

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Техничко цртање са компјутерском графиком

Број индекса: 184/2014

Ивана Д. Живановић

Нови трендови у инжењерским комуникацијама

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Лозица Ивановић -ментор

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

SUMMARY

In this paper, the importance of engineering communications in the product development steps is explained. The basics of the development of technical documentation are presented through traditional construction. It also explains the importance of engineering communications in the modern way of product development in view of today's competitive market. A concrete example of manufacturing products in the CAD-CAM system is given.

Key words: *engineering communication, technical documentation, CAD-CAM.*

РЕЗИМЕ

У овом раду је објашњен значај инжењерске комуникације у корацима настанка производа. Основе израде техничке документације су приказане кроз традиционално конструисање. Такође, објашњен је значај инжењерске комуникације у савременом начину развијања производа обзиром на данашње конкурентно тржиште. Дат је конкретан пример израде производа у *CAD-CAM* систему.

Кључне речи: инжењерске комуникације, техничка документација, *CAD-CAM*.

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- опише основне елементе потребне за просторно разумевање и представљање машинских делова и склопова, уз примену традиционалних алата и рачунара
- објасни улогу *CAD* и *CAM* система у инжењерским комуникацијама
- представи примену савремених софтверских алата у изради конструкционе документације на примеру конкретног производа

Препоручена литература:

[1] Л. Т. Ивановић, М. Д. Ерић: Техничко цртање са компјутерскоом графиком-практикум- , Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2014

[2] З. Милојевић, М. Рацков, С. Кузмановић, И. Кнежевић, С. Навалушић, Л. Ивановић, М. Вереш, Б. Марковић : Израда конструкционе документације, Нови Сад 2015

[3] Г. Деведић: Софтверска решења *CAD/CAM* система, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004

Изјављујем да сам овај завршни рад урадила самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

184/2014 Ивана Живановић

Садржај

1. Увод	1
2. Техничка документација	3
2.1. Историјски развој	3
2.2. Стандардизација	6
2.3. Нацртна геометрија	7
2.4. Формати техничких цртежа	10
2.5. Размере	10
2.6. Пресеци	11
2.7. Котирање	12
2.8. Заглавља и саставнице	14
2.9. Начини цртања склопних цртежа	14
3. Улога CAD система у инжењерским комуникацијама	16
3.1. Историјски развој CAD система	16
3.2. Solid Works 2013	17
3.2.1. Part радно окружење	17
3.2.2. Assembly радно окружење	22
3.2.3. Drawing радно окружење	25
4. Улога CAM система у инжењерским комуникацијама	29
4.1. Пројектовање производње помоћу CAM система	29
5. Закључак	33
Литература	34

1. Увод

У корак са развојем индустрије напредује и развој инжењерских комуникација. Инжењерске комуникације представљају успешан пренос и размену информација између пошиљаоца и пријемника. Као што се за свакодневну комуникацију између људи, поред говора, користи писмо тако се у инжењерству користи техничко писмо и техничка документација. На основу техничке документације машински делови се могу производити и монтирати. Основа техничке документације је техничко цртање, она представља основно средство комуникације између конструктора, произвођача и потрошача. Да би се цртежи разумели користе се универзални симболи, мерне јединице, изглед странице, перспективе једном речју стандарди. Обједињавањем се постиже сигурна недвосмисленост и једноставно разумевање цртежа. Велики број симбола и принципа техничког цртања су кодирани према међународном *ISO* стандарду. У блиској прошлости израда техничке документације се у потпуности вршила ручно, што је одузимало доста времена и мукотрпног рада јер су производи комплексни. Савремени живот се не може замислити без многих технолошких решења као и нових технологија које се стално усавршавају. Са развијањем дигиталних технологија развијали су се *PLM* системи, то су системи за управљање животним циклусом производа (енгл. *Product Lifecycle Management System*). Управљање животним циклусом производа представља реализацију производа од концепта, производњу и координацију ланца снабдевања, постпродају (сервис, одржавање...). Планирање и управљање производима треба да омогући препознавање захтева и жеља купаца и, на основу тога, да осмисли спецификације карактеристика новог производа са анализом цена и профита. Због тога се користе бројне методе, технике и алати као што су симулационе технике, технике прорачуна, *CAD/CAM* итд. [3]

Савремено тржиште захтева брз развој и производњу квалитетних производа, што аутоматски захтева иновације у свим корацима настанка производа. Како би нов производ на време пронашао своје место на тржишту неопходно је истовремено одвијање већег броја активности на развоју производа и пратећих процеса. Учесници у развоју и стварању производа могу истовремено почети са извршавањем својих задатака, то се назива конкурентним инжењерством. На тај начин се смањује укупан напор уложен у стварање производа, краће је време производње уз испуњење свих захтева. То се постиже добром расподелом задатака у тиму уз правилно задавање основних параметара и ограничења новог производа, а то је основа за паралелно одвијање већег броја процеса који су међусобно мање зависни. [3] Да би производња била успешна неопходно је имати потребне стручњаке који ће на адекватне начине решавати проблеме, технике при развијању идеје у готов производ, алате, тимски рад и потребно време. Такав систем може да функционише само уз одређене принципе као што су рано откривање проблема, брзо доношење одлука, примена знања уз међусобно разумевање, јасно дефинисани циљеви. У раним фазама израде делова користе се разне методологије помоћу којих се дефинишу захтеви, функционалност, конфигурација производа и начини израде. Тада се осмишља идеја и процес израде уз неопходну економичност. Идеје се претварају у скице и моделе који су једноставни за руковање и

вршење анализа и провера, а такав принцип рада је донео велики напредак у инжењерству као и инжењерским комуникацијама. Поједини елементи производа могу да се преузму из неких већ постојећих решења уз мање модификације и прилагођења. На крају се врши избор најбољег решења за детаљну технолошку изradу.

Потпуно инжењерско решење обухвата разрешење свих проблема у току настанка производа од идеје, преко скица, модела и анализа, оптимизације до техничке документације и изrade. Једна од новијих технологија аутоматизације поступка пројектовања машинских елемената помоћу рачунара је бихејвористичко моделирање. Суштину бихејвористичког моделирања чине:

- “Паметни модели”(енгл. “*smart models*”),
- Циљно вођена оптимизација конструкција (енгл. “*objective-driven design*”), помоћу које се усаглашавају конфликтни критеријуми и чувају већ постојећи критеријуми у току модификација модела,
- Отвореност ка окружењу (енгл. “*open extensible environment*”), чиме је омогућена размена информација и процеса са спољашношћу.

За конструисање модела, поред полазних идеја и потребних информација користе се *CAD (Computer Aided Design)* системи који представљају скуп софтверских алата и технологија који омогућавају једноставност изrade конструкције производа. Под једноставном изradом подразумевамо аутоматско извођење операција као што су цртање линија, формирање дела, модификације, могућ увоз стандардних елемената. *CAD* системи за пројектовање машинских делова углавном су засновани на *3D* моделирању. Суштинско значење *3D* модела у инжењерским комуникацијама, поред олакшане изrade документације, је у представљању идеје производа на најреалнији начин јер га због повећане креативности, уопште способности лакше и брже визуелизације новог производа, као и бољег квалитета можемо замислити у природи . [3]

Након комплетно конструисаног новог производа пре почетка производње неходно је извршити све потребне анализе и симулације производа у експлоатационим условима, за такве анализе се користе *CAE (Computer Aided Engineering)* системи. Сви резултати и решења анализа су јасно видљиви и указују на све грешке модела и могућности њиховог санирања.

