

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: CAD/CAM/CAE 1

Број индекса: 61/2014

Слободан Д. Живановић

**Примена CAD/CAM/CAE софтвера у развоју производа
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Мирко Благојевић, ван. проф.
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише основе коришћења CAD/CAM/CAE технологија у машинском инжењерству, а затим да измоделира један кокретан машински склоп у неком од PLM сфтвера.

Препоручена литература:

[1] Г. Девидић, Софтверска решења CAD/CAM система, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2004.

Крагујевац, 2018.

ментор:

Др Мирко Благојевић, ван.проф.

Резиме

У оквиру овог рада дат је осврт на CAD/CAM/CAE софтвере, њихову историју, развој и примену. Приказана је примена софтверског пакета *SolidWorks* на практичном примеру ручне дизалице са карикастим ланцем и измашинирана је једна компонента склопа на CNC глодалици.

Кључне речи: CAD, CAM, CAE, ручна дизалица

Summary

The aim of this final paper is review on CAD/CAM/CAE softwares, their history, development and use. The *SolidWorks* application has presented on practical example of handwheel with a linkage chain, and one part of the machine assembly has been made on CNC meel.

Keywords: CAD, CAM, CAE, handwheel

Садржај:

1. Увод	1
1.1 Развој рачунарске графике	1
2. CAD/CAM/CAE	4
2.1 Примена CAD/CAM/CAE софтвера у другим сферама науке	6
3. Програмски пакет Solid Works	8
3.1 Употреба Solid Works-a	9
3.2 Part радно окружење	10
3.3 Assembly радно окружење	11
3.4 Drawing радно окружење	12
4. Употреба Solid Works пакета на практичном примеру израде ручне дизалице са чланкастим ланцем	14
4.1 Употребе Part радног окружења на примеру вратила	15
4.2 Употребе Assembly радног окружења	24
4.3 Употреба Drawing радног окружења	32
4.4 Употреба Solid Works Simulation окружења	37
4.5 Машинирање	41
5. Закључак	43
Литература	44

1. Увод

Развој производа поготову данас када је тешко пропратити развој технологије јесте прилично сложен процес, будући да производи могу бити комплексни и да захтевају савремену технологију израде. Уз то брзина лансирања производа на тржиште, испуњење жеља купаца и потреба за брзим и лаким трансформисањем производа јесу још један од изазова пред којима се налазе компаније и инжењерски тимови.

Због поменутих проблема који јесу услов за опстанак неке компаније, ради се на сталном проналажењу могућности за повећањем ефикасности процеса развоја производа, што резултира повећаном популарношћу и све већом потребом за развијањем CAD/CAM/CAE технологија.

Савремени процеси пројектовања у машинству као и организације рада заснивају се на примени рачунарских технологија, као и њихових интеграција. Масовна примена и увођење рачунара у машинске технологије представља прекретницу у развоју инжењерства. Применом аутоматизације и рачунара су остварени резултати који повећавају друштвени производ уз истовремено снижавање трошкова пословања. Рачунари су омогућили аутоматизацију различитих процеса чиме су знатно смањили грешке и подигли квалитет, а уједно је обезбеђена висока поновљеност процеса.

1.1 Развој рачунарске графике

Геометријско моделирање помоћу рачунара као такво је релативно нова технологија, која се развија последних година 20. века па до данашњих дана.

Други светски рат је направио помак у свим сферама науке, инжењерства, физике, медицине итд. Први графички системи су развијени педесетих година 20. века за потребе америчке авијације, тачније за потребе противваздушне одбране где су се користили CRT монитори ¹ за приказ информација добијених на радару.

Свакако развој CAD/CAM/CAE технологија највише дугује муњевитом развоју микропроцесора и рачунара.

Развојни пут ових технологија и софтвера може се поделити у више целина. Пут је започет са програмима који су могли да формирају дводимензионалне (2D) жичане моделе, затим су редом настајали програми који су могли формирати тродимензионе жичане моделе, моделе површина, моделе геометријских фигура и коначно се стигло и до параметарског моделирања геометријских фигура.

¹ CRT (енгл. The cathode ray tube) монитори јесу монитори са катодном цеви у којој се електрони, избачени из ужарене катодне, због високог напона између катодне и анодне убрзавају према аноди у облику снопа (катодно зрачење). Тај се сноп усмерава на флуоресцентни заклон, на којем ствара светлећу тачку.

У раним шездесетим годинама двадесетог века амерички информатичар Иван Седерланд (*Ivan Sutherland*) је направио софтвер са називом "*Sketchpad*" који је примитиван у поређењу са CAD софтверима данас али је створио велики помак у конструисању. *Sketchpad* је први CAD софтвер на свету, али први комерцијални CAD софтвер је развијен 1957. године од стране др Патрика Ј. Ханрати (*Dr. Patrick J. Hanratty*) који је назван оцем CAD-CAM система. Пошто су се тек средином осамдесетих година прошлог века појавили персонални рачунари, а и због високе цене софтвера, конструисање помоћу рачунара се за претходно раздобље везује за релативно мали број корисника (велике компаније аутомобилске ваздухопловне индустрије). Како су компјутери постали приступачнији, подручје коришћења као и број корисника се повећао, [1].



Слика 1. Иван Сатерленд представља рад у програму "*Sketchpad*", [2]

Параметарско моделирање јесте концепција где је могуће у произвољном тренутку времена мењати геометријске карактеристике тела, као што је димензија.

Највећи помак у развијању софтвера овог типа се догодио 1981-1982. Тада је *Dassault Systemes* представио програм за површинско моделирање - *CATIA*, *Shape date* створио *Romulus* (први комерцијални програм) као и сам настанак *Autodesk*-а који формира 2D програм *AutoCAD*.

Следећа прекретница је била формирање *CoCreate Software* –а као део *Hewlett-Packard* компаније, а затим настанак *Pro/Engineer*-а 1988.

Јасно се види да се у последње две декаде 20. века одиграла велика трка за развијање бољег софтверског пакета и свака софтверска компанија је допринела развоју CAD/CAM/CAE софтвера што је резултирало тиме да се данас на тржишту могу наћи различити пакети већих и мањих могућности. Програм који ће бити детаљније описан у даљем раду јесте *SolidWorks* који је заузео важно место у овој „трци“ највише због односа цене и квалитета и могућности које пружа. Настао је 1995. године као главни и најјефтинији конкурент *CATIA*-и, *Pro/ENGINEER*-у, *Unigraphics*-у и осталима. Спада у софтвер средње класе.

Све ове софтверске пакете који су набројани красе посебне специфичности које им дају лични печат, али је битно да све њих одликују исти основни принципи.

2.CAD/CAM/CAE

Као што је речено у уводу, савремени процеси пројектовања у машинству као и организације рада заснивају се на примени рачунарских технологија, као и њиховој интеграцији. CAD/CAM системи се примењују приликом решавања различитих инжењерских, истраживачко развојних и индустријских проблема и сви они се описују скраћеницом MDPА (енгл. “*Mechanical Design and Process Automation Tools*”) која означава алате за аутоматизацију пројектовања машинских конструкција и њихову израду, [4].

MDPA системи подразумевају подршку пословним и другим пратећим активностима везаним за животни циклус производа. Окосница MDPА системима су интегрисани софтверски алати који се везују за различите фазе развојног циклуса, а то су :

CAD (енгл.” *Computer Aided Design*”) тј. пројектовање помоћу рачунара,

CAM (енгл. “*Computer Aided Manufacturing*”) тј. рачунарски подржана производња,

CAE (енгл.”*Computer Aided Engineering*”) тј. рачунарски подржан инжењеринг.

CAD системи - јесу системи који се користе за пројектовање помоћу рачунара и представљају скуп софтверских алата и технологија који инжењерима пружа низ погодности током рада у развоју конструкције. Под погодностима се подразумевају аутоматско извођење конструкционих операција као што су исцртавање линија, формирање тела, модификације постојаћих тела, рад са базама стандардних елемената, размена цртежа и модела итд. Данашњи CAD системи махом су засновани на тродимензионалном моделирању, које пружа инжењеру бољи увид у конструкцију коју ради, природност и флексибилност у виду бирања концепција којима ће да ради модел и могућност накнадних исправка могућих грешака.

CAE системи - су системи који се користе за испитивања датог производа. Пре него што се почне са разрадом технологије обраде и израде производа погодно је извршити неопходне анализе и симулације понашања производа у експлоатационим условима. Ови програми се састоје из низа софтверских алата за анализирање и симулирање физичких карактеристика производа. Најзначајније карактеристике тј. најкарактеристичнија испитивања јесу напонска испитивања, термичка и кинематска испитивања. Резултати тих испитивања се јасно приказују указујући инжењеру на могуће недостатке и потенцијална решења и побољшања тих недостатака.

CAM системи – јесу софтверски системи чија примена иде на крају процеса тј. након израде конструкције у CAD софтверима и њеног подробног испитивања у CAE софтверима тј. када се заврши развој конструкције производа.

Софтверски системи за рачунарски подржану производњу се понајвише примењују за пројектовање и симулацију обрадног поступка и генерисање програма за CNC² (енгл. *Computer Numerical Control*) машине.

² CNC машине (енгл. Computer Numerical Control) је врста обрадних машина које све операције реализују према унетом алфанумеричком коду преко рачунарске управљачке јединице која директно управља радом машине.

Иако се САМ пакети претежно користе за симулације обраде, они имају широк дијапазон примене. Најинтересантније свакако јесте да се на основу САД модела производа могу изводити операције везане за праћење и управљање процесима, управљање помоћном и производном опремом итд.

Међутим, да би се корисницима омогућио интегрисан развој производа, што подразумева и интензивну комуникацију између различитих инжењерских тимова, МДРА системи морају да поседују и додатне софтверске алате, који су подршка горенаведеним САД/САМ/САЕ софтверским пакетима.

Међу њима се могу издвојити:

CAPP (енгл. *Computer Aided Process Planning*) тј. пројектовање технологија помоћу рачунара,

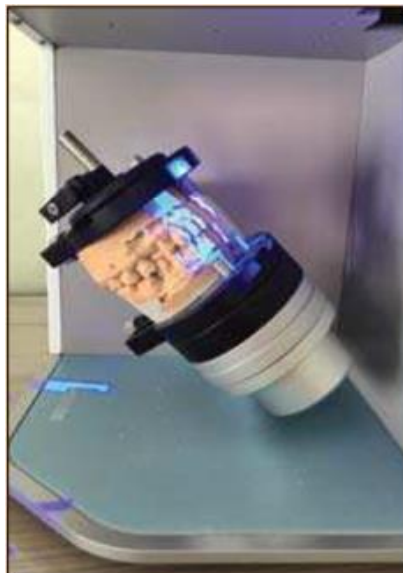
CAI (енгл. *Computer Aided Inspection*) тј. контрола производа помоћу рачунара,

CAQ (енгл. *Computer Aided Quality*) рачунарски подржан квалитет (производа).

Коначно, читава ова софтверска концепција САД/САМ/САЕ може се сврстати у једну целину, такозвану компјутерски интегрисану производњу, познатију као СИМ технологије (енгл. *Computer Integrated Manufacturing*.) које јесу концепт којим се дефинишу начини рачунарске интеграције свих индустријских активности у оквиру компаније - од идеје до дистрибуције производа. Другим речима, окосницу СИМ технологија чине САД/САМ/САЕ системи.

2.1 Примена CAD/CAM/CAE софтвера у другим сферама науке

Да се не би стекао погрешан утисак о томе да се CAD/CAM/CAE софтвери користе само у техничким струкама, битно је напоменути да се софтвери који се ослањају на CAD/CAM/CAE технологије користе и у медицини односно стоматологији. Наиме, софтвери оваквог типа се користе претежно у протетици и то приликом виртуелног узимања отисака зуба пацијента (слика 2), али и формирања протеза.



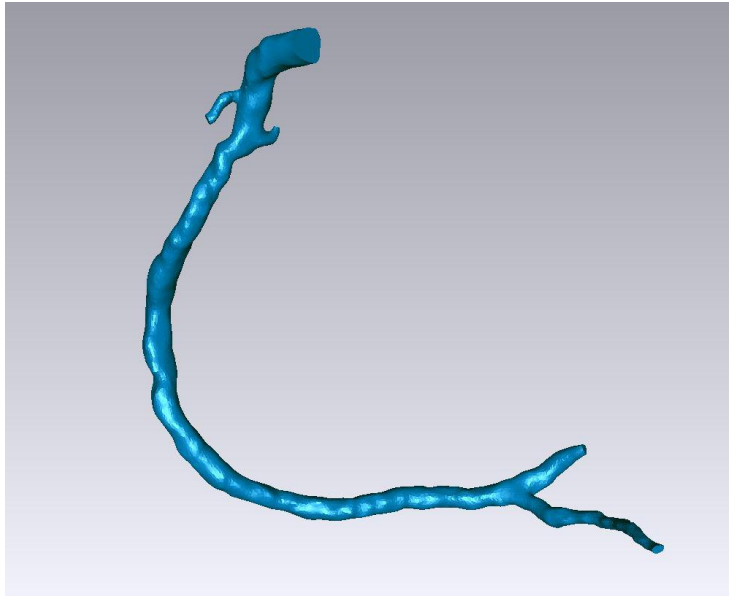
Слика 2. Виртуелно узимање отиска зуба, [3]

Сама одлика CAD/CAM/CAE концепције се уочава у следећем: приликом препарације зуба почиње се од скенирања радног модела, а након радног модела приступа се скенирању сваког делића (ради веће прецизности) и добија се виртуелни радни модел на коме се може извршити анализа положаја брушених зуба. Софтвер ће овако појединачно скениране делиће и инкорпорирати у већ скенирани радни модел тако да се нека подминирани или из другог разлога неприступачна места овим поступком чине „видљива“ скенеру, [3]. Након анализа прелази се на CAD тј. моделирање будуће протетске надокнаде (слика 3).



Слика 3. 3Д моделирање надокнаде зуба, [3]

Такође, што се тиче медицине, помоћу различитих софтвера овог типа као што су *Mimics* (*Materialise Interactive Medical Control System*) или *Geomagic* инжењери могу испитати и напоне који се јављају у артеријама и крвним судовима различитих органа (слика 4) и тако предвидети могућа оштећења истих и омогућити благовремено лечење.



Слика 4. Артерија представљена у CAD/CAM софтверу

3. Програмски пакет Solid Works

Као што је у уводу поменуто *SolidWorks* представља један од програмских пакета CAD/CAM/CAE технологија. То је 3Д механички програм који се покреће на *Microsoft Windows*-у, а развила га је *SolidWorks Corporation* - филијала *Dassault Systèmes*-а. *SolidWorks Corporation* је 1993. године основао *Jon Hirschtick* са седиштем у Масачусетсу, а издали су свој први производ, *Solid Works 95*, 1995. године као јефтинији конкурент CAD програмима као што су *Pro/ENGINEER*, *Unigraphics* и *CATIA*, а тренутно је један од најпопуларнијих производа на тржишту механичких CAD програма средње класе. Године 1997. *Dassault Systèmes*, који су познатији по свом *CATIA CAD* програму, купили су компанију и тренутно поседују 100% деоница.

SolidWorks примарно користе инжењери машинства и дизајнери. Корисници овог програма су како појединци тако и велике компаније, а он је заступљен у већини сегмената производног тржишта. Једине области у којима није заступљен су свемирска и аутомобилска индустрија у којима се превасходно користи *CATIA* и *Unigraphics* CAD програм. У развоју новог *SolidWorks*-а, верзија 2009 представља озбиљан заокрет. Нова верзија *SolidWorks* софтвера доноси битна побољшања, пре свега у брзини рада. Након што је *SolidWorks 2008* донео нови кориснички интерфејс, који изгледом подсећа на *Microsoft Office 2007*, чиме је смањена количина „кликтања“ по екрану, кориснички интерфејс у наредној верзији није значајно мењан, али је уз побољшање перформанси и неких 250 унапређења брзина рада ипак значајно повећана. Статистика каже да је *SolidWorks 2009* бржи од свог претходника и до 65 посто, уз значајно повећану поузданост, што је постигнуто оптимизацијом употребе хардверских ресурса, [1].

