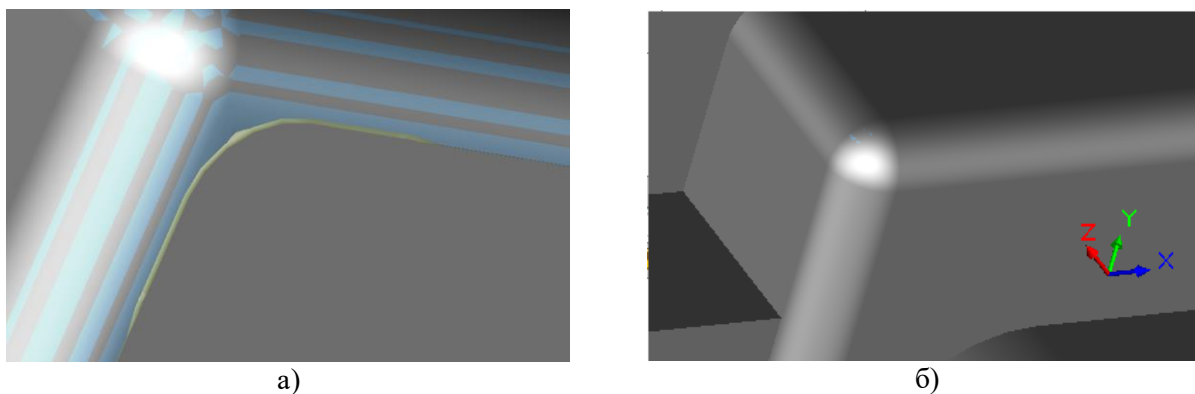


Слика 43. Уклањање материјала са дна и бочних страна главног џепа [13]

Слика 43.а. Опција „Raster Toolpath“

Слика 43.б. Опција „Waterline Toolpath“

Након завршетка фине обраде у софтверу SolidWorks, јасно се уочава разлика између изгледа дна радног комада без накнадне обраде (слика 44.а) и након те обраде (слика 44.б).

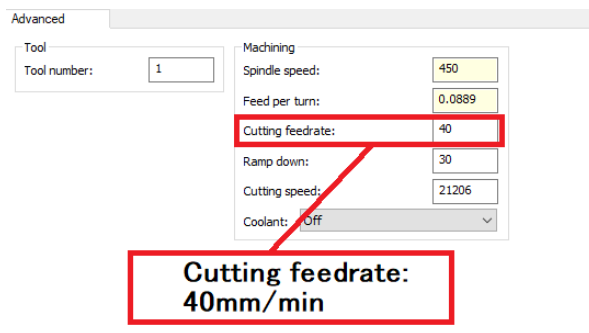


Слика 44. Дно главног џепа у софтверу SolidWorks [10]

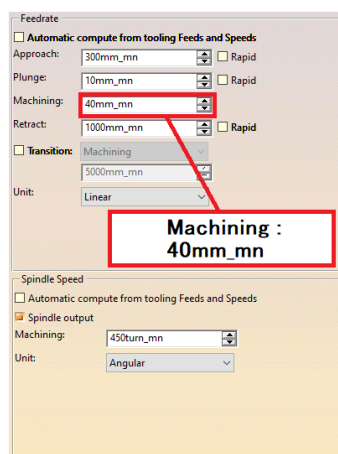
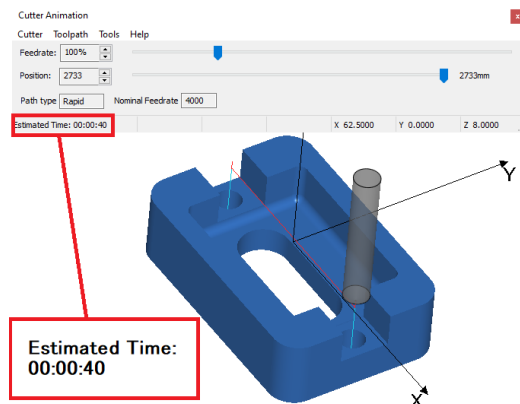
Слика 44.а. Без накнадне обраде