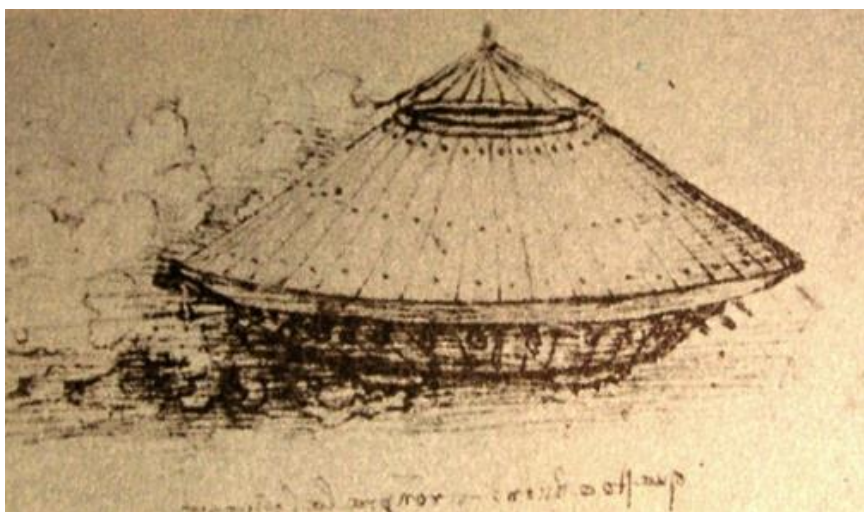
Када је нов производ конструисан и проверена његова функционалност и исправност кроз анализе и симулације онда може бити “пуштен” у производњу. Као рачунарска подршка у производњи користе се *CAM (Computer Aided Manufacturing)* системи. *CAM* системи садрже велики број активности и функција који припадају различитим областима производње, техника и технологија, а најчешће се користе за пројектовање и симулације обрадног поступка прављење програма за нумерички управљане машине алатке. [3]

2. Техничка документација

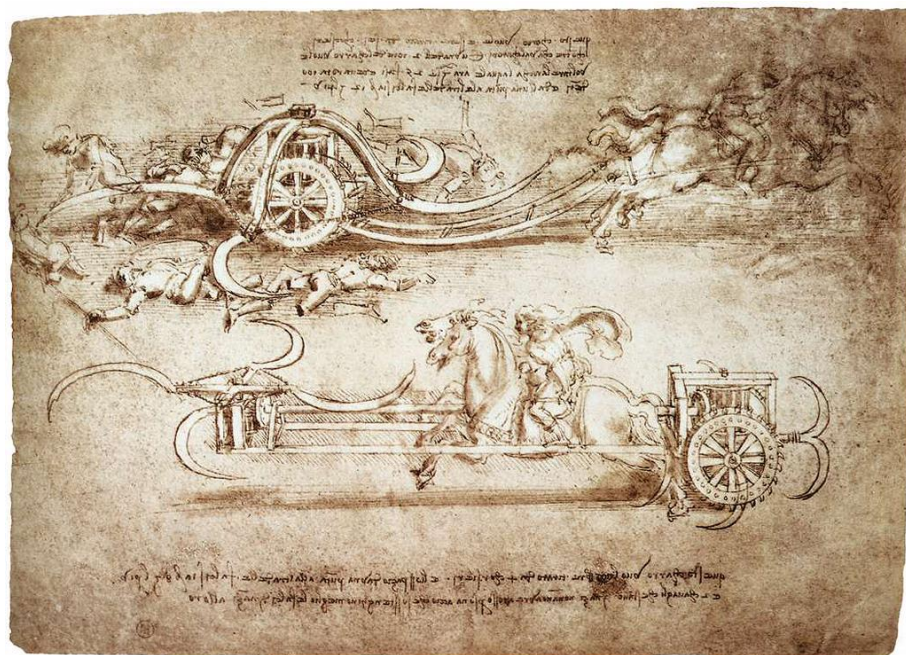
2.1. Историјски развој

Од четрнаестог века друштвени систем науке зависио је од техничке комуникације за описивање, ширење, критику, коришћење и побољшање иновација и напредак у науци, медицини и технологији. Брза промена у техничкој комуникацији очигледна је током последњих неколико деценија са појавом рачунара, ласерских штампача, интернета и других технолошких открића. Гледано из историјске перспективе, те промене се могу посматрати као део еволуције коју је техничка комуникација прошла. Сврха техничке документације јесте да на јасан и адекватан начин да на увид опис техничког задатка, сврху и добијене резултате. Нова открића у науци и технолошки развој су забележени у раним записима и преношени су усмено на пример, као што је учење. Астрономска опсервација била је бројна међу овим научним књигама и очувана је у списима и артефактима многих култура, укључујући Астеке, Кинезе, Египћане и Вавилонце.

У временском интервалу од 14. до 17. века западњачка друштва су доживела нагли напредак у истраживањима у областима медицине, науке, религије, графике и књижевности и тај период је од тада назван ренесансом. Значајно преусмеравање ренесансе из претходне историје било је укључивање науке у активности које се сматрају вредним за ширење кроз друштвену организацију путем комуникације. Кроз историју пројектант је управљао подацима о производу и само је он могао да разуме своје цртеже. [4] Италијански ренесансни поналазач, архитекта, инжењер и уметник Леонардо да Винчи је имао бројне проналаске и патенте у више области науке и технике. Цртежи машина које је конструисао, као што је Леонардово борбено возило (слика 2.1) и борбене кочије (слика 2.2) , јасно могу дочарати потребу за постојањем неких универзалних форми приказивања производа јер ми на основу приложеног немамо све потребне информације о производу као што су димензије, потребни делови, начин спајања делова, начин израде.



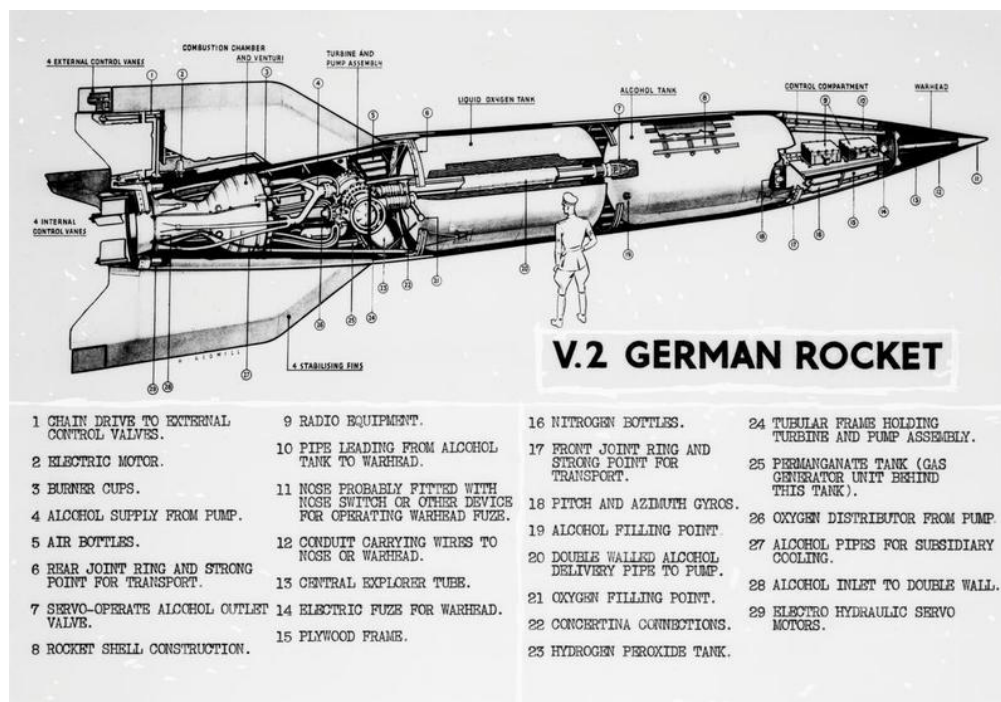
Слика 2.1. Леонардово борбено возило [7]