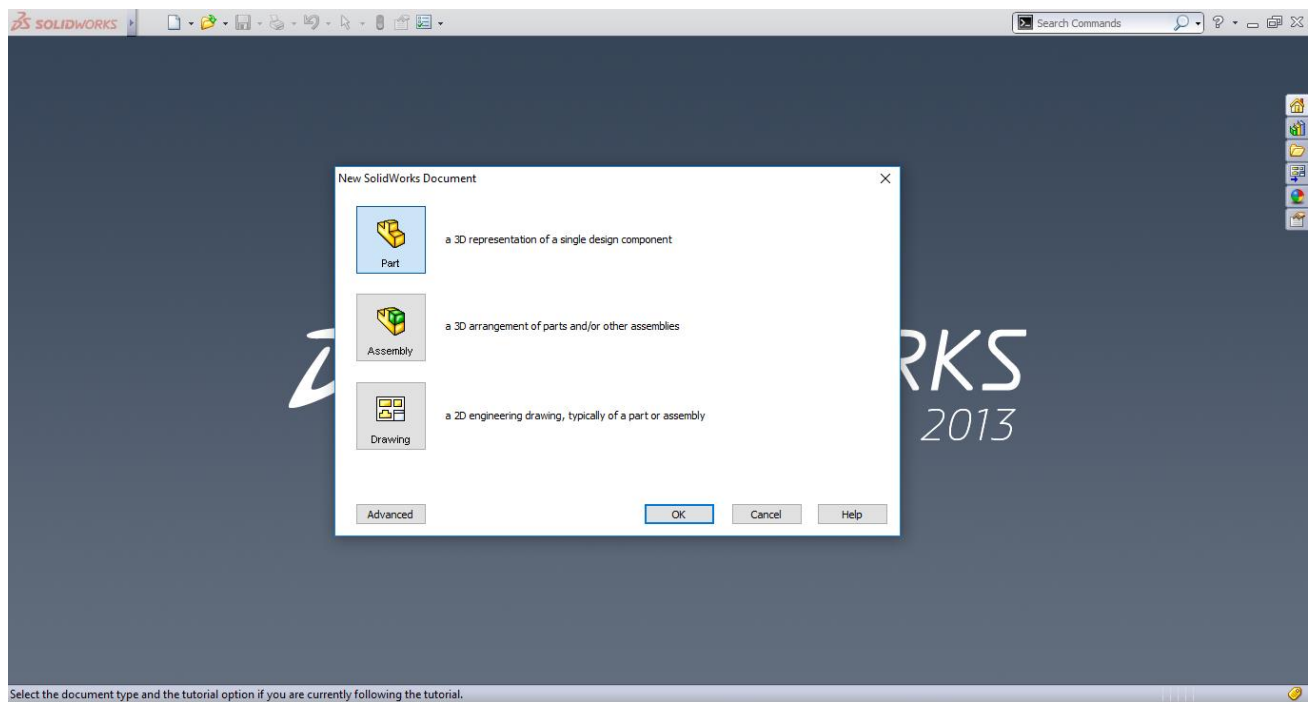
Нова верзија доноси *SpeedPak* технологију за рад са великим склоповима (више од 100.000 делова), која ствара упрошћену слику сложеног склопа, истовремено задржавајући све референце и односе између делова, што у пракси доводи до тога да се цртеж склопа отвара истом брзином као и неки Word или PDF документ.

Поред овога, у SW2009 је унапређен рад са саставницама, деловима од лима и завареним конструкцијама. Интересантан је и рад са тзв. сензорима, који прате одабране параметре попут масе, димензија или резултата симулације унутар делова и склопова и обавештавају корисника када њихове вредности одступе од задате границе.

3.1 Употреба Solid Works-a

Приликом активирања програма SolidWorks, програм се укључује и приказује прозор који кориснику нуди одабир радног окружења.

Радно окружење може бити Part радно окружење, Assembly радно окружење и Drawing радно окружење. На слици број 5 се може видети прозор за одабир радног окружења.

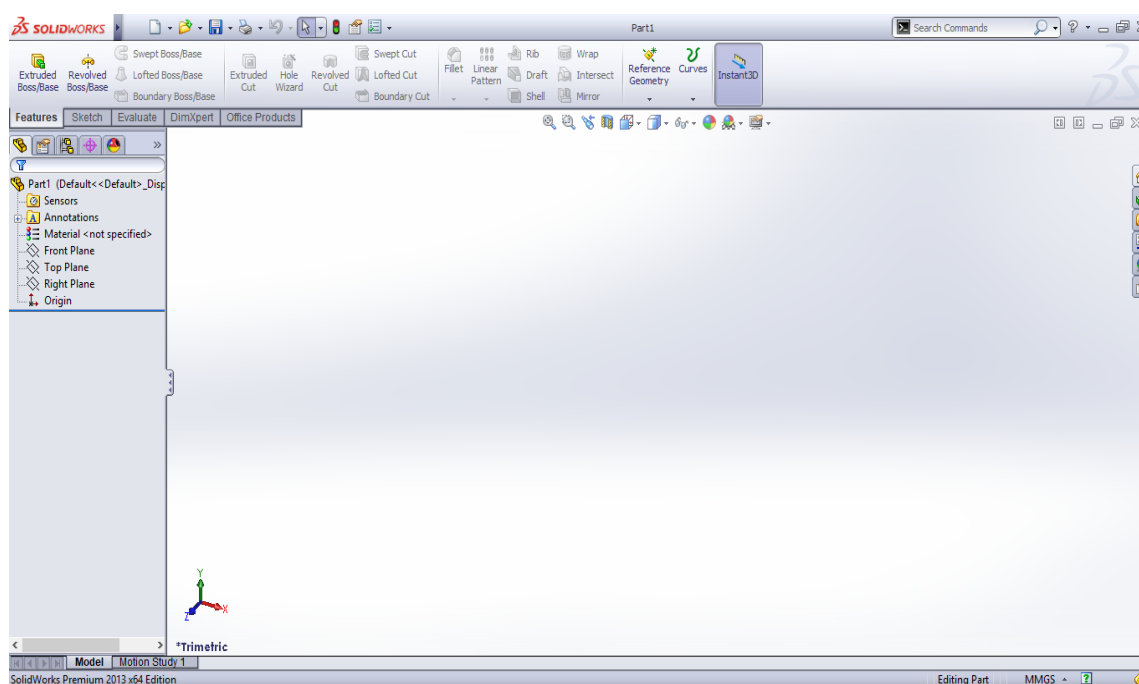


Слика 5. Прозор за одабир радног окружења

Поред ова три “основна” окружења, постоје још и Sheet Metal, SW Plastic, SW Flow simulation, Xpress analyses, Motion Study.

3.2 Part радно окружење

Part радно окружење (слика 6) јесте окружење које служи за креирање тродимензионалног модела. Налази се у области CAD технологија, а модели који се формирају у њему могу се касније користити за потребе компјутерски подржане производње (енгл. *CAM- Computer Aided Manufacturing*) затим за испитивање перформанси самог модела која се налази у области CAE-а (енгл. *Computer Aided Engineering*) и за формирање програма за обраду на CNC машинама (енгл. *CNC-Computer Numerical Control*).



Слика 6. Part радно окружење програма Solid Works

Посматрајући приказ радног окружења са слике 6. одозго на доле, прво се може приметити toolbar за брзи приступ (слика 7) (енгл. *Quick Access Toolbar*), који је исти за сва радна окружења у SolidWorks-у. Служи за отварање старих докумената, формирање нових докумената, чување истих итд.



Слика 7. Toolbar за брзи приступ.

Испод toolbar-а за брзи приступ се налазе следећи tab-ови: Sketch toolbar, Features toolbar, Evaluate toolbar, DimXpert toolbar, Office products toolbar, и остали. У зависности од одабира и потреба инжењера, tab-ови се у зависности од потребе могу убацивати и избацивати из окружења. Sketch toolbar (слика 8) је у суштини опција која се увек користи у почетку формирања тј. настајања неке моделске форме у коме се налазе команде за цртање скица тј. команде за цртање правих и кривих линија, кружница, елипси, правоугаоника итд., али и команде за котирање и цртање помоћних линија и тачака.



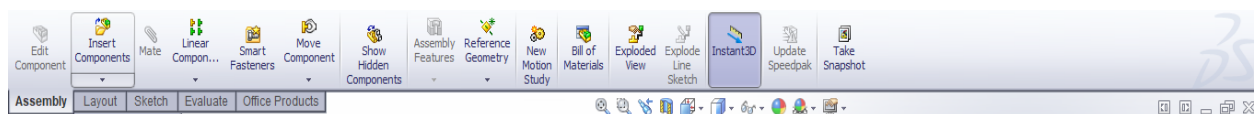
Слика 8. Sketch toolbar

Након одрађених скица прелази се на Features toolbar који служи за претварање скица у 3Д моделе, уз помоћ различитих алатки. Extruded Boss/Base команда се користи за извлачење, тј добијање 3Д форме из скице, Revolved Boss/Base служи за формирање 3Д форме такође, али тако што се комад добија ротацијом скице око помоћне осе. Постоје и команде за "копање" модела, затим за његово умножавање итд.

3.3 Assembly радно окружење

Assembly радно окружење (слика 9) јесте окружење које се користи за формирање склопова од претходно направљених и увежених стандардних делова. Када се неки део нацрта у Part окружењу, а уколико постоји задатак да се направи неки склоп, сви делови тог склопа се увозе, формирају им се ограничења и позиционирају се у односу на друге делове склопа.

Као што је поменуто на почетку, и ово радно окружење поседује toolbar за брзи приступ, а осим њега поседује табове који и карактеришу ово окружење. У овим табовима се налазе команде за увожење формираних делова и подсклопова, команде за позиционирање делова, "сакривање" одређених делова склопа, одабир материјала, увођење закона кретања, помоћну геометрију итд.



Слика 9. Таб са основним командама Assembly радног окружења.

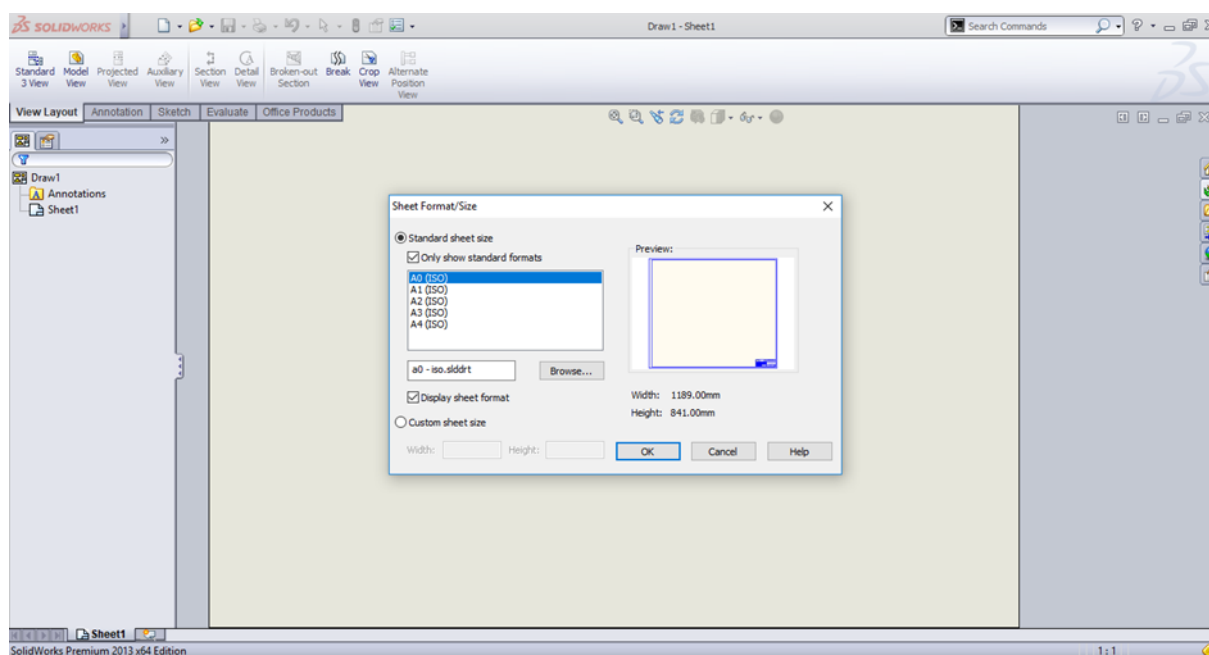
3.4 Drawing радно окружење

Један од најважнијих докумената о производу јесте технички цртеж. Он представља 2D модел производа којим су, као делом производне документације, дефинисани сви детаљи неопходни за израду готовог производа.

Када је модел производа једном формиран приступа се изради детаљне техничке документације. Поред техничких цртежа производа, као уобичајеног дела пратеће документације, савремени CAD пакети омогућавају и генерисање саставница, трошковница и осталих докумената којима је производ у потпуности описан у техничком, технолошком и производном смислу, [4].

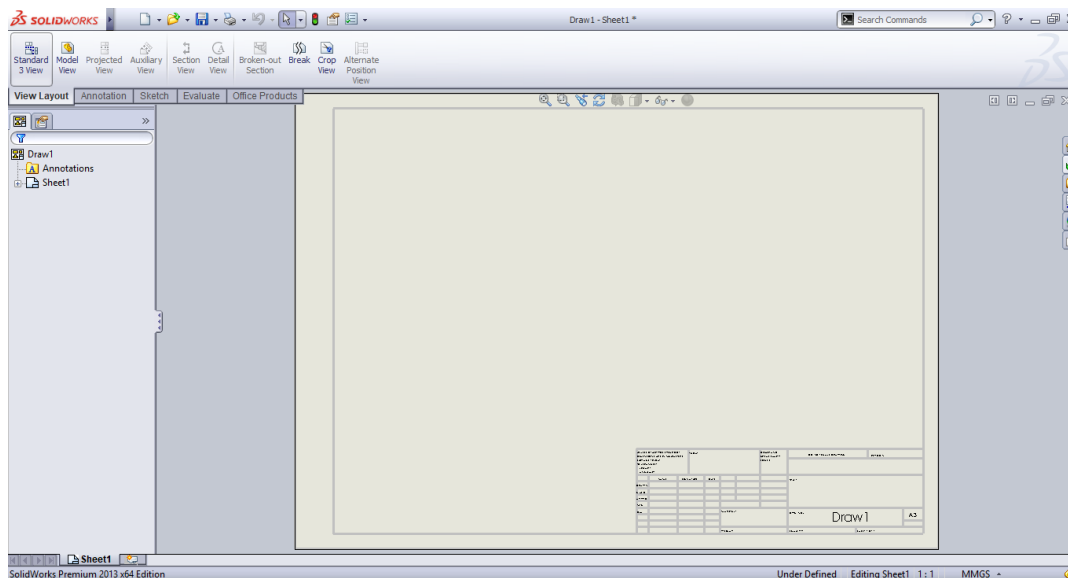
Drawing радно окружење је такво да се по карактеристикама доста разликује од претходно поменутог два радна окружења. Користи за формирање техничке документације склопова и подсклопова, који су претходно конструисани у Part и Assembly радним окружењима.

Укључивањем Drawing окружења аутоматски се појављује прозор за одабир формата листа (слика 10) на коме ће бити представљена подразумевано 2D техничка документација.