Слика 44.б. Након накандне обраде

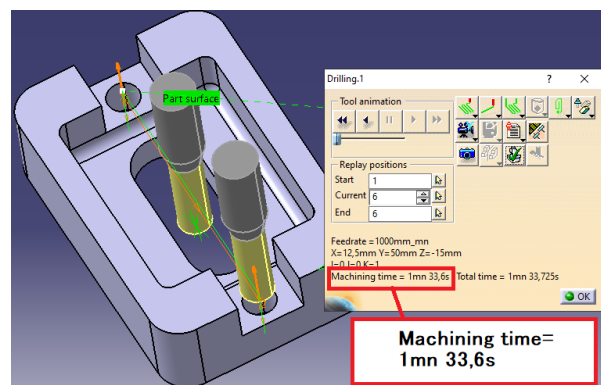
Kao poslednja operacija koja ће се спровести у циљу добијања финалног облика радног комада биће операција „Spot Drilling“, која има улогу забушивања и операција „Drilling“, преко које се врши бушење. Када је реч о забушивању, оно има веома важну улогу код бушења рупа или отвора, јер се једино уз тачно забушивање може обезбедити правилно праволинијско кретање алата при бушењу, које следи одмах потом. Уколико би се приступило бушењу рупе или отвора без претходно извршеног забушивања, повећава се могућност да дође до колизије између алата и радног комада, односно да рупа или отворне буду израђени на жељени начин. Ова врста обраде се обично изводи у краћим временским интервалима (под условом да су оптималне брзине), него што је то случај код осталих обрада, а то се посебно односи на операцију забушивања, где је неопходно уклонити материјал од свега $2\div 3\text{mm}$. Што се тиче обраде бушења и забушивања у софтверу SolidWorks CAM, програм сам генерише ове обраде. На оператеру је да провери параметре алата и да изврши евентуалну корекцију. Дубина забушивања износи, као што је поменуто, $2\div 3\text{mm}$. Сам процес бушења је изузетно брз и износи око 1 минут. Поређење ће бити показано на примеру обраде бушењем у софтверу NCG и CATIA CAM (слика 45). Узете су исте брзине главног (обртног кретања бургије) и помоћног (праволинијског кретања по z оси) кретања. Може се уочити да NCG-у треба 40 секунди за обраду оба отвора, док CATIA-и треба 94 секунде.



a)



b)



Слика 45. Поређење обраде бушењем
Слика 45.а. NCG [13]
Слика 45.б. CATIA [8]

Табела 2. Предности и недостаци САМ софтвера

Софтвер/Карактеристике	Предности	Недостаци
CATIA	- могућност визуелизације обраде - велика палета алата - могућност одабира сензитивних површина - велики избор операција - повезаност CAD-CAM	- сувише идеална визуелизација - нема опцију за фину обраду - неопходно моделирање припремка
SolidWorks	- аутоматско препознавање обрада - каталог са препорукама за избор брзина, у зависности од материјала - додељивање материјала припремка/обратка - поље контакта - повезаност CAD-CAM - генерисање припремка на основу обратка - реалистична визуелизација алата - постојање опције за завршне обраде	- самостално подешавање обраде чеоног и профилног глодања на припремку - релативна сложеност софтвера због широког спектра могућности - захтева јак рачунарски хардвер
NCG	- могућност грубе и fine обраде - аутоматско препознавање обрада - „Area Clearance Toolpath“ омогућава грубу обраду више површина одједном - приказ путање алата и пролаза у току анимације - читање различитих формата датотеке - не захтева високе перформансе рачунара	- изостављен је приказ отклањања материјала у анимацији - немогућност приказа комплетне анимације свих обрада - базира се на искуству оператера - неповезаност CAD-CAM