Слика 2.2. Леонардове борбене кочије [7]

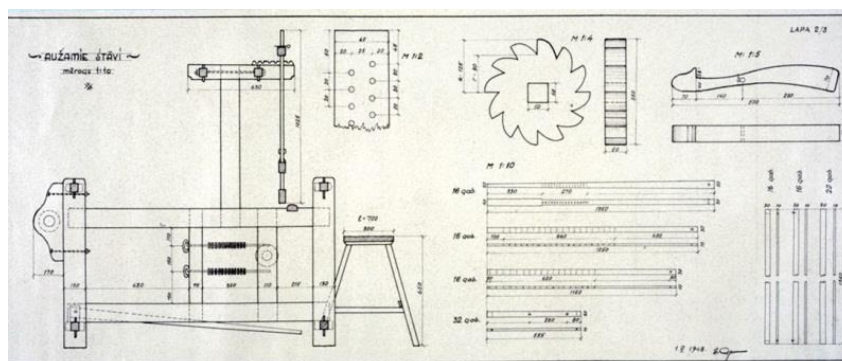
У петнаестом веку, технологија је направила први од низа значајних утицаја на техничку комуникацију са комерцијалном применом вештачког писма, како је тада назвао Јохан Генсфлајш из Гутенберга (нем. *Johannes Gensfleisch zur Laden zum Gutenberg*) који је постао скоро први издавач штампаних књига.

У првој половини двадесетог века за време I и II светског рата за потребе ратовања појавили су се бројни проналасци у науци и техници, због тога је у то време дошло до напретка и стандардизације техничког изражавања ради јаснијег читања и разумевања нових патената и производа. Америчка војска са својим медицинским корпусом бори се против маларије у џунгли Панаме, хемијски корпус је остварио хемијски напредак са експлозивима и отровним гасовима (и одбране против њих), направљен је велики помак у разумевању физике. Напредак у другим развијеним и неким земљама у развоју подстакнут је на сличан начин. Британци су изумели радар а Немци су развијали ракете. На слици 2.3 приказан је оригиналан склопни цртеж немачке ракете V.2. Многе од предности науке у којима данас уживамо (нпр. ваздушна путовања, антибиотици, материјали високих перформанси, рачунари и телекомуникације) биле би у примитивном стању развоја, да се развој није убрзао због ратних потреба. Техничко писање постало је признато као назив посла, скоро професија, током Другог светског рата, јер је технологија и логистика битке постала компликована и захтевала је стандардизоване процедуре, дефиниције, описе, инструкције и обуку. Како је рат донео велики број открића, после-ратни период је у земљама које су профитирале у рату донео брз развој економије настанком нових производа. Настанком нових производа и произвођачи и потрошачко друштво добило је потребу за документацијом о употреби производа, инсталацији и одржавању. Ова потреба отворила је неколико нових врста техничке комуникације: упутства за кориснике, приручници за инсталацију и шифре. [4]



Слика 2.3. Склопни цртеж V-2 немачке ракете [10]

На слици 2.4 дат је приказ оригиналног техничког цртежа разбоја за ткање из 1949. године на којем се јасно може приметити напредак у начину приказа производа у поређењу са цртежима из прератног периода . [6] Инжењери су комуницирали помоћу заједничког језика. Данас, техничка документација представља основно средство за комуникацију која садржи све потребне информације и детаље о новом делу од идеје, преко начина израде, потребног материјала, димензија до изгледа и квалитета готовог производа. Добро написана техничка документација омогућава читаоцу јасан увид и једноставно и брзо разумевање рада. [4]



Слика 2.4. Технички цртеж разбоја, 1949. год. [6]

Брз развој рачунарске технологије знатно је утицао на револуционарне промене у конструисању производа и техничке документације. Овај вид иновације у инжењерском свету може се мерити са историјским преокретом који је француски инжењер и математичар Гаспар Монж (*Gaspard Monge*, 1746-1818 год.) направио тиме што је осмислио да се предмети на техничким цртежима представљају у ортогоналним

пројекцијама и на тај начин постао оснивач нацртне геометрије. Кроз отрогоналне пројекције 3D предмети се на најједноставнији и најпрегледнији начин могу приказати на 2D папиру. Монжова идеја је у тој мери направила помак при конструисању да су французи 15 година ово откриће држали у тајности што им је донело војну предност. [5]

2.2. Стандардизација

Настанак стандарда је крупан корак у развоју инжењерске комуникације. Стандардизација је процес стварања и примене правила у циљу постизања истоврсности и добре размене информација а стандарди представљају већ прописана правила. Стандарди настају тако што нека фирма увиди потребу за неким стандардом и о томе обавести национално веће за стандардизацију. Стандарди могу бити: међународни односно *ISO (International Standard Organisation)* стандарди, национални (немачки (*DIN*), руски (*GOST*), амерички (*ANSI*)), као и интерни стандарди (нпр. фабрички стандарди). Све индустријски развијене земље имају националне стандарде и сваки национални стандард мора бити усклађен са међународним *ISO* стандардом. За стандарде у Србији задужен је Институт за стандардизацију Србије (*ISS*). Међународна класификација стандарда (*ISC*) је створена деведесетих година двадесетог века како би омогућила лакшу размену података на пољу стандардизације. *ISC* (енгл. *International Classification for Standards*) је задужена за уређење структуре каталога међународних, регионалних и националних стандарда и других нормативних докумената, као и база за њихово наручивање. *ISC* треба да олакша усаглашавање информација и средстава за наручивање стандарда, као што су каталози, селективне листе, библиографије и базе података и да на тај начин на светском нивоу промовише широку употребу међународних, регионалних и националних стандарда. Стандард се примењује на све међународне, регионалне и националне нормативне документе, као што су технички извештаји, стандардизовани профили, техничке спецификације, технички прописи и други.

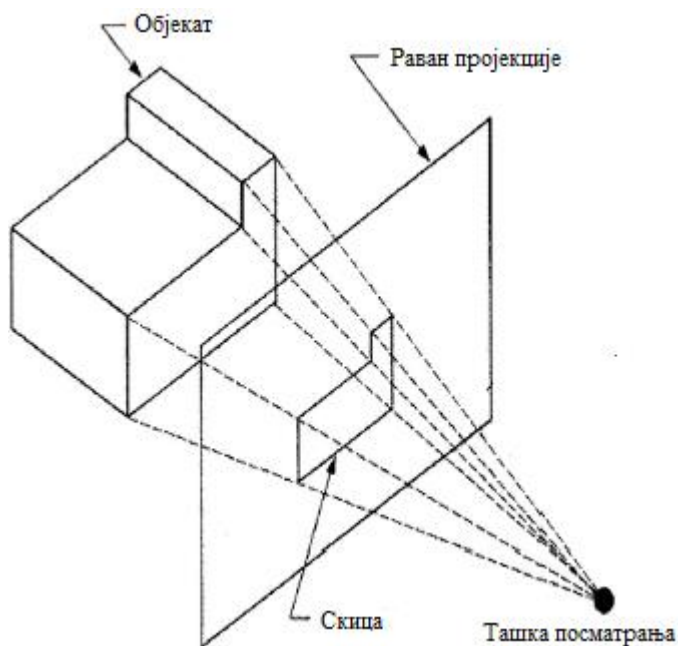
У оквиру стандардизације прописују се облик, димензије, материјал, квалитет, начин означавања, визуелни изглед техничке документације, паковање, транспорт и све друге битне особине производа. Коришћење стандарда доноси велике предности при изради производа као што су: повећање економичности, бољи квалитет производа, у трговини не може доћи до неког неспоразума при продаји, заштита потрошача, приступачан избор разних параметара и других карактеристика индустријских производа, олакшана разменљивост машинских делова и склопова увођењем типизације и унификације.