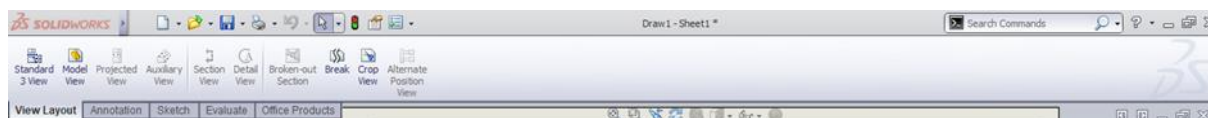
Слика 10. Drawing радно окружење

Формати могу бити стандардни и нестандартни. Стандарди који се примењују су ANSI (амерички), DIN (немачки) ISO (интернационални), JIS (јапански) и други. Након одабира стандардног формата, отвара се окружење које служи за рад (слика 11.)



Слика 11. Изглед прозора након одабира величине листа

Као и у сваком од окружења и Drawing поседује toolbar за брзи приступ, а испод њега се налазе табови који карактеришу ово радно окружење (слика 12).



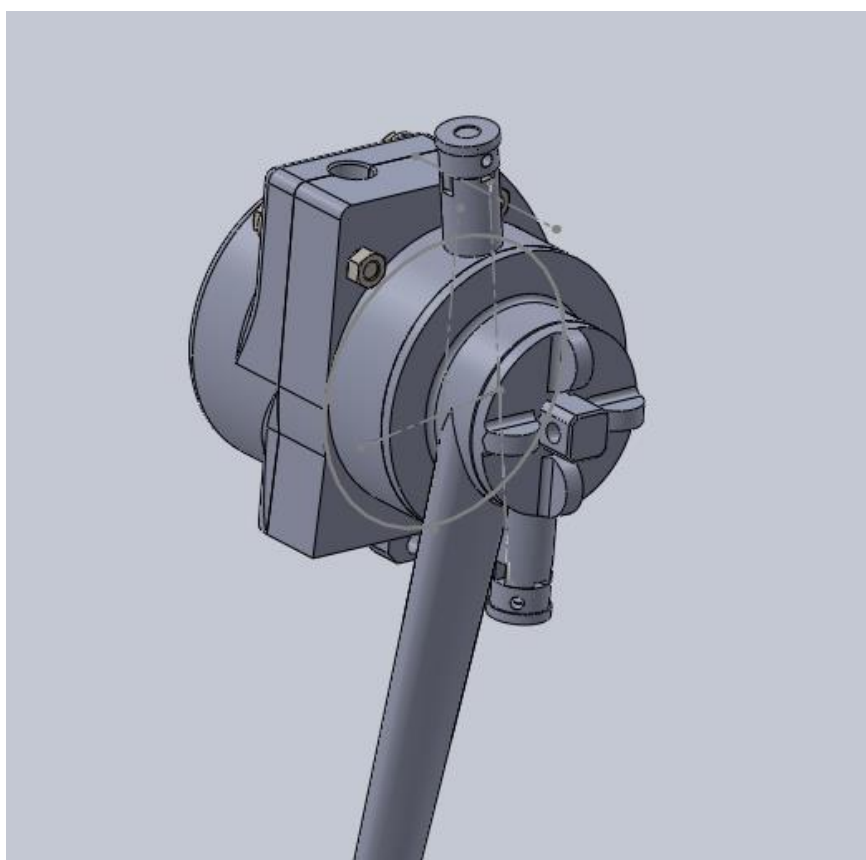
Слика 12. Таб са командама у Drawing окружењу

Опције које се налазе на првој палети испод палете за брзи приступ се могу поделити на View layout опције које се користе за увожење модела представљеног у 2D окружењу, затим подешавање "погледа" на дати део, команде за полупресеке и Annotation који поседује команде за котирање, убацивање помоћног текста, зумирање ситнијих делова склопа, увожење "облачића" за ознаку делова у склопу, означавање храпавости површина, уцртавање оса симтрије и друго.

Сва окружења и њихово коришћење ће се детаљније описати у идућим поглављима, кроз представљање Solid Works пакета кроз практичан пример.

4. Употреба Solid Works пакета на практичном примеру израде ручне дизалице са чланкастим ланцем

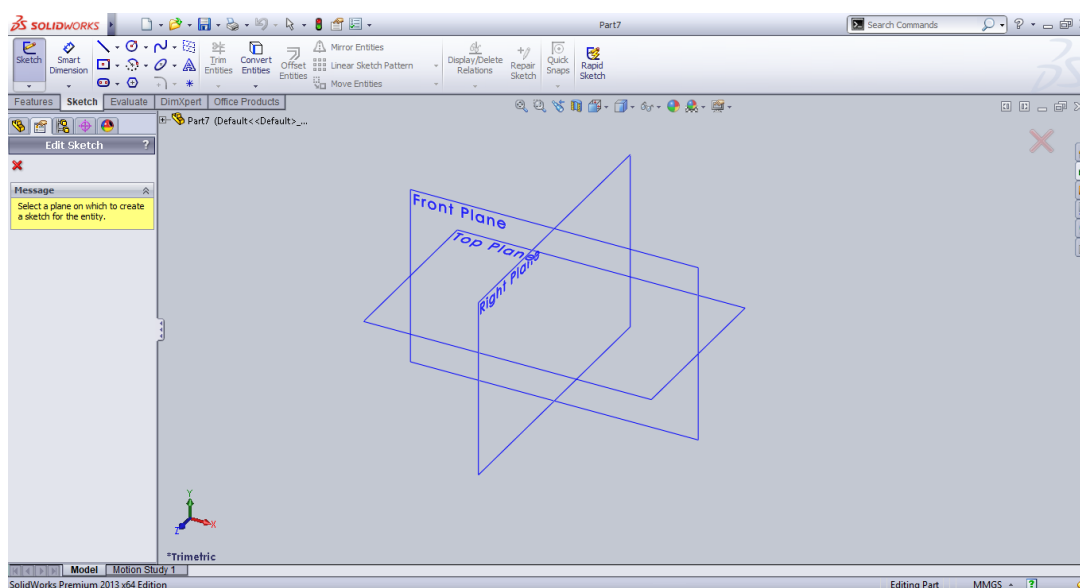
Ручна дизалица са чланкастим тзв. "псећим" ланцем (слика 13) је тип потезне дизалице која има примену у разним сферама индустрије. Нашла је примену у затезању бродских ланаца, дизању терета носивости једне тоне у производним халама, а највећа примена јесте у рудницима и примењује се за репарацију транспортних трака. Наиме, уколико дође до пуцања транспортне траке, због немогућности одношења у производну халу да би се иста поправила, ова дизалица се користи како би се крајеви транспортне траке приближили један другоме ради поправке.



Слика 13. модел склопа ручне дизалице.

4.1 Употребе Part радног окружења на примеру вратила

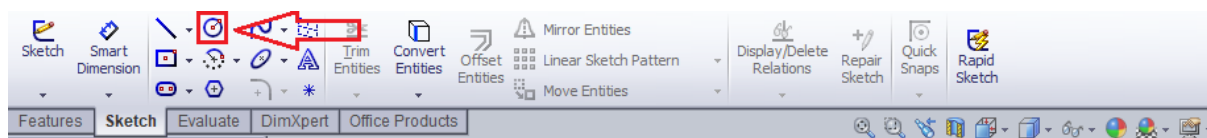
Као што је у поглављу 3.1 описано Part окружење је окружење које служи за креирање тродимензионалног модела. Модел на коме ће бити описана примена алата овог окружења јесте вратило које је израђено изједна са зупчаником. Да би се почело са било каквом израдом моделске форме, мора се почети од 2Д цртежа који се израђује у Sketch подокружењу. Приликом покретања Sketch toolbar-а (слика 14), на корисничком екрану се појављује координатни систем, тј пресек три равни (енгл. *Front Plane*, *Top Plane* и *Right Plane*).



Слика 14. Sketch toolbar са равнима

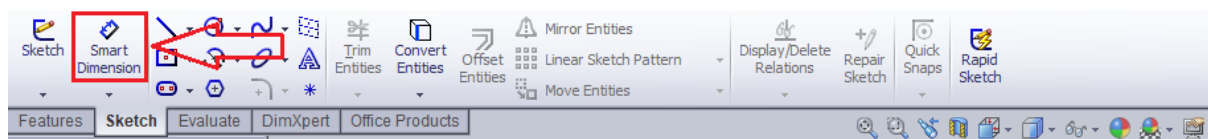
Кликом на једну од ових равни, бира се раван у којој се црта скица тј. основа будућег модела.

Након одабира равни почиње се са цртањем. Пошто се ради о претежно ваљкастом елементу, база за цртање вратила ће бити ваљак од којег се и почиње. Да би се ваљак направио у Sketch toolbar-у бира се команда за цртање кружнице (слика 15).

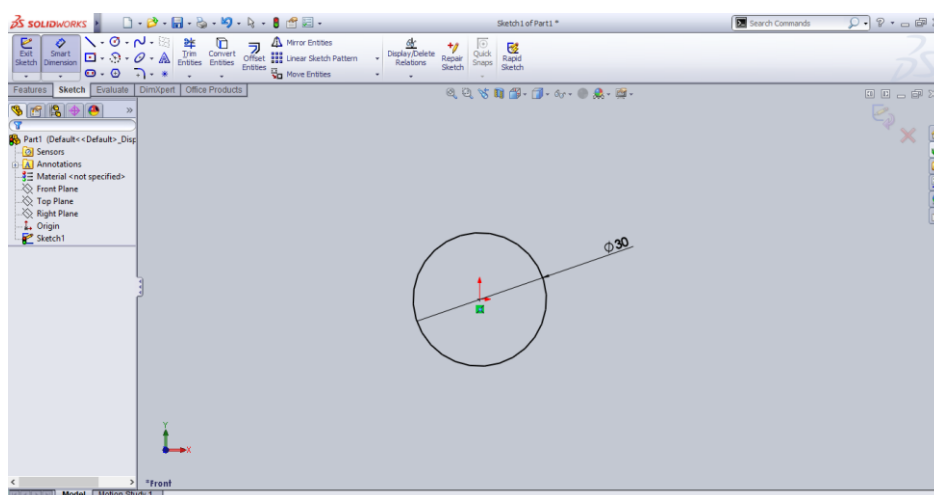


Слика 15. Алат за цртање кружнице

Након што је иста нацртана, одређују се димензије коришћењем команде за котирање Smart Dimension, слика 16 и тако је добијена котирана ктужница (слика 17).

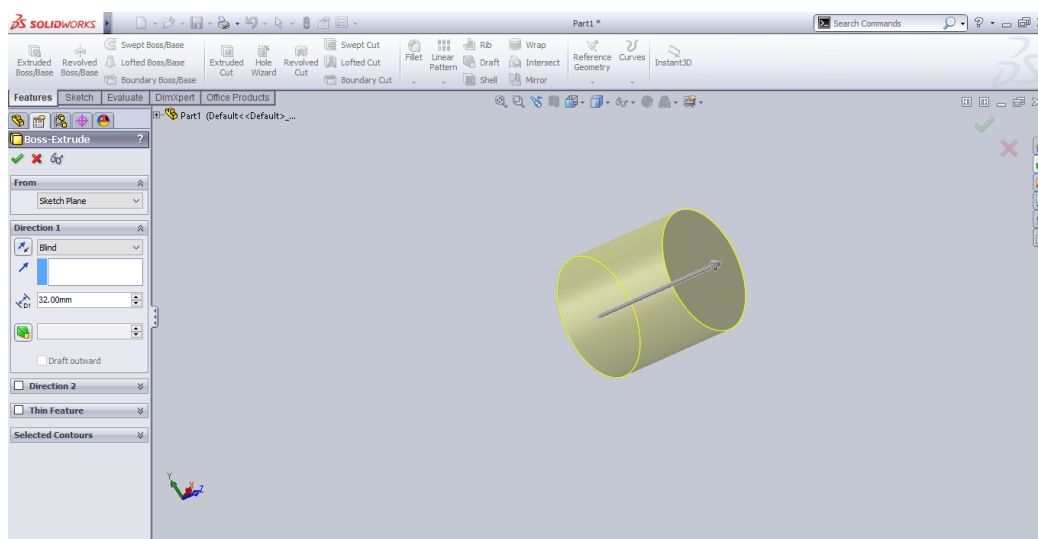


Слика 16. Smart dimensions



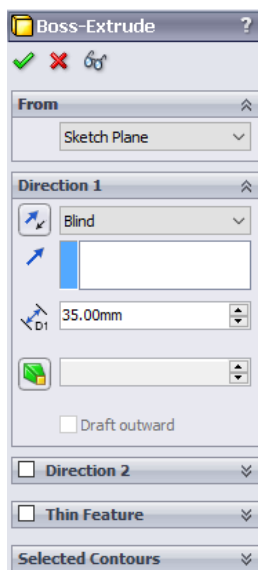
Слика 17. Кружница

Пошто је одрађена 2Д база ваљка из кога ће се добити вратило, улази се у подокружење Features у коме ће се помоћу коадне Extruded Boss/Base (слика 18) направити ваљак висине $H=32\text{mm}$.



Слика 18. Мени команде Extruded Boss/Base

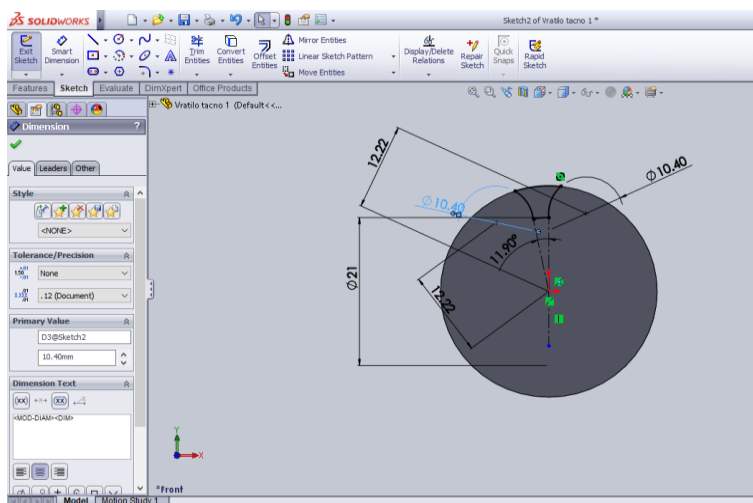
Са леве стране корисничког екрана се види Menu команде Extruded Boss/Base у коме се уноси кота за жељену дужину извученог дела (слика 19), али се налазе и команде које помажу кориснику да „Extrude“-ује скицу до неке већ постојаће равни, затим да ручно контролише висину до које се уздиже скица и слично.



Слика 19. Прозор команде Boss/Extrude

Solid Works 2013 Edition не подржава измене на стандардним деловима о којима ће бити речи у наредним поглављима тако да је део вратила које је уствари зупчаник морао је да се измоделира у Part окружењу.

Наиме, након што је ваљак урађен, следеће што се формира јесте зупчаник који је уједно и најкомпликованији део вратила. Да би се он направио прво се бира једна од база ваљка за раван на којој ће бити урађена скица зупца зупчаника. Како тема овог рада нису машински елементи у које спадају и зупчаници, прорачун зуба је прескочен већ су се мере зупца копирали са стандардног зупчаника и прецртане су на базу ваљка (слика 20).