5. Закључак

Поређењем NCG-а са CATIA-ом и SolidWorks-ом, долази се до закључака да је NCG повољнији са аспекта цене, истовремено незаостајући у погледу квалитета. Великом броју људи, посебно током студија, нису познати „мањи софтвери“, већ само светски познати. У реалном животу, у индустрији, ти мањи софтвери се чешће користе јер им је намена усмерена на конкретне захтеве у раду. Поређење је показало да нема драстичних разлика између наведених софтвера. Може се закључити да су CATIA и SolidWorks сложенији, што захтева сложенију обуку и дуже време учења поступка рада. Са друге стране, ова два сложенија софтвера имају велики број видео туторијала на основу којих је могуће самостално изучити материју и поступак рада, што обезбеђује независност при учењу. Једини извор литературе доступан за NCG CAM било је упутство у електронској форми од стране запослених у „Горење орођарна д.о.о.“ (које је преведено на српски).

Суштина завршног рада било је упоређивање NCG CAM-а са неким представницима осталих софтвера. Као представници, изабрани су једни од најбољих софтвера, CATIA и SolidWorks. Поређење је извршено на конкретним примерима сликовито приказаним. Жеља и циљ су били да се пореде стратегије машинирања (пре свега лакоћа стратегије) и пројектовано време обраде. По понуди обрада, ови софтвери се не разликују. Може се закључити да SolidWorks „одскаче“ по једном критеријуму, а то је поседовање опције за аутоматско генрисање обрада. У суштини, колико је то предност, толико је и недостатак, посебно за младе инжењере, који нису имали прилику да раде у другом софтверу и нису упознати са „правилима“ машинирања. Поменута опција може претерано опустити оператера, који неће, ако је почетник, успети да препозна какву завршну обраду или који параметар алата треба променити, како би се остварила успешна обрада. С друге стране, NCG има релативно једноставан план рада, који се, уз квалитетну обуку, брзо савладава. NCG има добар и правилан асортиман опција (обрада), нудећи велики број финих обрада, а практично само једну грубу. На конкретном примеру, за обраду профилног глодања, када је потребно уклонити материјал са бочних страна, софтвери CATIA и SolidWorks генеришу само једну операцију, док NCG CAM нуди две обраде. Целокупан утисак јесте да су CATIA и SolidWorks дизајнирани са жељом да се користе за више могућности, од CAD дизајнирања, преко модула за склопове или за технички цртеж, преко модула за кинематику, па све до модула за CAM. С друге стране, њих ове могућности „гурају“ у први план када су потребне корекције на предмету обраде, што у NCG-у није могуће. Ипак, утисак је да је софтвер потпунији или макар применљивији када је дизајниран са жељом за конкретну и ужу сврху, као што је случај са NCG-ом.

Литература

- [1] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/computer-aided-manufacturing-cam/13139> 22.03.2020.
- [2] <https://www.bdeinc.com/blog/understanding-computer-aided-manufacturing-benefits/> 09.04.2020.
- [3] Девеџић Г., CAD/CAM технологије, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2009. године, страна 104
- [4] Девеџић Г., CAD/CAM технологије, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2009. године, стране 112, 113 и 114
- [5] https://bobcad.com/free-cad-cam-demo-downloads/?source=homepage_tabwords 27.04.2020
- [6] <http://www.cambam.info/> 19.05.2020.
- [7] Софтвер FeatureCAM 2011
- [8] Софтвер CATIA V5R21
- [9] <https://all3dp.com/1/best-cam-software-solidworks-autocad/#solidworks-cam> 13.06.2020.
- [10] Софтвер SolidWorks 2018
- [11] <https://www.openmind-tech.com/en/cam.html> 25.06.2020.
- [12] Приручник за 3D обраду у софтверу DEPOCAM 11.0, Песек С. (превели Лазаревић Н., Стојковић М.), Горење алати д.о.о.
- [13] Софтвер NCG-DepoCAM 13.0