Српски стандарди су углавном настали преузимањем неких међународних стандарда, најбитнији стандарди су остали исти као што су некад били по *JUS*-у само је измењена ознака припадности стандарда (*SRPS*). Уколико је национални стандард у потпуности преузет ознака се уписује на исти начин с тим што се испред ознаке стандарда допише ознака *SRPS*, на пример *SRPS EN 13163:2017*. Структура ознаке стандарда се састоји из слова и цифара а тачке деле ознаке по значењу. На пример *SRPS. M.A1.410* где ознака *SRPS* означава националну припадност стандарда, *M* је прва словна ознака и

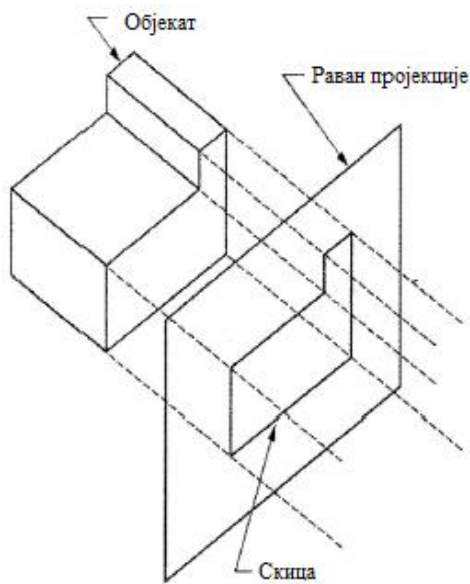
представља грану, следећа словна ознака *A1* представља главну групу а бројна ознака подгрупу, и последња бројна ознака представља редни број стандарда. [8]

2.3. Нацртна геометрија

Нацртна геометрија је наука која изучава решавање просторних проблема цртањем у равни. Она омогућава једноставније приказивање тродимензионалног предмета на цртежу, исто тако и просторно схватање нацртаног објекта. Основна метода приказа предмета помоћу нацртне геометрије је метода пројектирања. Основни појмови везани за пројектирање су: пројекцијски зрак (права којом се врши пројектирање тачке на раван) , пројекцијска раван (раван на којој се врши цртање) , пројекција тачке (тачка продора зрака кроз пројекцијску раван) . Подела пројектирања се врши на основу локације средишта пројектирања у простору, и то се деле на централно пројектирање приказано на слици 2.5 (ако је центар пројектирања тачка која има ограничење) и паралелно пројектирање приказано на слици 2.6 (ако је центар пројектирања тачка која нема ограничење). Паралелно пројектирање може бити косо (пројекцијски зраци падају косо на раван пројектирања) и ортогонално (зраци падају под правим углом на раван пројектирања). Паралелно ортогонално пројектирање се најчешће користи у пракси јер представља приказ дела са највернијим информацијама како би се најлакше замислио у простору. [1]

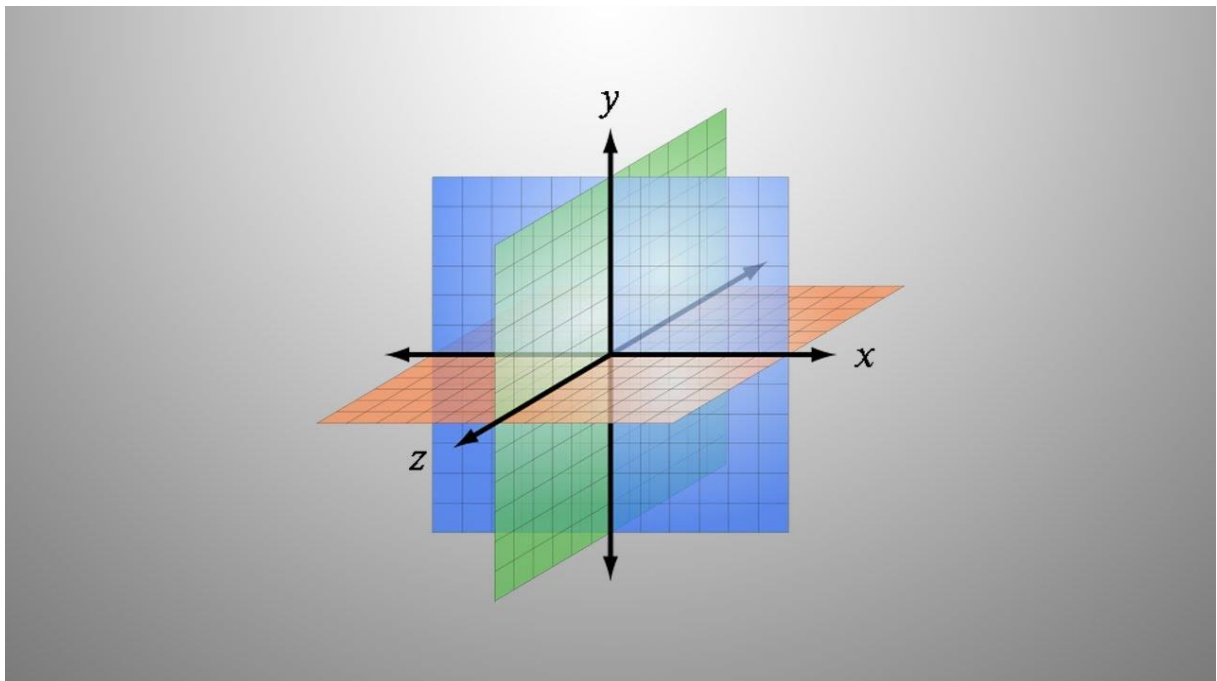


Слика 2.5. Пример централног пројектирања [9]



Слика 2.6. Ортогонално паралелно пројектирање [9]

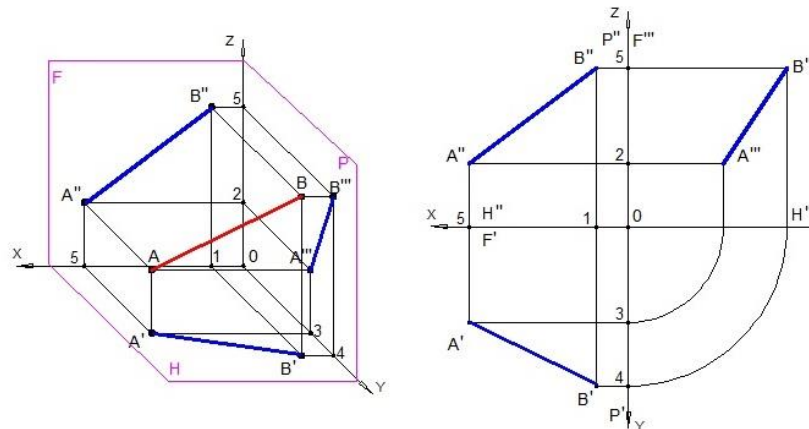
Обзиром на чињеницу да једна пројекција тачке не показује њен положај у простору уведене су три међусобно нормалне равни Декартовог координатног система. У те равни спадају: хоризонтална (H) раван, вертикална (фронтална) раван (F), вертикална профилна раван (P). У пресеку ових равни добијају се осе Декартовог координатног система x, y и z које се секу у тачки O (координатни почетак). Помоћу поменутих равни и оса било којој тачки, линији или предмету могу се одредити тачне координате у простору. Хоризонтална, фронтална и профилна раван у линијама у којима се секу (осе) деле простор на 8, ти делови који се зову октанти. [1]



Слика 2.7. Октанти [11]

Сви предмети у геометрији се састоје из тачака, а свака тачка у простору има своје x, y и z координате у Декартовом координатном систему. Прва пројекција тачке A се одређује у односу на осе x и y (координата A'). Друга пројекција тачке A се одређује у односу на осе x и z (координата A''). Трећа пројекција тачке A се одређује у односу на осе y и z (координата A''').