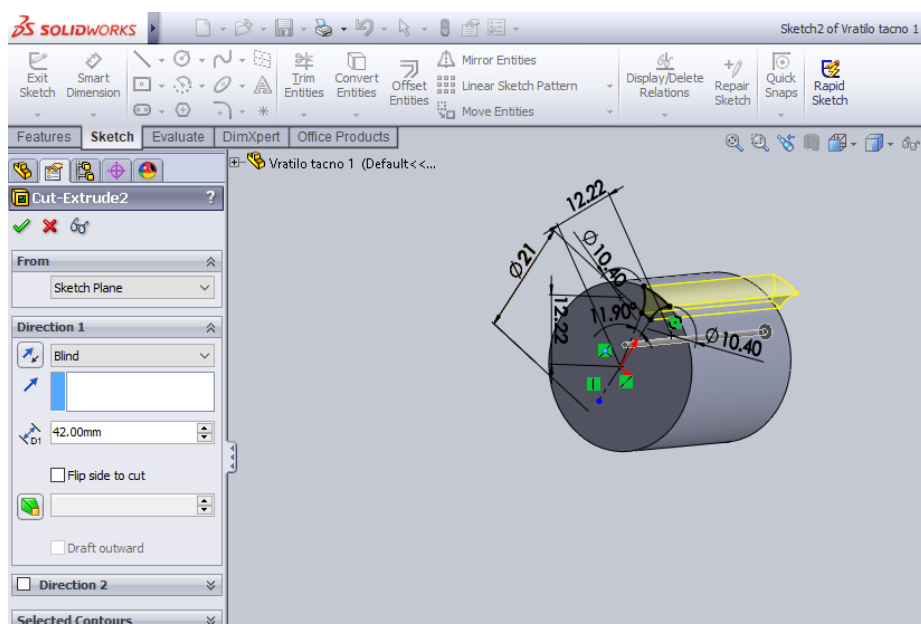
Слика 20. Скица зупца

Након уцртаних димензија, користи се команда Extruded Cut, Featurs радног окружења која се користи за "копање" материјала (слика 21).



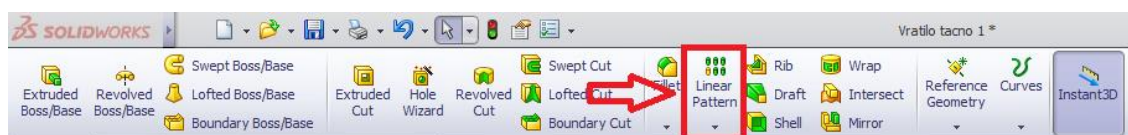
Слика 21. команда Extruded Cut

Користи се тако што се одабере скица на моделу који је претходно направљен и одреди се жељена дубина копања у моделу. Одређивање димензија и осталих параметара се врши у прозору који се отвара након клика на команду (Слика 22).



Слика 22. Прозор команде Cut Extrude са моделом које се обрађује

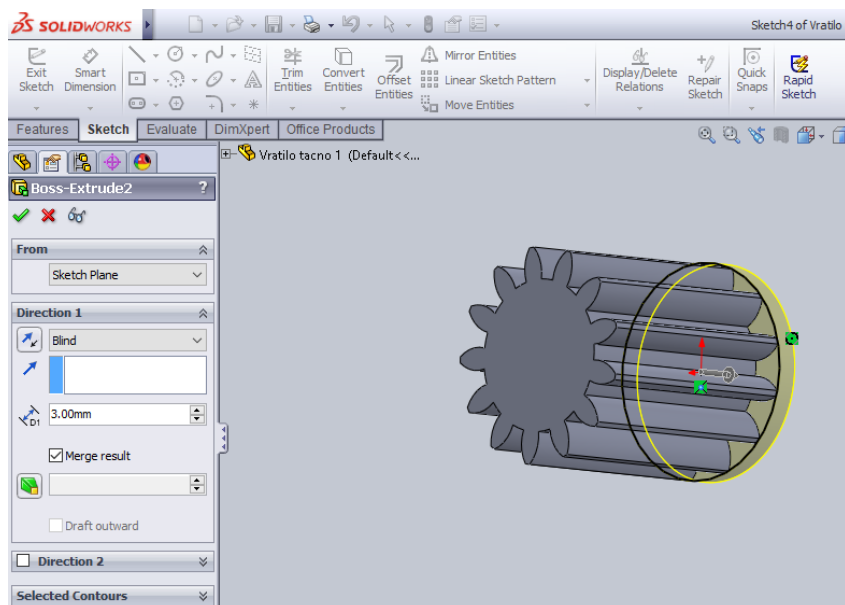
Након ископаног међузубља користи се команда подокружења Features-Linear тј. Circular Pattern која се налази у падајућем менију Pattern (Слика 23).



Слика 23. Linear-Circular Pattern

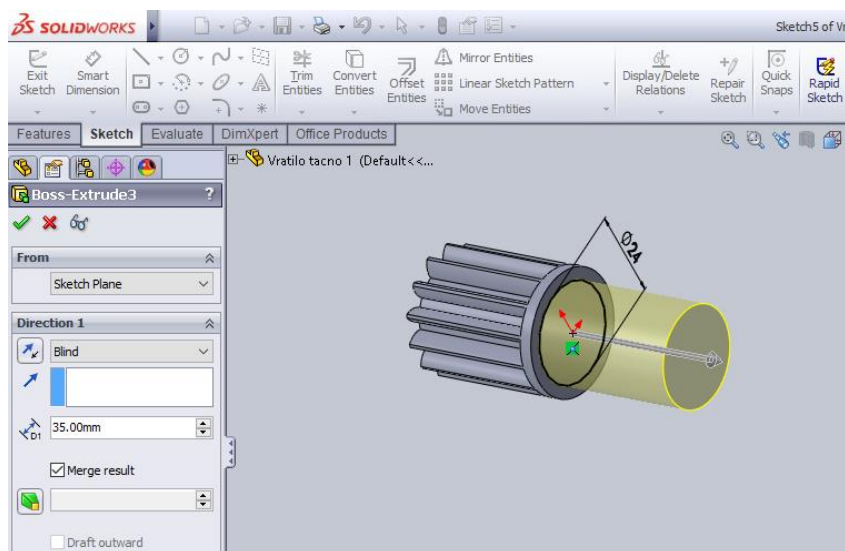
Команда Circular Pattern се користи за умножавање неког дела моделске форме или читавог модела по некој кружници, док се Linear Pattern користи такође за умножавање модела моделске форме, али дуж неке праве.

Пошто су урађене претходно поменуте операције, добијен је зупчаник (Слика 24) са 13 зубаца.



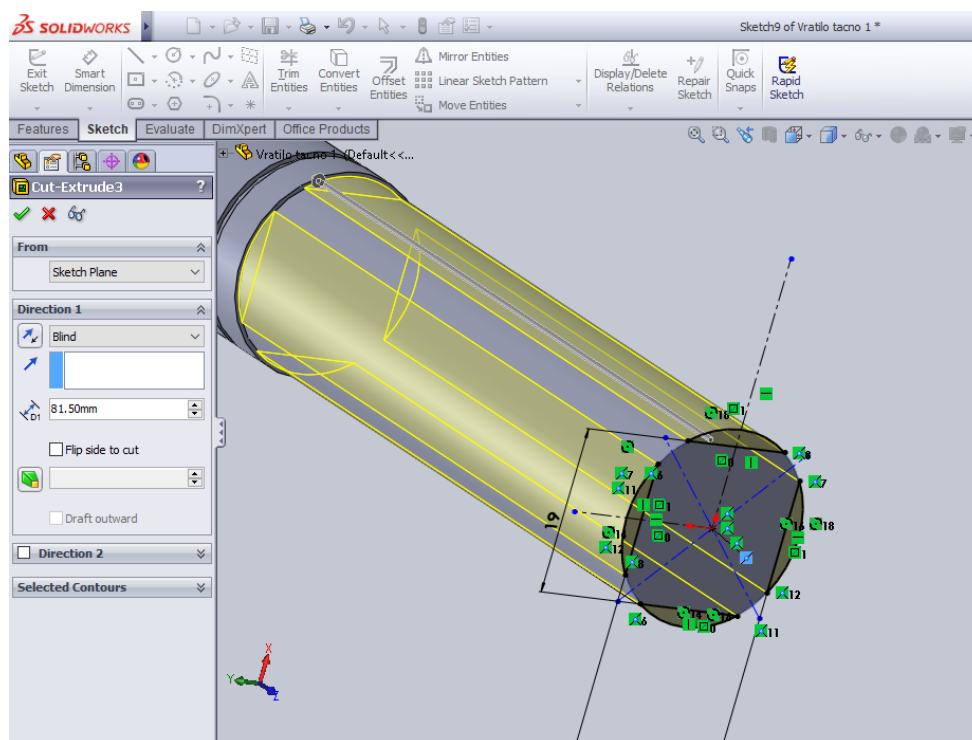
Слика 24. Зупчаник

Пошто је одрађен зупчаник, прелази се на једноставнији ваљкасти део вратила који се ради по принципу почетка израде зупчаника помоћу команди Extruded Boss/Base и добија се облик који почиње да личи на вратило (слика 25).



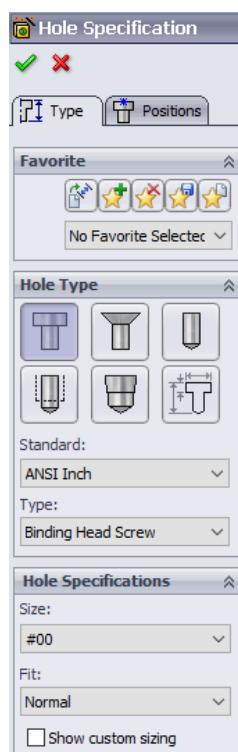
Слика 25. Наставак израде вратила

Вратило које се налази у овом склопу има и свој четвртасти део са заобљеним ивицама. Да би се он направио прво ће се направити још један ваљак помоћу Extruded Boss-Base команде, а затим ће се поново уз помоћ команде Extruded Cut скинути одсечци ваљка како би се добио облик квадра (слика 26).



Слика 26. Формирање облика квадра са заобљеним ивицама од ваљкастог облика

Следећа ствар која се ради пре обарања ивица и "улепшавања" модела јесте бушење отвора на равном крају вратила. Рупе и отвори се могу формирати командом Hole Wizard (слика 27). Разлог што се у овом елементу није користила ова команда је тај што овај отвор нема навој па је рађен командом Extruded Cut која је простија за коришћење. Команда Hole Wizard нуди формирање отвора и рупа са обореним ивицама, упуштеним ивицама у које се смешта глава завртња, са различитим типовима дна,... Могуће је дефинисати корак и дужину навоја као и наравно свих осталих димензија рупе тј. отвора.

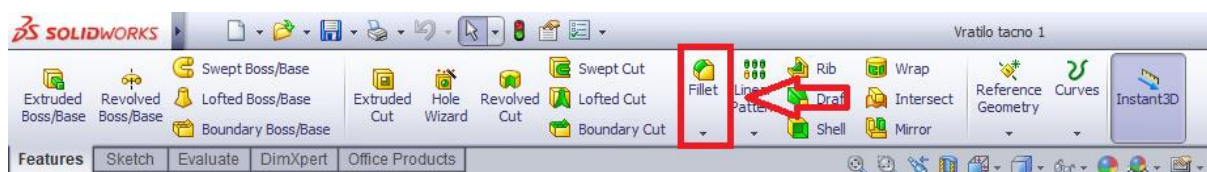


Слика 27. Команда Hole Wizard

Пошто су претходне операције одрађене добијено је вратило са grubим ивицама које још не одговара захтеваном производу.

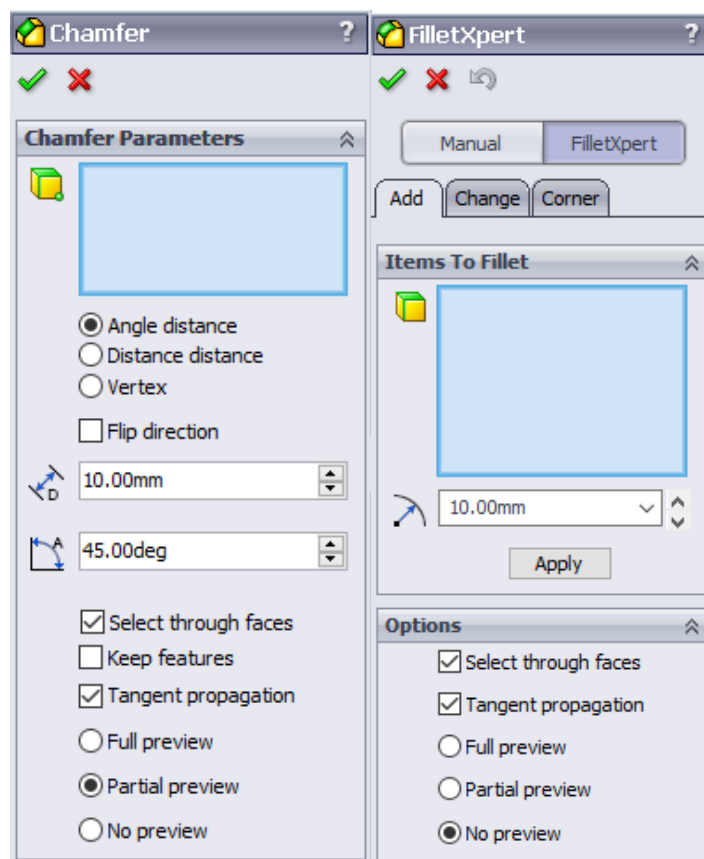
Последња ставка која се ради јесте обарање и заобљавање ивица вратила (слика 30). Ове операције се увек раде на самом крају моделирања неког производа из практичних разлога.

Команде за обарање и заобљавање ивица јесу Fillet и Chamfer (слика 28) и налазе се такође у Features окружењу.

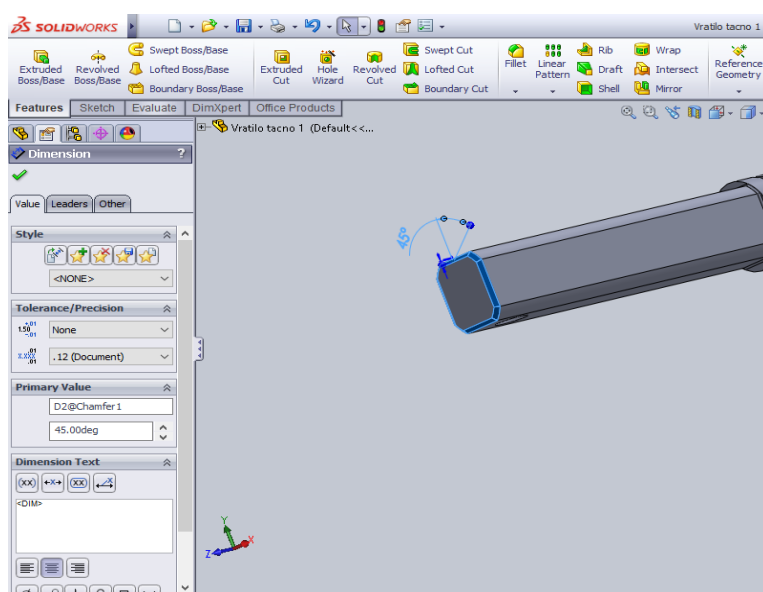


Слика 28. Fillet и Chamfer алати

Оба алата се користе тако што се након изабране ивице коју треба обрадити изабере и команда Fillet или Chamfer након које се отвара и прозор на коме се подешавају величине заобљења или хипотенузе троугла у зависности од избора алата (слика 29).