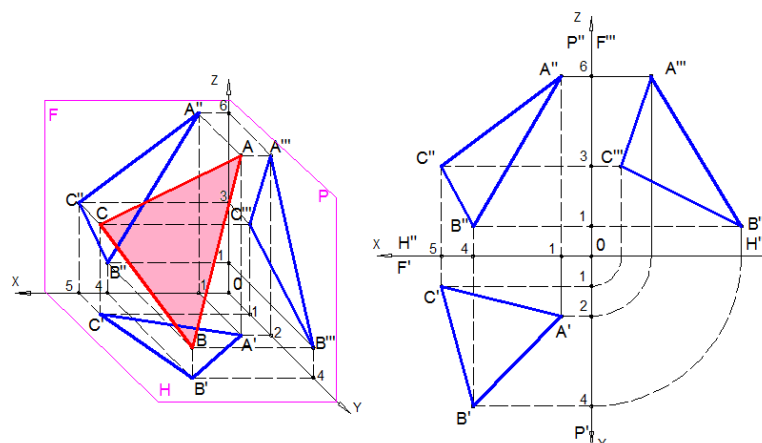
Пројизирање праве (дужи) као и пројизирање геометријских слика се врши на исти начин као и пројизирање тачке. Дат је пример пројизирања дужи AB (слика 2.8). [7]



Слика 2.8. Пример пројизирања дужи [9]

На слици 2.9 показан је пример пројизирања раванских геометријских слика. Извршено је пројизирање троугла ABC . [9]

На основу примера пројизирања како дужи тако и геометријских слика можемо закључити да се без обзира на сложеност цртежа пројизирају се означене тачке цртежа свака посебно, за тим се споје пројизирани тачке и тиме се добија комплетна пројекција.



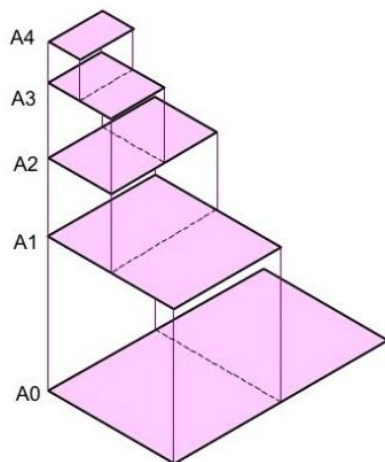
Слика 2.9. Пример пројизирања раванских геометријских слика [9]

2.4. Формати техничких цртежа

Технички цртежи се цртају на различитим врстама папира чије су димензије одређене према стандарду *SRPS EN ISO 5457*. Најпримењеније врсте папира су обичан банкпост папир који је погодан за цртање руком и штампање, паус папир је погодан за све начине цртања а највише се користи за израду оригиналних цртежа од којих се праве копије и озолид папир који је изузетно осетљив и служи за прављење копија. Осмишљени су стандардни формати папира за цртање ради уреднијег рада, могуће је једнообразно превијање и лакше одлагање у архивама. Формат највећих димензија је формат *A0* са димензијама 841×1189 mm, а сви мањи формати са ознакама *A1*, *A2*, *A3*, *A4* су за половину дужине мањи од оретходног (слика 2.10). Постоји више редова формата папира, односно редови *A*, *B* и *C*, али се најчешће користе станарде димензије папира реда *A*. У табели 1 приказане су димензије најчешће формата хартије за техничко цртање. [1] [8]

Табела 1. Мере стандардних формата [1]

Ознаке формата основних величина	Мере, mm
A0	841×1189
A1	594×841
A2	420×594
A3	297×420
A4	210×297
A5	148×210

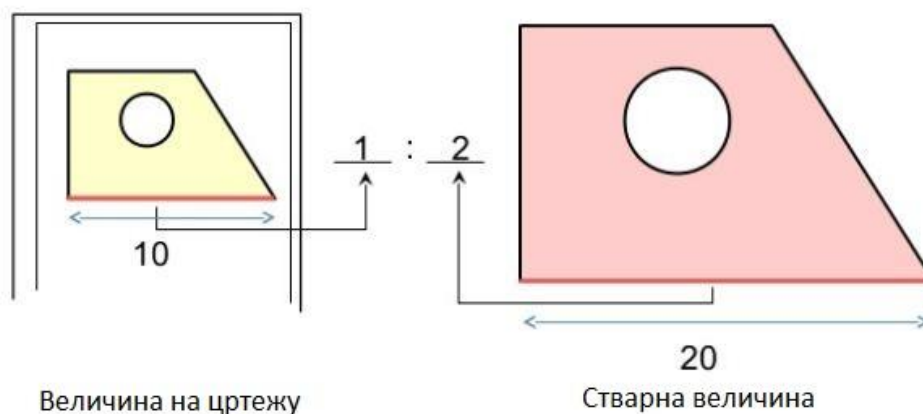


Слика 2.10. Стандардни формати [9]

2.5. Размере

Предмете веома великих или веома малих димензија је немогуће приказати на цртежу у стварној природној величини. Велике предмете треба цртати умањено а веома мале предмете и предмете сложеног облика треба цртати увећано. Размера је однос димензија предмета на цртежу и у природи. Како би се изабрала одговарајућа размера потребно је узети у обзир величину предмета и његову сложеност. Постоје три врсте размере а то су: умањена, увећана и размера у природној величини. При котирању у цртеж се оnose стварне мере предмета без обзира на то да ли је предмете нацртан умањено, увећано или у стварној мери. Усвојена размера се уписује у одговарајуће поље заглавља хартије на којој се врши цртање. Уколико је потребно коришћење

размере за истакнуте детаље цртежа размера се уписује непосредно уз детаљ. При уписивању размере на цртеж може се користити реч “размера” или само бројеви. На пример: Размера 1:5 или само 1:5. На слици 2.11 дат је графички приказ размере. [1]



Слика 2.11. Графички приказ размере [9]

За израду техничких цртежа користе се стандардне вредности размера које су дате у табели 2.

Табела 2. Стандардне вредности размера [1]

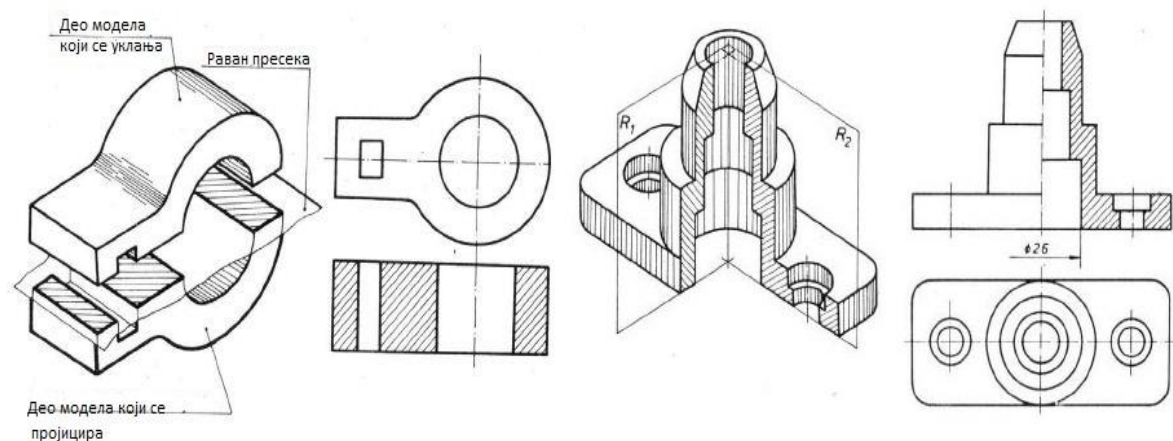
Стварна величина	1:1		
Умањење	1:2	1:5	1:10
	1:20	1:50	1:100
	1:200	1:500	1:1000
Увећање	2:1	5:1	10:1
	20:1	50:1	100:1

2.6. Пресеци

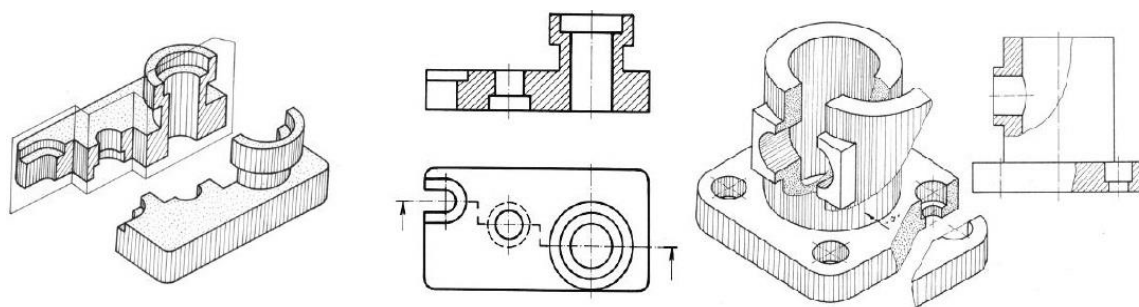
Предмети сложених облика са заклоњеним контурама и отворима се на техничким цртежима приказују не само у пројекцијама већ и коришћењем разних врста пресека. Пресеци се такође примењују и у циљу димензионисања и означавања квалитета обрађених површина заклоњених облика. Невидљиве ивице се приказују уцртавањем испрекиданом линијом чиме цртеж постаје јаснији. Пресек представља замишљени изглед предмета када би он био пресечен са једном или више равни. Друге пројекције предмета се изводе на уобичајен начин. Материјал који је пресечен се означава шрафуром. Шрафура симболично представља трагове тестере који би настали када би се предмет исекао у стварности. Постоји више облика шрафура зависно од врсте материјала. Предмети од метала се шрафирају танким паралелним линијама које су под углом од 45° у односу на главне контуре или осе симетрије. Размак између линија шрафуре зависи од величине предмета и формата цртежа. Стандардом је прописано да

размак између линија шрафуре не сме бити мањи од 0,7 mm и на једном предмету може да се примени само један правац шрафуре.

Зависно од облика предмета који треба исећи постоје различите врсте пресека, основне врсте пресека су: пун симетричан пресек, полупресек, пресек са више паралелних равни и делимичан пресек. Пун пресек се користи када предмет има бар једну раван симетрије и кроз ту раван се врши пресецање. Полупресек се користи када предмет има бар две међусобно управне равни симетрије, полупресек се добија исецањем четвртине предмета а у осталим пројекцијама је приказан цео предмет. На слици 2.12 приказани су по један пример пуног пресека и један пример полупресека. Пресек са две или више међусобно паралелних равни пресека се примењује код истовременог приказивања већег броја отвора и рупа предмета које су распоређене у различитим равнима. Делимичан пресек се користи за приказ детаља предмета, а за ограничење детаља косисти се слободоручна линија. Пресек са више паралелних равни као и делимичан пресек приказани су на слици 2.13. [1]



Слика 2.12. Примери пуног пресека и полупресека [12]



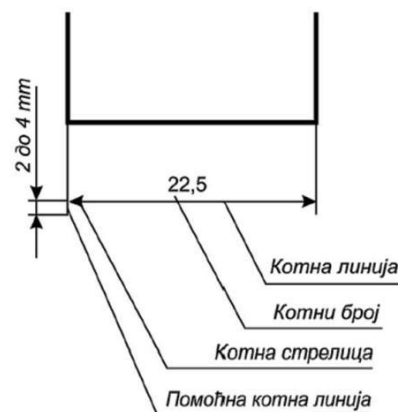
Слика 2.13. Примери пресека са две или више равни и делимичан пресек [12]

Поред основних врста пресека постоје и следећи пресеци: заокренути пресек приказан, узастопни пресек и локални пресек.

2.7. Котирање

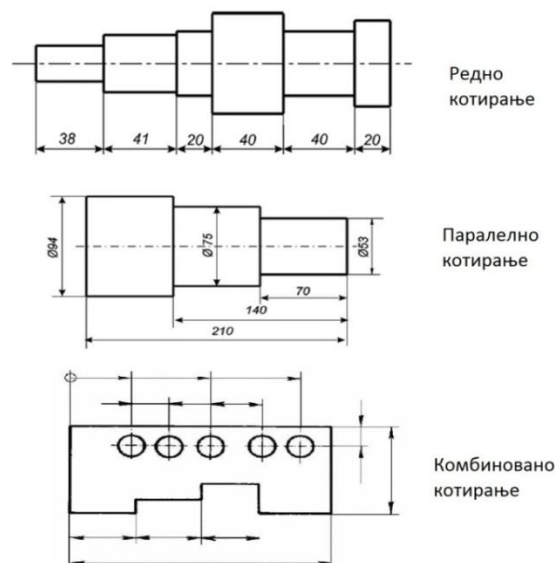
Предмети у машинству су често врло сложених облика, неопходан им је висок квалитет обраде и прецизне димензије. Зато је при изради цртежа у техничкој документацији од

велике важности означавање димензија предмета како би имали све неопходне информације за тачну израду производа. Према потребама документације често се за делове који су на техничком цртежу означавају врста и квалитет обраде и дозвољена одступања од праве мере односно толеранције. Важне особине техничких машинских цртежа јесу те да се без обзира на димензије машинског дела све мере пишу искључиво у милиметрима (mm) и да се без обзира на размеру предмета на цртежу мере уписују онакве какве су у природи односно крајње стање величина готовог машинског дела. Котирање је уношење бројних вредности величине предмета у цртежу. Изводи се помоћу елемената котирања који су приказани на слици 2.14, и дефинисано је стандардом ISO 129.



Слика 2.14. Елементи котирања [9]

Котирање се може извести редно, паралелно и комбиновано (слика 2.15). Који ће се начин котирања применити зависи од предвиђене технологије израде предмета, тј. од начина мерења и контролисања његових димензија.



Слика 2.15. Врсте котирања [9]

2.8. Заглавља и саставнице

У сваком техничком цртежу мора да постоји заглавље које служи за уписивање основних података потребних за означавање, разврставање и употребу цртежа. Заглавље запараво представља уоквирени део површине цртежа који се налази у доњем десном углу. Свако заглавље садржи следеће податке: назив цртежа, размеру, број цртежа, назив фирме у којој је цртеж израђен, имена и потписи особа одговорних за цртеж. Изглед заглавља приказан је на слици 2.16.