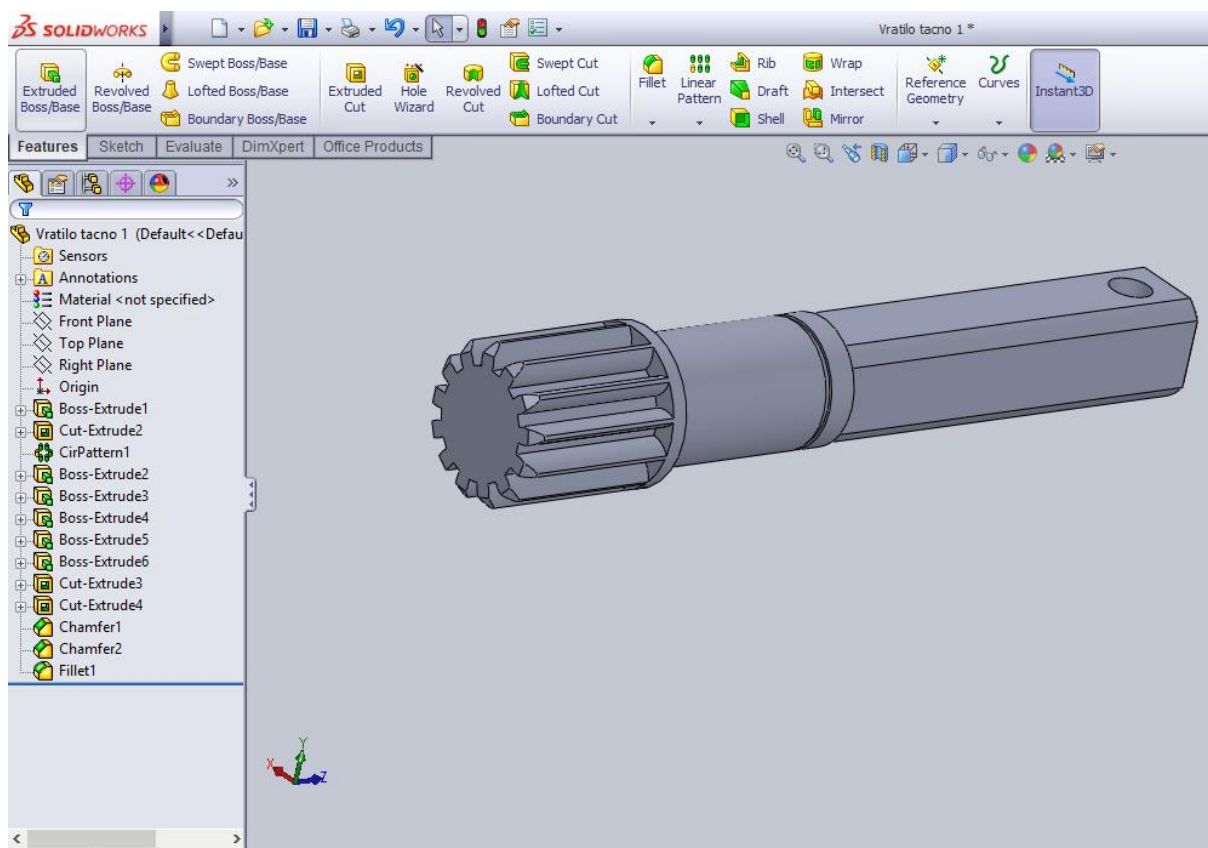


Слика 29. Командни прозори алата Chamfer и Fillet



Слика 30. Обрабање ивица Chamfer алатом

Коначно, након свих ових примењених алата добија се изглед вратила какав је захтеван од стране поручиоца производа (слика 31).

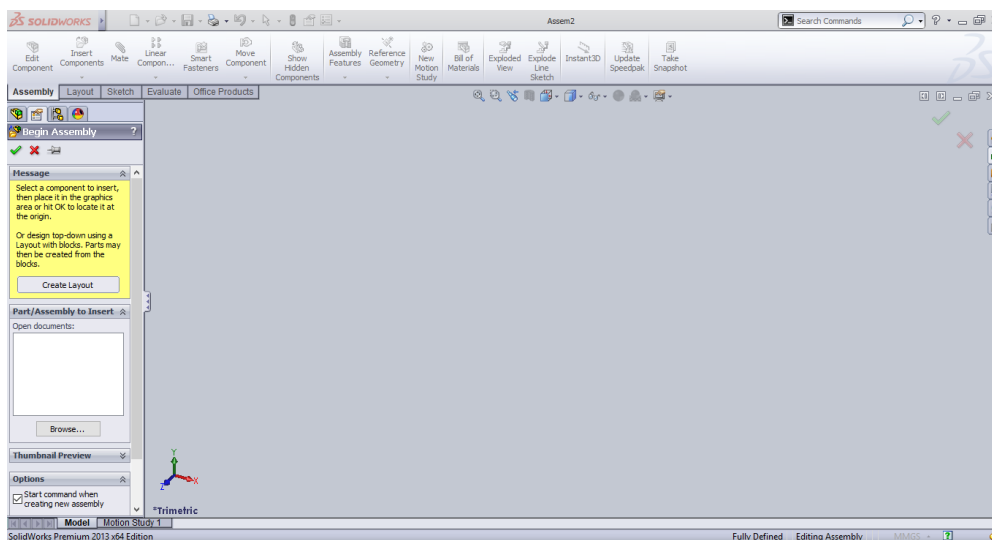


Слика 31. Готово вратило

Поред команди које су представљене у изради вратила, SolidWorks у Part окружењу поседује још команди које се користе при моделирању.

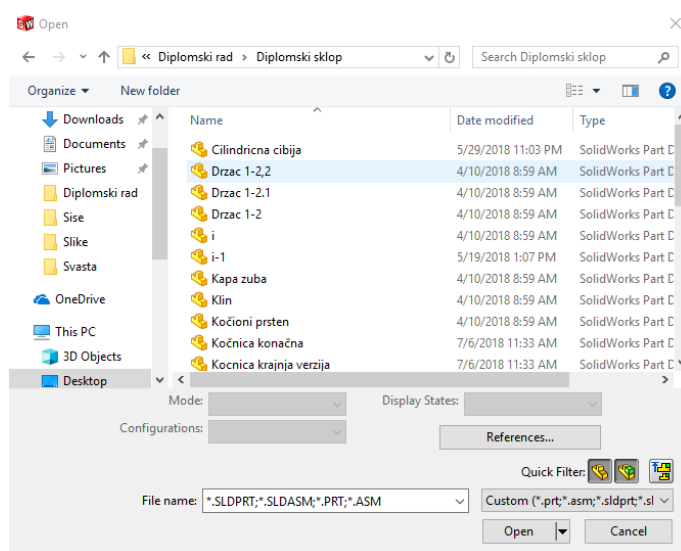
4.2 Употребе Assembly радног окружења

Assembly радно окружење јесте окружење које се претежно користи за формирање склопова и подсклопова неке конструкције. Само формирање склопа се заснива на увођењу ограничења делова једних у односу на друге. Приликом његовог активирања (које је описано у поглављу 3.2) аутоматски се отвара прозор команде Insert Components (слика 32) која служи за увожење готових делова који су пре тога оформљени у Part окружењу.



Слика 32. Assembly радно окружење са отвореним прозором команде Insert Components

Као што је речено команда Insert Components се користи за увожење делова. Кликом на дугме Browse отвара се прозор Open преко кога се може претражити сваки фолдер у рачунару и изабрати део који је потребан да се увезе (слика 33).

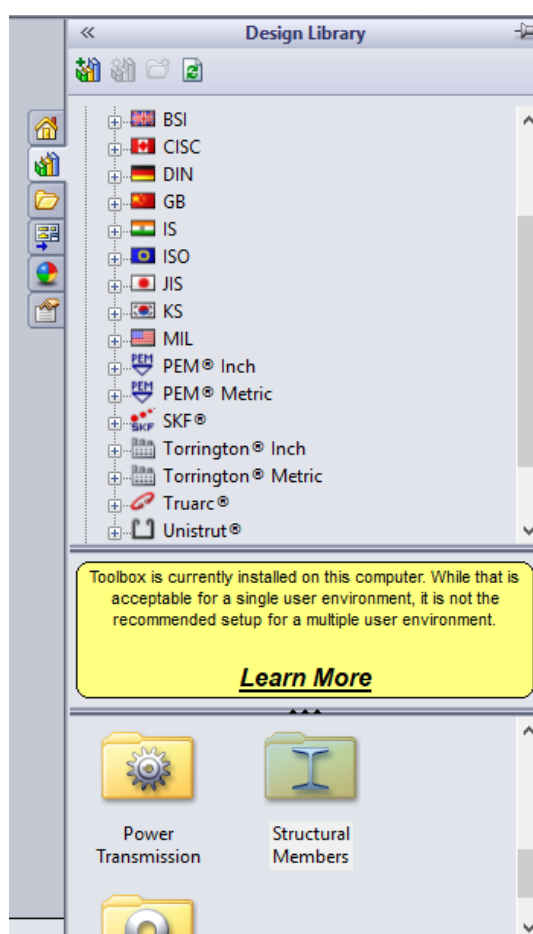


Слика 33. Прозор Open

Након одабира дела који треба да се унесе у ово радно окружење почињене се са формирањем склопа. Први увежени елемент у ово радно окружење бива фиксиран у простору као "главни" елемент. Уколико корисник не жели да му тај елемент буде главни он се командом *Float* ослобађа ограничења и омогућено му је померање по самом окружењу.

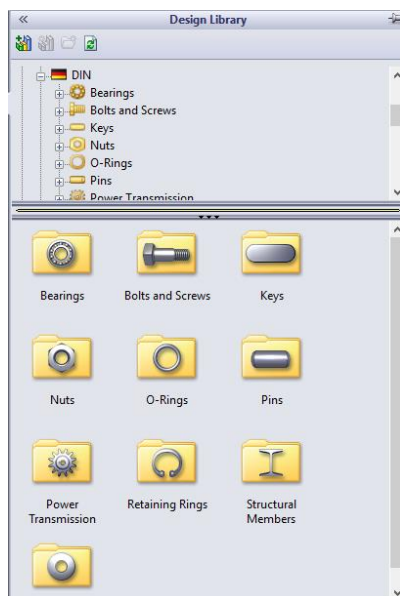
Елемент који се бира да буде главни тј. фиксирани елемент јесте поклопац 1 у који ће се монтирати лежаји, планетарни зупчasti преносник па вратило. Поклопац 1 у овом случају није фиксиран командом *Fix* већ је везан за координати систем тј. за пресеке три равни *Front Plane*, *Top Plane*, *Right Plane*. Након убацивања поклопца следећи елемент који се уноси јесте увежен из библиотеке стандардних елемената (енгл. *Design Library*). Наиме, у библиотеци стандардних елемената се налазе различити машински елементи: зупчаници, ланчаници, завртњеве, подлошке, зегерови прстенови и различити челични профили различитих стандарда (европског, немачког, америчког, јапанског руског итд.).

Прилоком бирања стандардног елемента прво је неопходно ући у библиотеку стандардних елемената (слика 34) која се налази са десне стране корисничког екрана. Након клика на библиотеку, отвара се прозор у коме се бира жељени стандард.



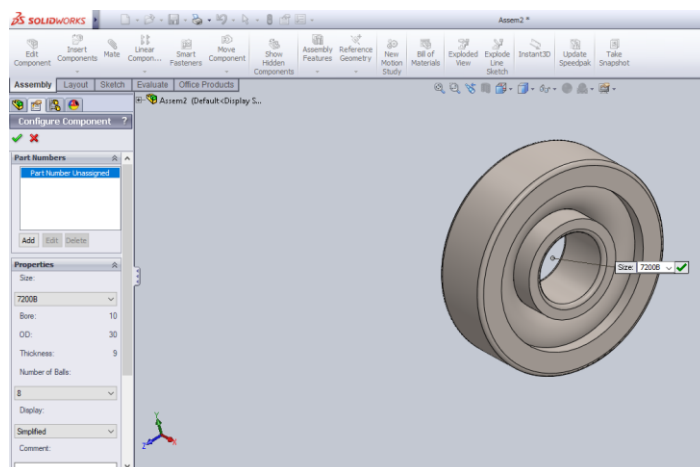
Слика 34. Библиотека стандардних елемената са избором стандарда

Пошто је стандард изабран (у случају израде ручне дизалице ради се о немачком DIN ³ стандарду који јесте и један од најорганизованијих стандарда на свету), бира се елемент који треба уградити у склоп, а бира се у прозору испод прозора за одабир стандарда (слика 35). Елемент који се увози јесте радијални куглични лежај типа DIN 625-16008.



Слика 35. Библиотека стандардних елемената

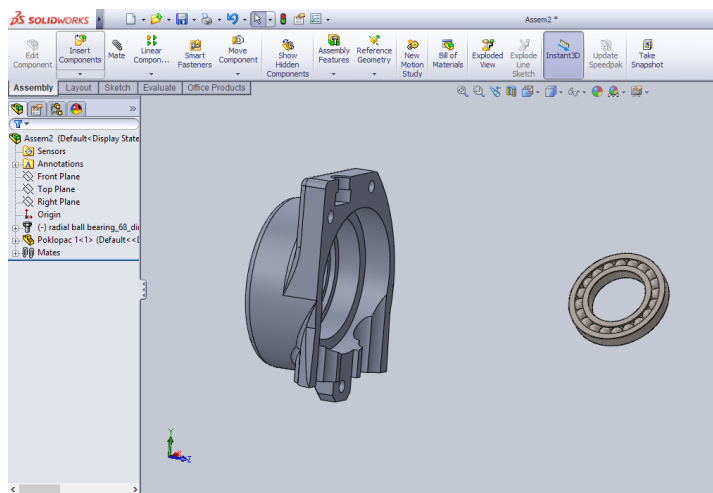
Тип машинског елемента који се увози бира се дуплим кликом на назначени фолдер са тим елементима. Пошто је изабран тип елемента у овом случају лежај, одређују се и његове димензије у прозору који се сам отвара са леве стране екрана (слика 36).



Слика 36. Одређивање димензија лежаја

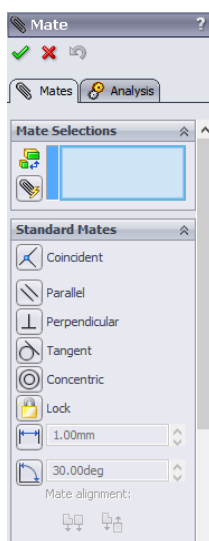
³ DIN (нем. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.) је немачки национални завод за стандардизацију и представник Немачке у европским и интернационалним организацијама за стандардизацију

Након увожења стандардног елемента из библиотеке стандардних елемената, а пре тога уношења и поклопаца који је изабран за "главни" тј. фиксирани елемент, на реду је одређивање положаја једног у односу на други део. Другим речима, почиње се са формирањем склопа. Пре него што се дефинише положај лежаја, он се налази у простору око фиксираног поклопца (слика 37) и могуће га је померати у простору у свим правцима и смеровима.



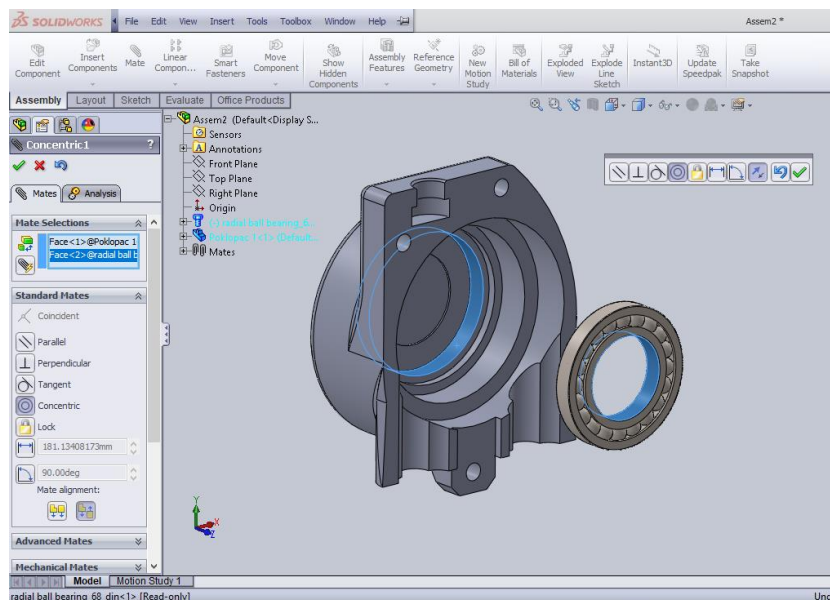
Слика 37. Поклопац и лежај у простору

Следеће што је на реду јесте одређивање положаја лежаја у односу на поклопац. Коришћењем команде Mate (слика 38) може се одредити однос у простору између два тела, наиме тела могу да се додирују својим површинама, да неке од површина два тела буду паралелна на некој удаљености, да се уколико се ради о облим и закривљеним површима оне тангирају, да буду нормалне једна на другу или концентричне уколико су у питању кружни облици.