Уколико технички цртеж има заглавље тада се изнад заглавља црта саставница (*EN ISO 7200:2004*) која представља попис свих стандардних и нестандардних делова и материјала који су потребни за састављање целине приказане цртежом. Саставница се попуњава одоздо на горе према редном броју позиција. Уколико је саставница посебан документ попуњава се одозго на доле саставнице приказан је на слици 2.17. [9]

Толеранције слоб. мера	Маса	Материјал	Размера			
Одговорно одељење	Пројектовао	Врста документа	Статус документа			
(Власник документа)	Конструисао	Назив	(Ознака документа)			
	Одобрио		Рев	Датум издавања	Јез	Стр

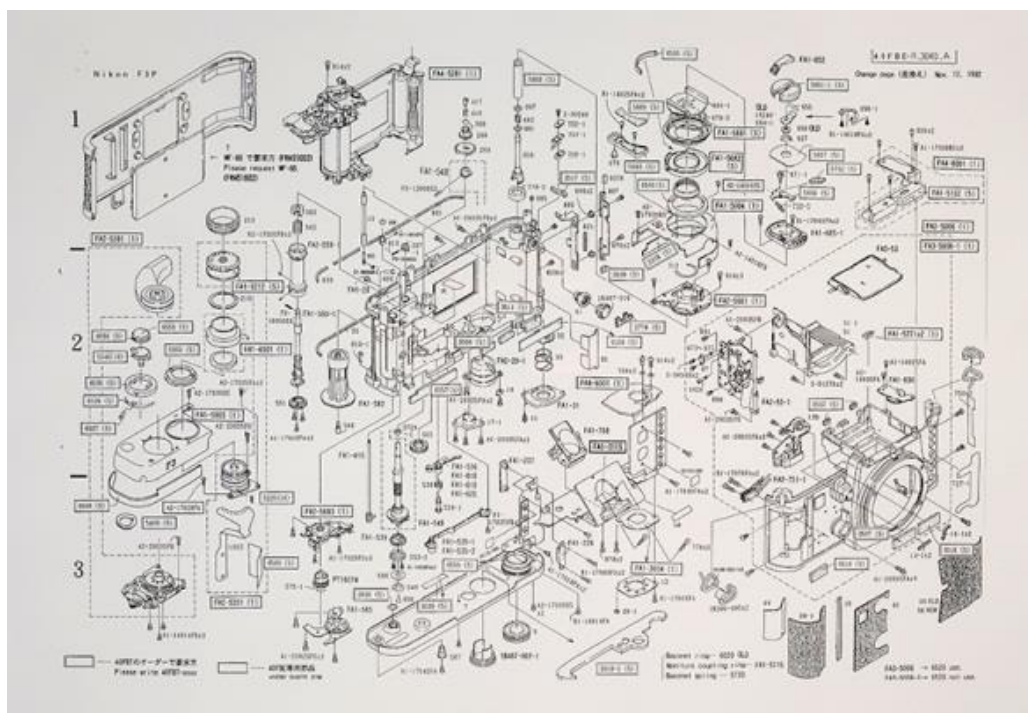
Слика 2.16. Заглавље техничког цртежа [2]

Поз	Озн. дела	Назив-облик и величина	Стандард Ознака цртежа	Материјал	Комада	Напомена
-----	-----------	------------------------	---------------------------	-----------	--------	----------

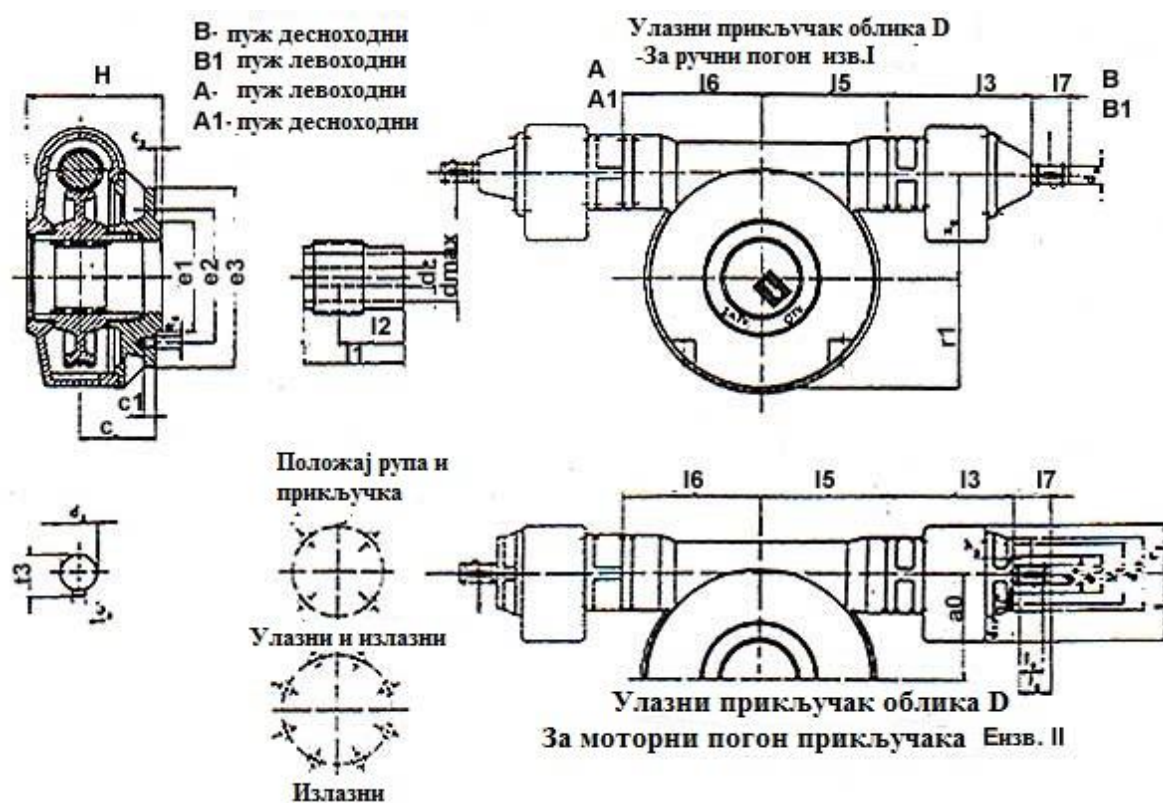
Слика 2.17. Саставница техничког цртежа [2]

2.9. Начини цртања склопних цртежа

Постоји више начина приказа склопних цртежа, избор начина приказа зависи од одређене намене цртежа. Рецимо, експанциони цртежи (слика 2.18) су намењени одржаваоцима машина како би брзо пронашли проблем у склопу машине и одмах имали на увид његову ознаку ради наручивања новог дела. Мерне скице су сртежи који служе за приказ габаритних димензија склопа и димензија за уградњу како би имали информацију о томе колики простор заузима машина, на котама могу бити уписане димензије или словне ознаке димензија које су уписане и у посебној табели, као и комбинација словне ознаке и димензија. Изглед мерне скице приказан је на слици 2.19. У новије време неизоставан начин приказа склопа је израђен склоп у 3D форми који служи за приказ стваног изгледа предмета као и за цртање мреже коначних елемената и спровођење прорачуна. Мерна скица уз 3D аксонометријски изглед предмета је комбинацијана начина приказа машине која омогућује одлично разумевање и видљивост делова склопа. 2D информативни склопни цртеж се приказује у пресеку без позиција и котирања и без шрафуре, и сврха му је приказ садржаја склопа.