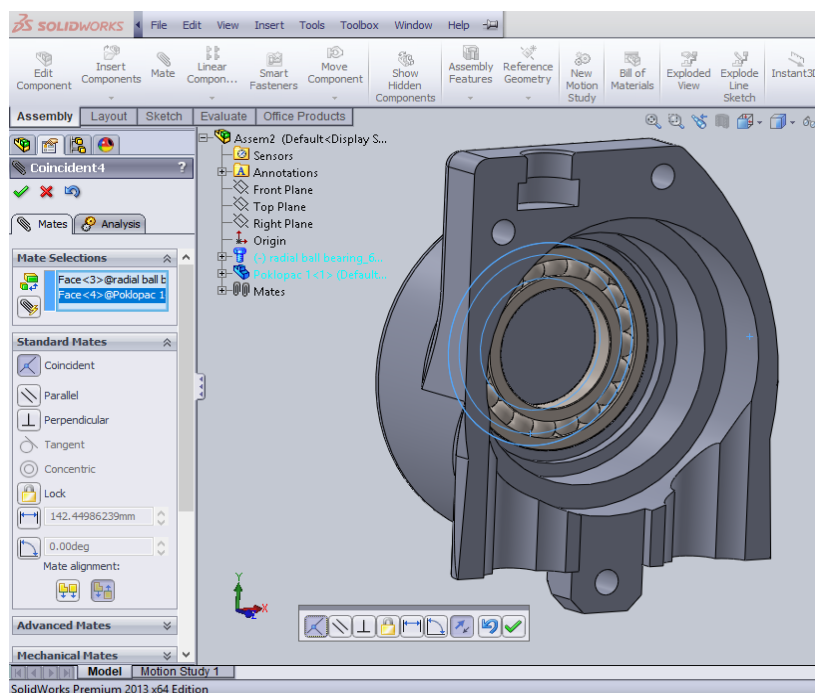
Слика 38. Команда Mate

Прво што ће се урадити јесте фиксирање лежаја тако да буде концентричан са рупом у коју он треба да се монтира, кликом на команду Mate па на било коју од ваљкастих површина рупе и лежаја (слика 39).



Слика 39. Фиксирање лежаја командом Mate-Concentric у односу на рупу у поклопцу

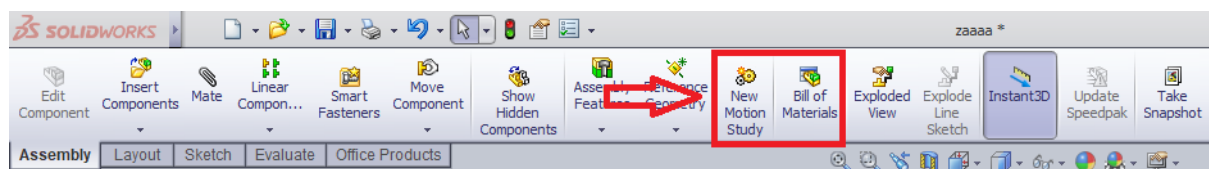
Први део одређивања положаја лежаја је завршен. Сада следи његово постављање унутар поклопца, што ће се поново урадити командом Mate, само овог пута поткомандом Coincident која се користи за "спајање" делова површином за површину (слика 40) једноставним кликом једне па друге површине.



Слика 40. Фиксирање лежаја командом Mate-Coincident са површином на којој лежи лежај

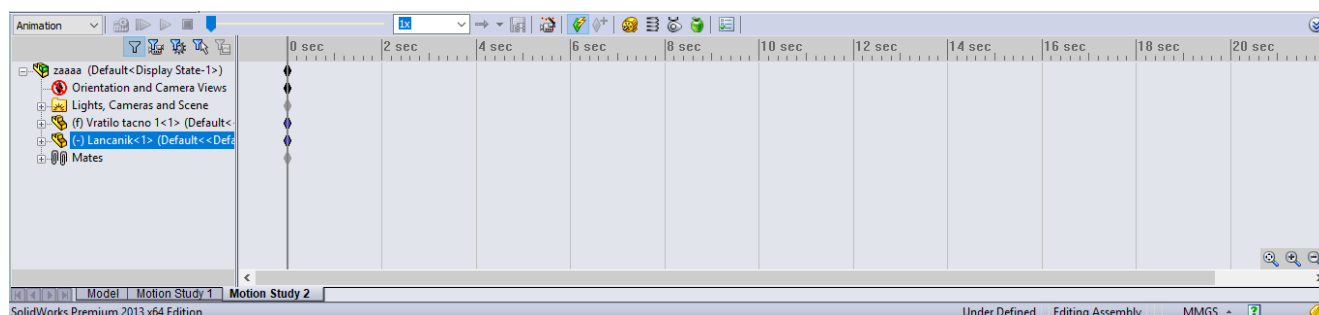
Формирање склопа од већ моделираних делова је у суштини лакши део посла јер се за сваки комад колико год компликован био користе исте команде у Assembly радном окружењу.

Поред основне функције коју поседује Assembly окружење, Assembly такође садржи и функције које се користе за испитивање кретања међусобно повезаних елемената склопа тј. команда Motion Study, као и команду за дефинисање саставнице и команду Bill of Materials. Обе команде се налазе на радној палети Assembly окружења (слика 41).



Слика 41. Палета Assembly окружења са командама Motion Study и Bill of Materials

Команда Motion Study јесте како је речено команда за одређивање и испитивање кретања неког елемента у склопу. Притиском на икону команде отвара се прозор у коме се може дефинисати и испитати кретање, а такође и приказати график кретања (слика 42). За дефинисање кретања узети су елементи склопа дизалице тј. вратило и ланчаник који око њега ротира.



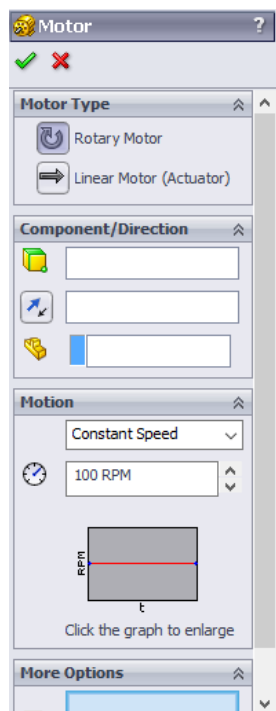
Слика 42. Прозор команде Motion Study

Да би се дефинисало кретање тела, потребно је дефинисати смер кретања, брзину, начин кретања. Ове дефинисаности се врше преко команде Motor (слика 43).



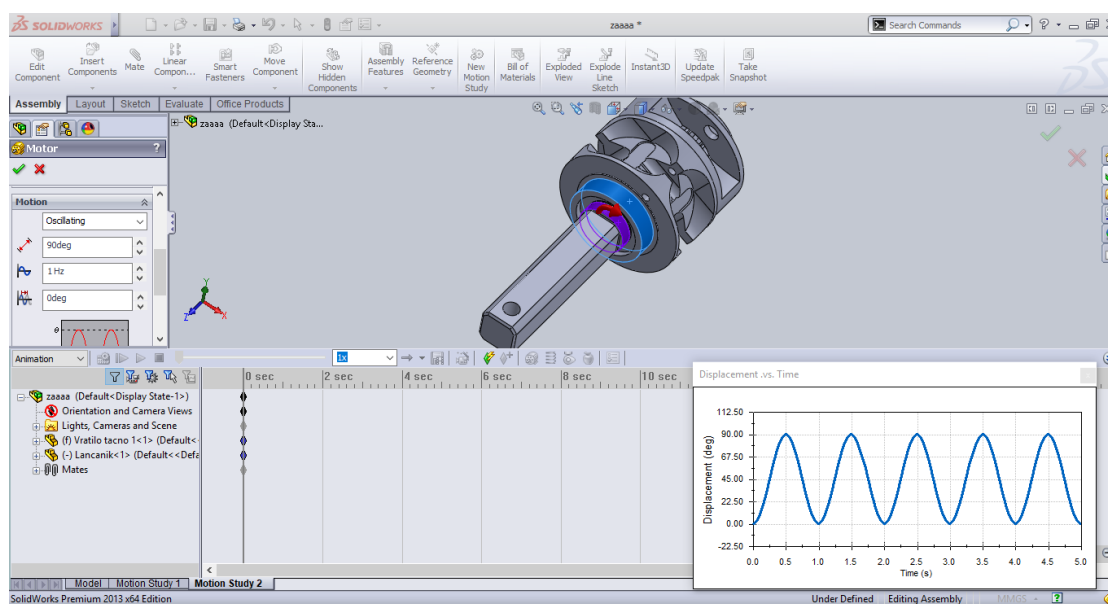
Слика 43. Команда Motor

Кликом на команду Motor отвара се прозор са леве стране корисничког екрана (слика 44) у коме се дефинишу елемент који се креће и тип кретања. У овом случају тип кретања је ротација и њу врши ланчаник око вратила. Дефинише се и брзина ротације.



Слика 44. Прозор команде Motor

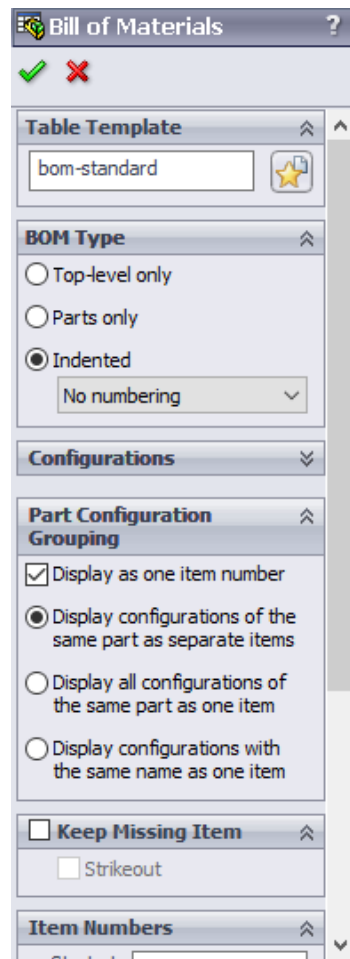
Пошто је подешен начин кретања, кликом на команду Play ће елементи склопа почети да се крећу по дефинисаном закону, и на већ поменутом прозору команде Motion ће се појавити график закона кретања (слика 40).



Слика 40. Дефинисање закона кретања са графиком законом кретања

Команда Bill of Materials јесте команда која се користи за формирање саставнице и попуњавање исте информацијама, које карактеришу дати склоп или елемент склопа.

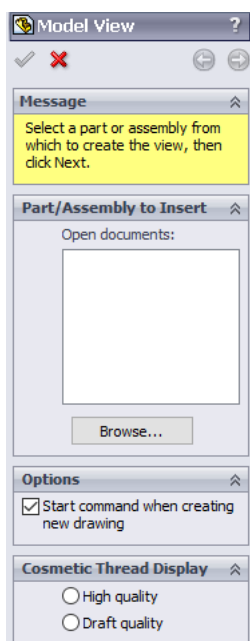
Њеним активирањем отвара се прозор са леве стране корисничког екрана у коме је могуће подесити саставницу онако како кориснику одговара (слика 41).



Слика 41. Прозор команде Bill of Materials

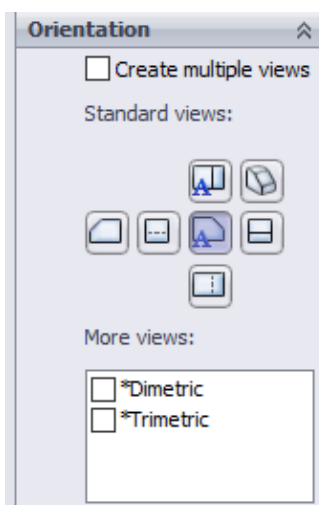
4.3 Употреба Drawing радног окружења

Као што је поменуто у поглављу 3.4 Drawing радно окружење јесте тип окружења који се користи за формирање техничке документације. Приликом покретања окружења, активира се команда Model View тј. отвара се прозор исте (слика 42) која се користи за одабир елемента или склопа који се желе приказати кроз технички цртеж.



Слика 42. прозор команде Model View

Кликом на дугме Browse отвара се прозор помоћу којег се може претражити и одабрати елемент, склоп или подсклоп који се жели унети у оружење. Након одабира елемента у прозору Model View отвара се мали прозор – команда Orientation који се користи за одабир пројекције (слика 43).



Слика 43. Прозор команде Orientation

Елемент склопа на коме ће бити приказано коришћење Drawing окружења јесте кочница. При увожењу исте изабрано је да главни поглед буде са бочне стране кочнице ради бољег приказа пуног пресека исте о чему ће бити речи у даљем тексту.

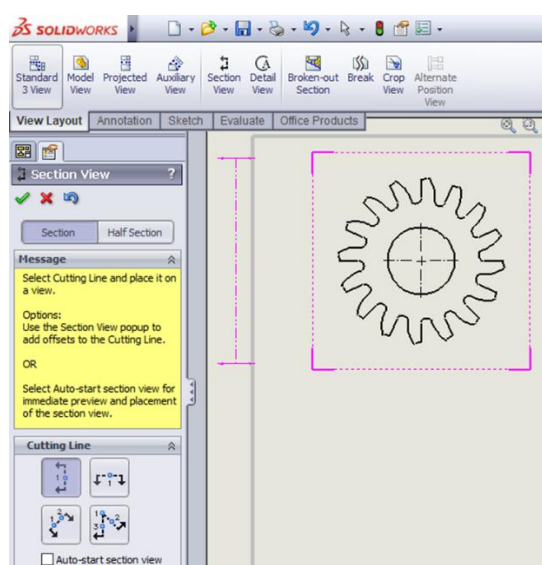
Drawing радно окружење поседује пуно различитих команди које су потребне инжењеру за детаљну израду техничке документације која је потребна за даљу реализацију производа. Најбитнија подела овог окружења јесте на две групе команди, једна је View Layout а друга Annotation. Свака од ових група има свој Toolbar са различитим могућностима које пружа. Прва група команди View Layout (слика 44) се користи за генерисање пројекција.



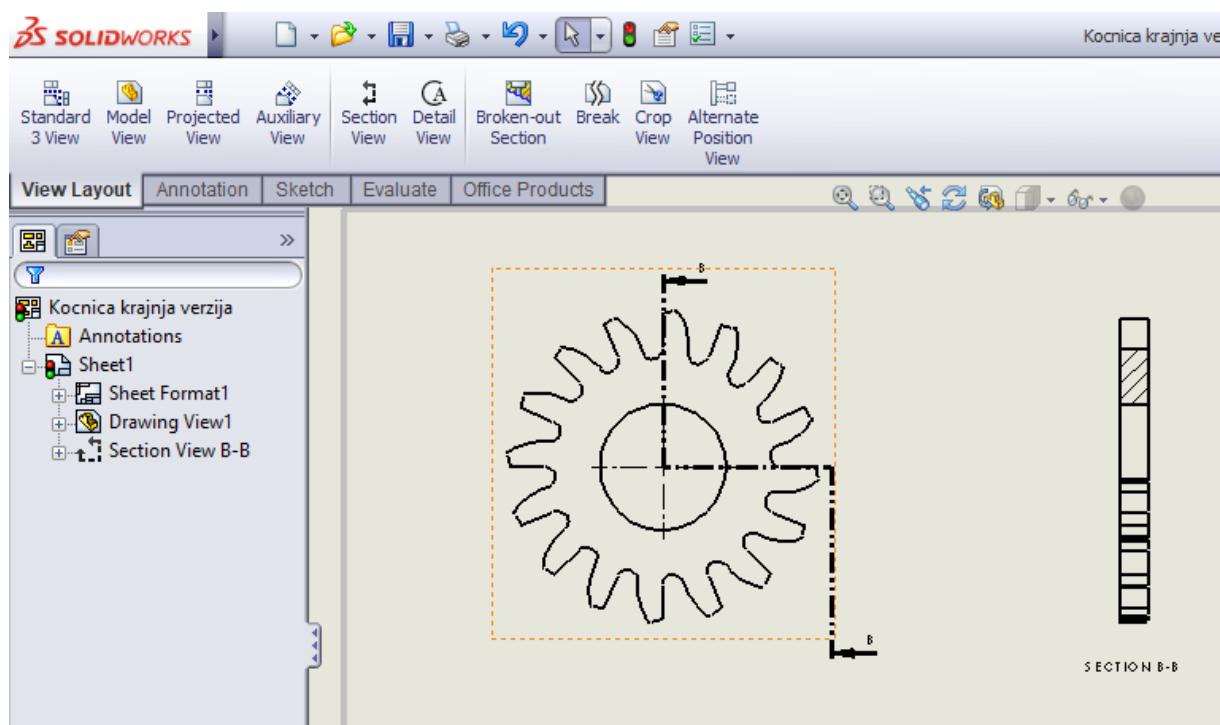
Слика 44. Tollbar окружења View Layout

Прва у низу команди је Standard 3 View која се користи за аутоматско формирање пројекција увеженог модела, затим Model View који ради по истом принципу као претходно поменута команда с' тим што се користи за формирање изометријског погледа. Projected View се користи за формирање пројекција и Auxiliary View који се користи за постављање погледа у односу на ивицу "нацртаног" модела.

У дугом делу овог Tool Bar-а се налазе две команде. Једна је Section View, а друга Detail View. Прва команда се користи за формирање пуног пресека или полупресека. Кликом на команду отвара се прозор у коме се бира какав пресек се жели направити као и правац пресека. На корисничком екрану корисник бира где жели да направи пресек (слика 45). Након употребе команде добија се жељени пресек (слика 46).

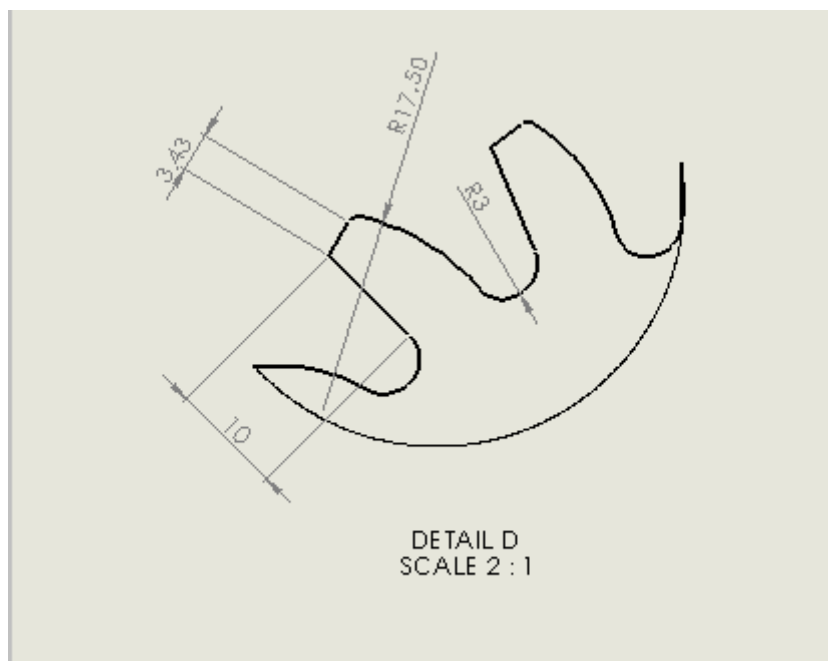


Слика 45. Прозор команде Section View са кочницом чији се пресек ради



Слика 46. Пресек извршен командом Section View

Команда Detail View се користи за приказ ситних детаља на цртежу. Део који се жели приказати издваја се и повећава се у одговарајућој размери и на том исечку се могу применити све команде као и у остатаку техничког цртежа (слика 47).



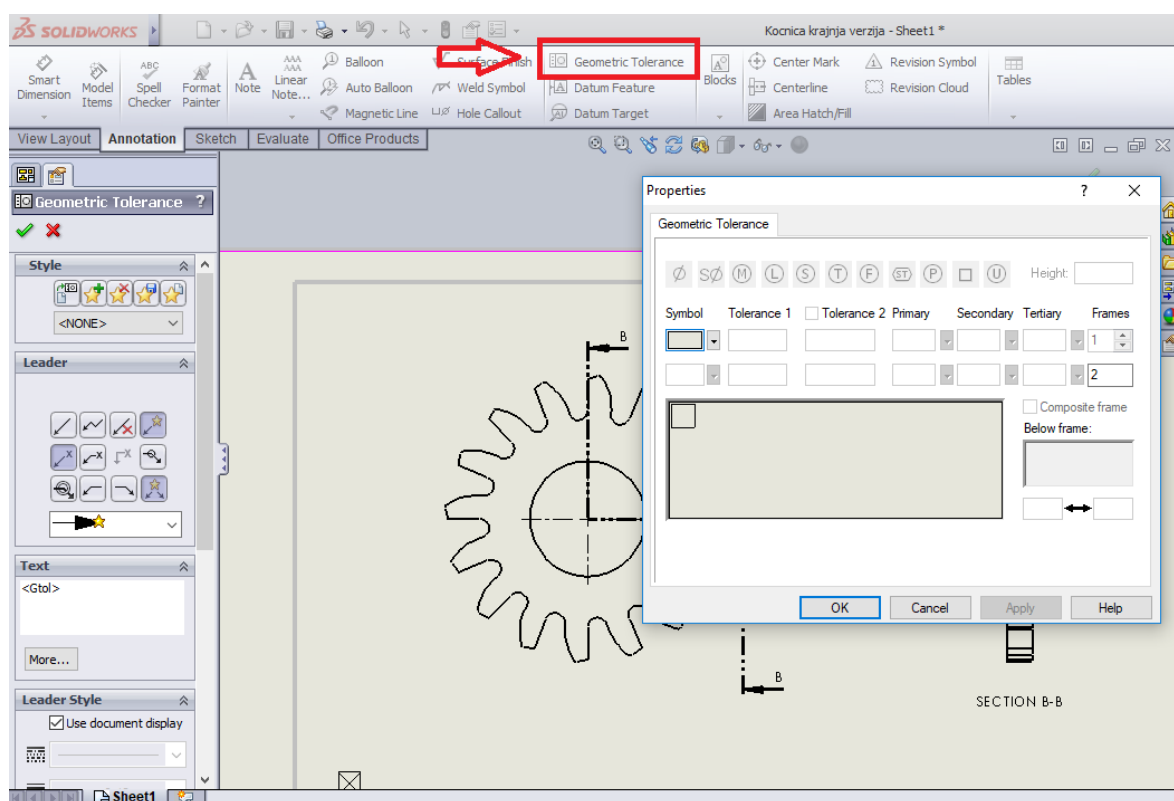
Слика 47. Примена команде Detail View

Друга група команди спада у подокружење Annotation које служи за само котирање цртежа. Toolbar овог подокружења (слика 47) садржи команде које испуњавају све захтеве које задају међународни цртачки стандарди. На првом месту команди јесте Smart Dimension која се јавља и у другим окружењима и која се и овде користи за котирање у случају овог окружења цртежа, затим Model Items која се користи за аутоматско котирање.



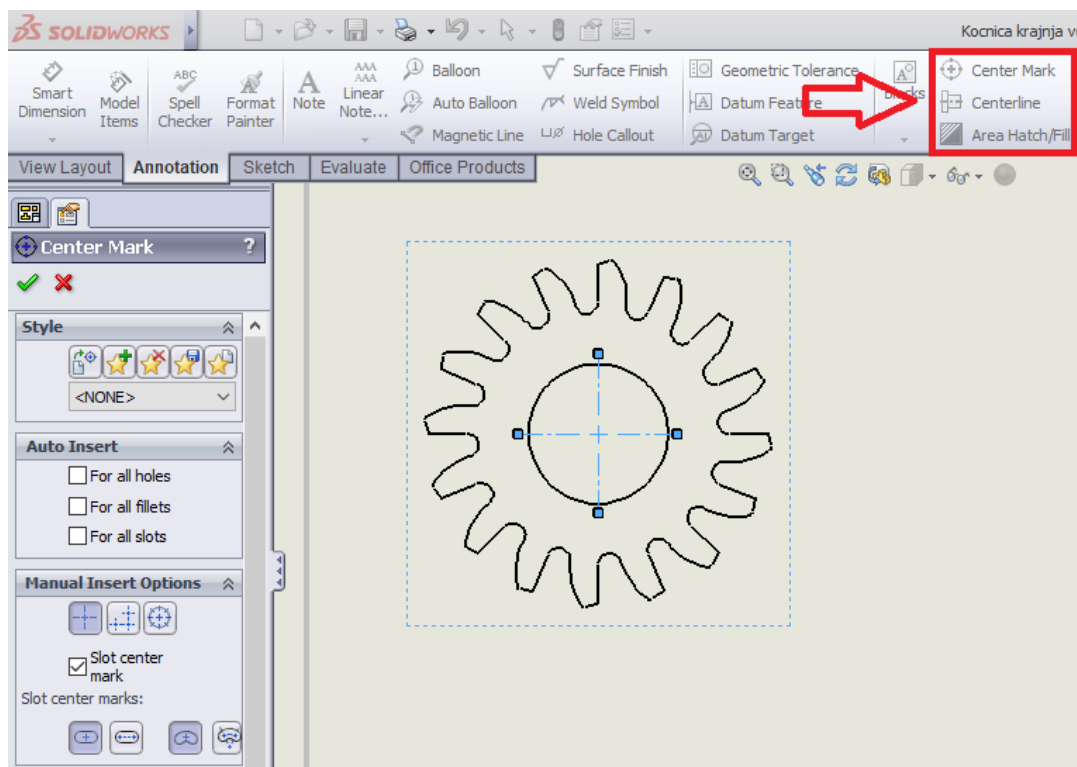
Слика 47. Toolbar подкоманде Annotation

Постоји више команди које се користе за подешавање текста, затим различита означавања помоћу "балона"-команда Balloon, команде за означавање храпавости и друге. Издваја се команда Geometric Tolerance (слика 48) која као што јој име каже служи за означавање толеранција облика и положаја обрађеног производа.



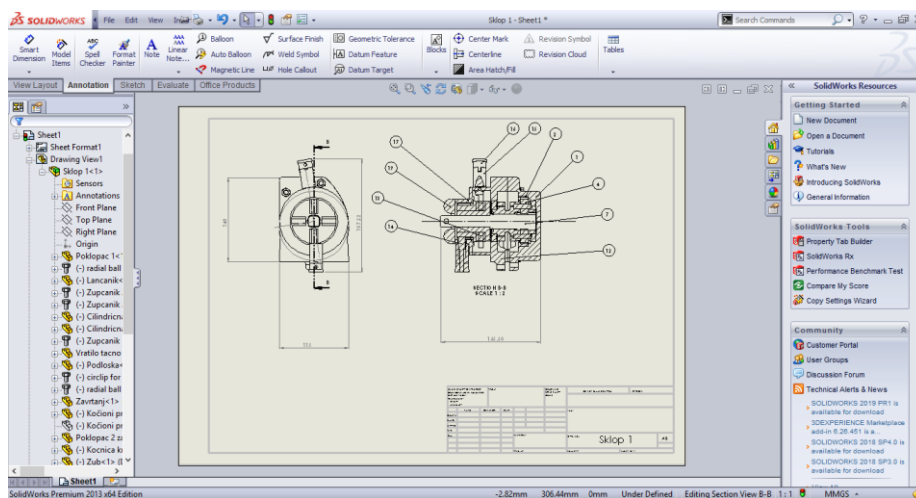
Слика 48. Команда Geometric Tolerance

Две веома значајне команде јесу Center Mark и Centerline које се користе за постављање осних линија и центара кружница. Активирају се једноставним кликом на ознаку команде и селектовањем симетричних линија попречног пресека односно у случају Center Mark команде селектовањем кружнице (слика 49).



Слика 49. Команде Center Mark и Centerline са својим командним прозорима

Последња команда која је веома значајна за ово окружење јесте команда за шрафирање Area Hatch/Fill, као и претходно поменуте команде. Употреба јој је лака. Кликном на икону команде па селектовањем ивица површи која се жели шрафирати, добија се шрафура пресека. На слици 50. приказан је склопни цртеж са габаритним димензијама и пуним пресеком ручне дизалице.

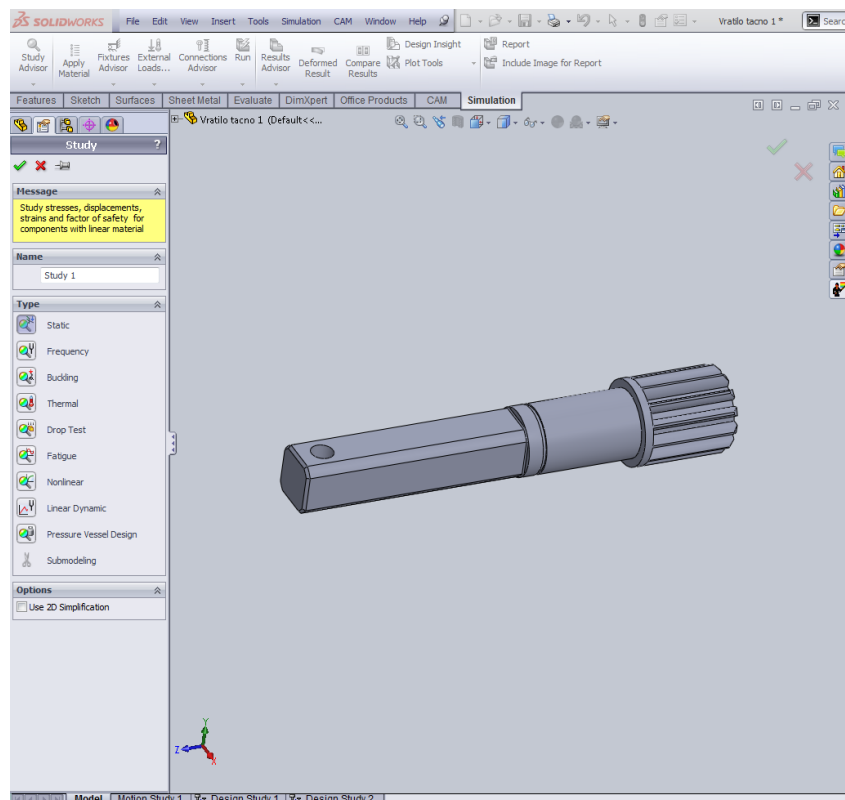


Слика 50. Склопни цртеж дизалице

4.4 Употреба Solid Works Simulation окружења

Solid Works Simulation окружење јесте тип окружења које се користи за испитивање понашања склопова и елемената склопова под дејством различитих оптерећења. Сваки програмски пакет овог типа поседује исте или сличне опције помоћу којих се методом коначних елемената врши теоријски експеримент над оптерећеним деловима.

Solid Works Simulation се активира у прозору Add-Ins. Након активирања команде New Study у оквиру овог подокружења, отвара се прозор команде (слика 51) у коме се бира тип оптерећења којим се оптерећује производ. Елемент који се анализира јесте вратило.

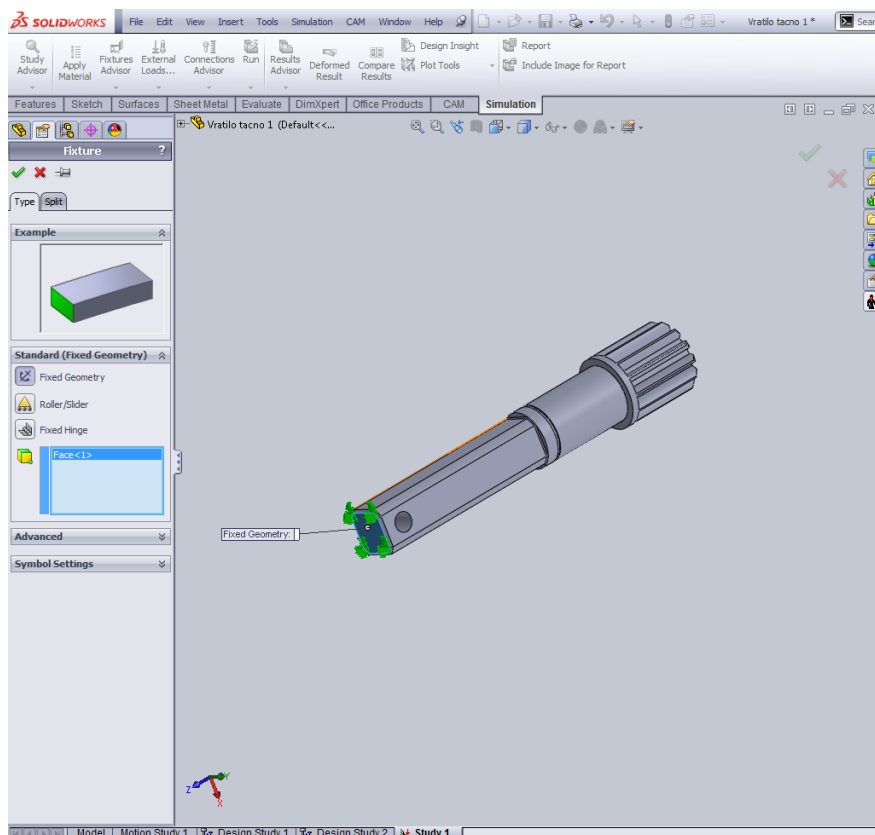


Слика 51. Прозор команде Study

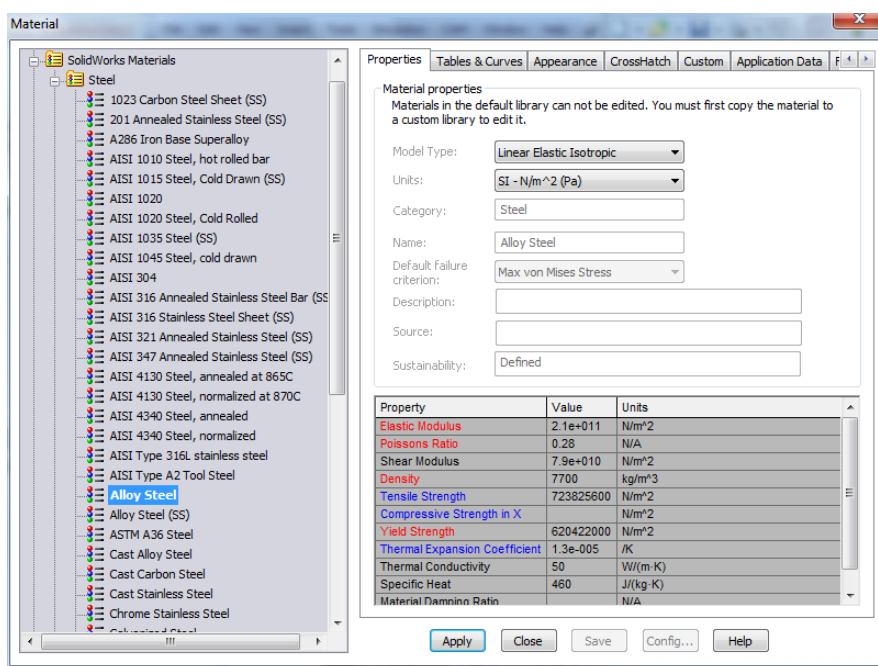
У случају овог вратила, за тип спољашњег оптерећења се бира момент увијања који ће увијати вратило по његовој оси. Осим торзионог момента, оптерећења која могу да се дефинишу су сила (*Force*), притисак (*Pressure*), гравитација (*Gravity*), центрифугална сила (*Centrifugal force*).

Пошто је тип оптерећења одабран, потребно је фиксирати увежену моделску форму командом Fixed Geometry (слика 52). Типови ограничења која се примењују су: Fixed Geometry (крут ослонац која не дозвољава померање ни у једном парвцу), Roler/Slider (нема померања у правцу нормалном на раван), Fixed Hinge (користи се само за цилиндричне површине и дозвољава само ротацију око сопствене осе), Elastic Suport (дефинише еластичне везе између површина) и друге. Након фиксирања модела потребно је изабрати материјал од којег је израђено вратило (слика 53).

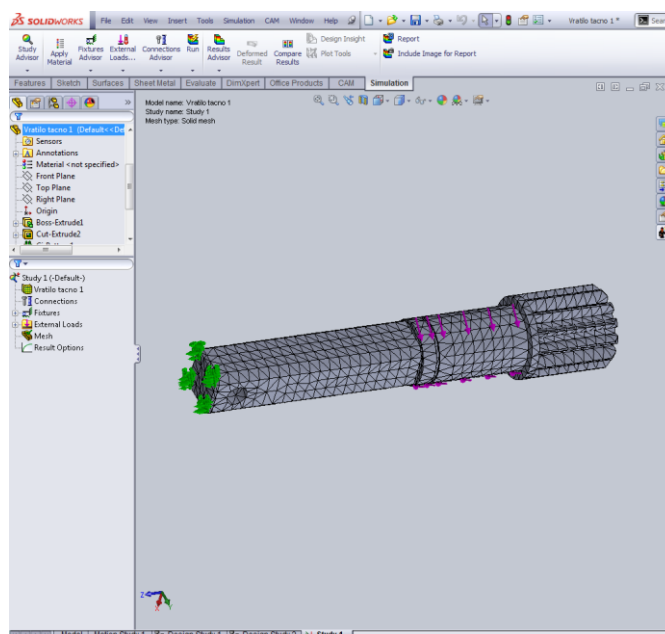
Затим се генерише мрежа коначних елемената којом је вратило подељено на велики број ситних делова помоћу којих програм испитује оптерећење на свакоме делићу вратила (слика 54).



Слика 52. Фиксирање производа

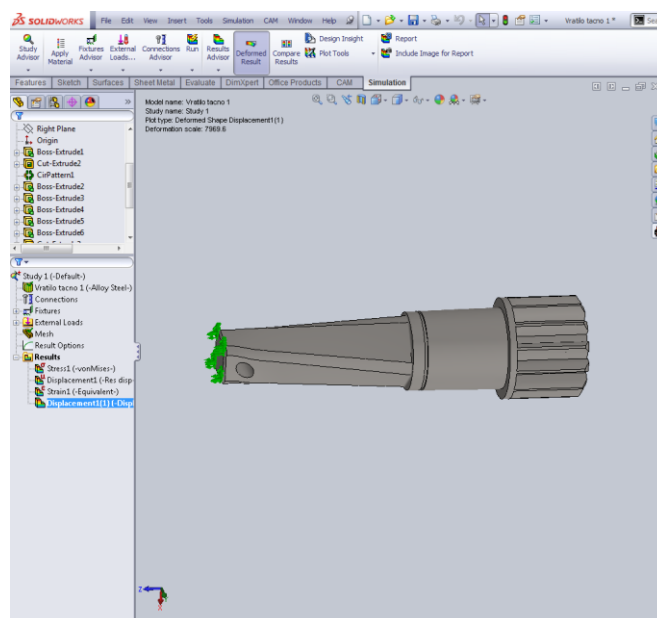


Слика 53. Дефинисање материјала од којег је израђено вратило



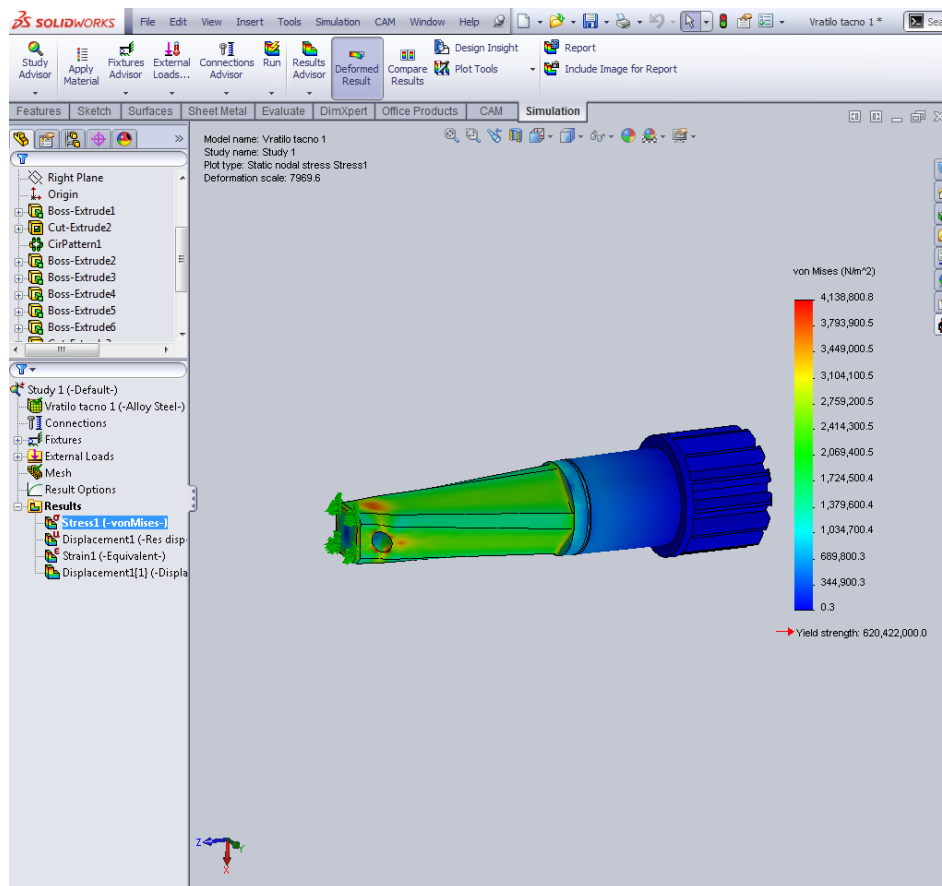
Слика 54. Генерисање мреже коначних елемената

Пошто су дефинисана ограничења, оптерећења, мрежа коначних елемената и изабран материјал, командом Run се покреће симулација која за резултат даје напоне, деформације, померања,... (Слика 55). Ради бољег приказа могућности саме симулације, постављена су велика оптерећења која ће засигурно деформисати вратило.



Слика 55. Визуелни приказ деформација

Solid Works Simulation има могућност визуелног приказивања резултата оптерећења помоћу боја, тако да црвена боја представља зоне највећих напона, а плава боја приказује зоне које су минимално оптерећене (слика 56).



Слика 56. Визуелни приказ напонског стања

Резултати који се приказују могу бити померања, Вон Мизесови напони, степен сигурности, деформације, главни напони итд.

4.5 Машинирање

Када се заврши развој конструкције појединачних делова и склопова производа, у смислу детаљне израде, анализе и оптимизације геометрије и физичких особина, приступа се њиховој изради. Другим речима, потребно је дефинисати процес трансформације од апстрактне (електронске) форме модела ка физичкој форми готовог производа, [4].

HSMXpress софтвер се попут Solid Works Simulation-а активира преко команде Add-Ins. Користи се за формирање кодова за CNC машине, у овом случају глодалицу типа Roland modela MDX-40A (слика 57).

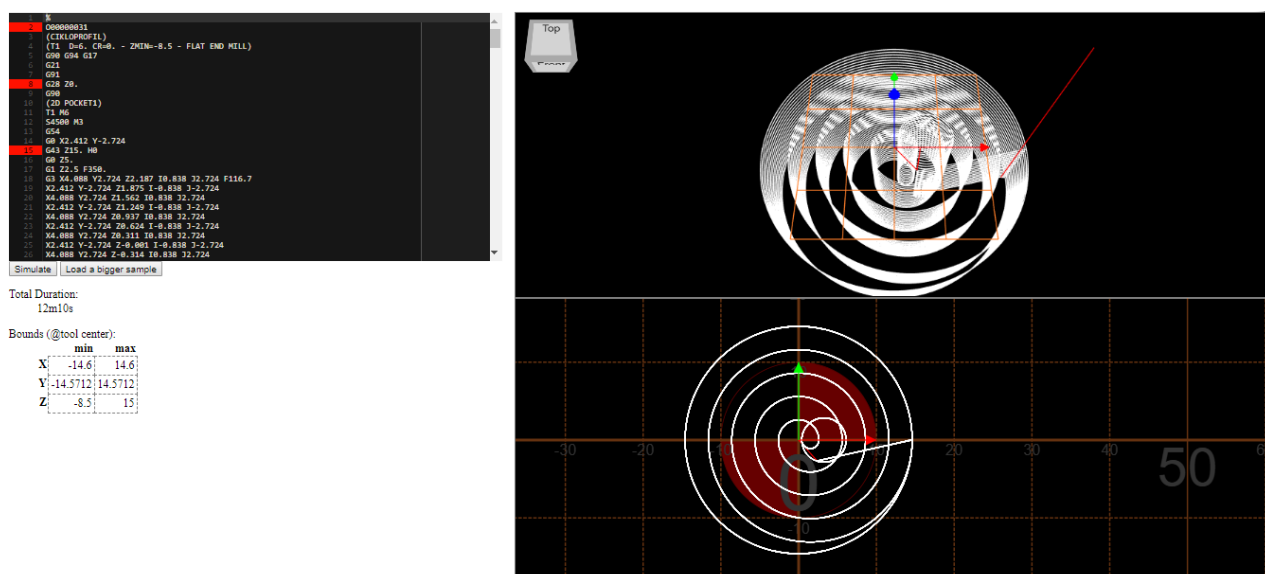


Слика 57. Глодалица марке Roland модел Modela MDX-40A, [5]

Елемент склопа који је направљен јесте скакавац кочница (слика 58). За припремак употребљена је полиетиленска плочица пречника 100mm и висине 12mm. За обраду припремка било је потребно више пролаза који су сачувани у облику кода (слика 59).



Слика 58. Скакавац кочница



Слика 59. Код обраде глодалице [6]

5. Закључак

Примена CAD/CAM/CAE технологија допринела је знатном унапређењу процеса конструисања, израде и испитивања производа. Данас постоји веома велики број комерцијалних софвера и сваки од њих је нашао своју примену у пракси.

У оквиру овог завршног рада представљен је програмски пакет SolidWorks. Описана су скоро сва његова окружења, начин покретања, команде, поступци моделирања, израде документације, израде симулација, итд.

На примеру ручне дизалице приказана је конкретна и практична примена софтвера (од моделирања, израде склопа, анализе напонско-деформационог стања па све до машинирања). На крају је и направљен један од насложенијих елеманата овог склопа – кочница.

SolidWorks је захваљујући могућностима које пружа, а свакако и цени, један од са разлогом најзаступљенијих софтвера у савременој индустрији.

Литература

- [1] Г. Дудуковић, Примена CAD/CAM система при модуларном пројектовању ручне акумулаторске бушилице, Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2009.
- [2] Research Gate, интернет адреса: https://www.researchgate.net/figure/The-Sketchpad-program-developed-by-Ivan-Sutherland-allowed-the-user-to-draw-on-a_fig6_318446870, приступљено 05.05.2018.
- [3] Ч. Пантелић, Ј. Трифуновић, Предности CAD/CAM-а у односу на конвенционалне технике израде металокерамичких надокнада, DENTAL TRIBUNE Serbia&Montenegro Edition 2007.
- [4] Г. Девеџић, Софтверска решења CAD/CAM система, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2004.
- [5] Roland, интернет адреса: <https://www.rolanddga.com/support/products/milling/modela-mdx-40a-3d-milling-machine>, приступљено 08.09.2018.
- [6] G-Code Q'n'dirty toolpath simulator, адреса: <https://nraynaud.github.io/webgcode/> приступљено: 20.09.2018.