Слика 2.18. Пример експанзионог цртежа Nikon фотоапарата [13]



Слика 2.19. Пример мерне скице са комбинованим котирањем- Пужни редуктор [14]

3. Улога CAD система у инжењерским комуникацијама

Као што је у уводу поменуто CAD системи представљају скуп софтверских алата и технологија које омогућавају бржу и једноставнију израду конструкције производа. Када се каже једноставнија израда подразумева се аутоматско извођење операција попут цртања линије, формирања дела, модификације, могућности увоза стандардних елемената. Стварањем 3D модела омогућује флексибилност током настанка производа и његове будуће употребе. Зависно од комплексности производа потребни су различити начини приказивања делова производа ради лакше провере геометрије као и због олакшавања неких поступака конструисања па је у модерним CAD системима омогућен једоставан прелазак из једне врсте модела у други. [3]

3.1. Историјски развој CAD система

Већ шездесетих година двадесетог века почео је развој система за конструисање помоћу рачунара. Не би постојала никаква историја CAD система да није било математике и античког математичара Еуклида (грч. *Εὐκλείδης*) који је живео пре више од 2300 година чије су аксиоме примењене у CAD систему. 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 CAM 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, конструисање помоћу рачунара се за претходно раздобље везује за релативно мали број корисника који су били у неким специјализованим одељењима развијенијих фирми. Појавом персоналних рачунара CAD системи су масовно почели да се користе у свету, знатно већи број фирми је био у могућности да приушти неки од тада актуелних програма за конструисање помоћу рачунара. Од тог времена бележи се нагли пораст употребе CAD система. Осамдесетих година се десио и брз развој рачунарско-информационих технологија што је још један од узрока наглог развоја CAD система. Са даљим развојем рачунарске технологије напредовао је и развој рачунарски подржаног инжењерства. Прва верзија CAD система, односно први вид аутоматизације пројектовања у инжењерству било је 2D цртање које је имало мале могућности у односу на потребе инжењерства. Али, колико год биле ограничене могућности 2D цртање је само први корак ка настанку најбољих програма за цртање данас. Након 2D цртања направљен је систем који је омогућио 3D цртање жичаних модела а потом и 3D запреминско моделирање које представља револуционарни помак у рачунарски подржаном инжењерству. Вид конструисања који има велику примену данас обухвата геометријске, техничке и технолошке основе помоћу којих је омогућено параметарско конструисање. Обзиром на чињеницу да савремено тржиште констатно помера границе захтева у погледу функционалности, економичности, практичности, ниске цене, високог квалитета, кратког времена стварања производа и друге захтеве корисника настао је нови вид моделирања који се назива бихејвористичко моделирање.

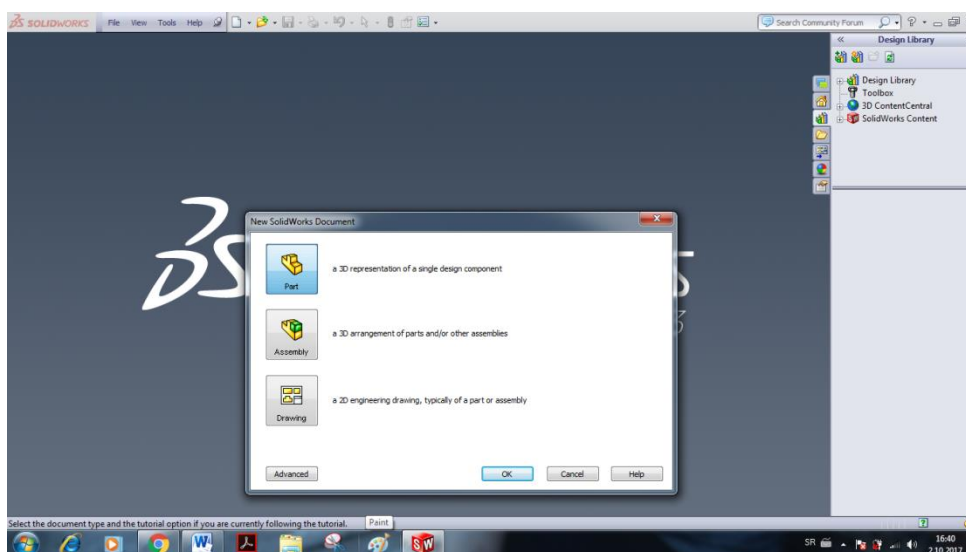
Бихејвористичко моделирање представља вид моделирања који има могућност моделирања према одређено дефинисаним захтевима функционалности, технолошких, геометријских, механичких, естетских као и других захтева. [3]

3.2. Solid Works 2013

Како би на најадекватнији начин био објашњен и приказан модеран CAD систем у наредном садржају рада биће приказано делимично упутство за Solid Works 2013. *Solid Works 2013* је програм у власништву компаније Dessault Systems и представља алат за параметарско моделирање и врши претварање 2D скица у 3D моделе. Програм садржи већи број радних окружења од којих се посебно истичу Part окружење које служи за израду модела, Assembly окружење служи за креирање склопова и Drawing окружење које служи за израду техничке документације. Поред истакнутих постоје и окружења као што су: *Sheet Metal*, *SW plastics*, *SW flow simulation*, *SW Xpress analyses*, *Motion Stydy*. *Sheet Metal* окружење се користи за прављење модела од танких лимова и употребљава се из Part окружења. У *SW plastics* окружењу се креирају модели од пластике, може се користити у Part окружењу као и Assembly окружењу у зависности од тога да ли се праве алати или не. *SW flow simulation* омогућује анализу струјања флуида кроз делове и склопове и укључује се по потреби. *SW Xpress analyses* служи за FEM (енгл. *Finite Element Method*) анализу односно методу коначних елемената и може да се користи из Part или Assembly окружења. Помоћу методе коначних елемената врши се анализа напона, деформација, померања. *Motion Stydy* се користи за кинематску и динамичку анализу кретања. Најефективнији и најједноставнији начин упознавања програма је упознавање кроз конкретан пример. У ту сврху биће измоделиран склоп и урађен склопни цртеж котураче.

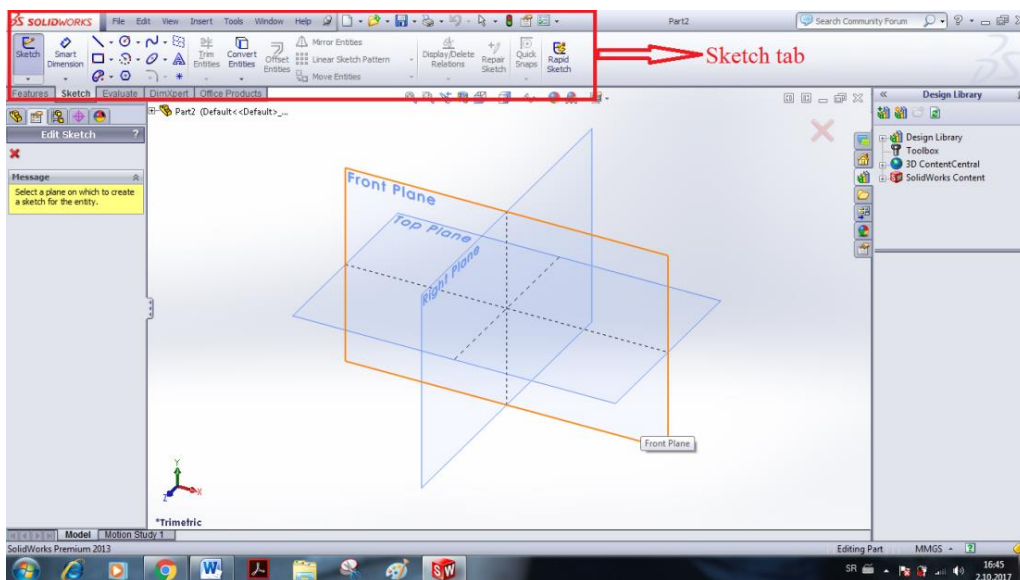
3.2.1. Part радно окружење

За почетак се покреће програм *Solid Works 2013* и отвори Part радно окружење тако што се кликне на *File*, затим *New* и отвориће се прозор приказан на слици 3.1. и притисне се *OK* за селековано Part радно окружење.



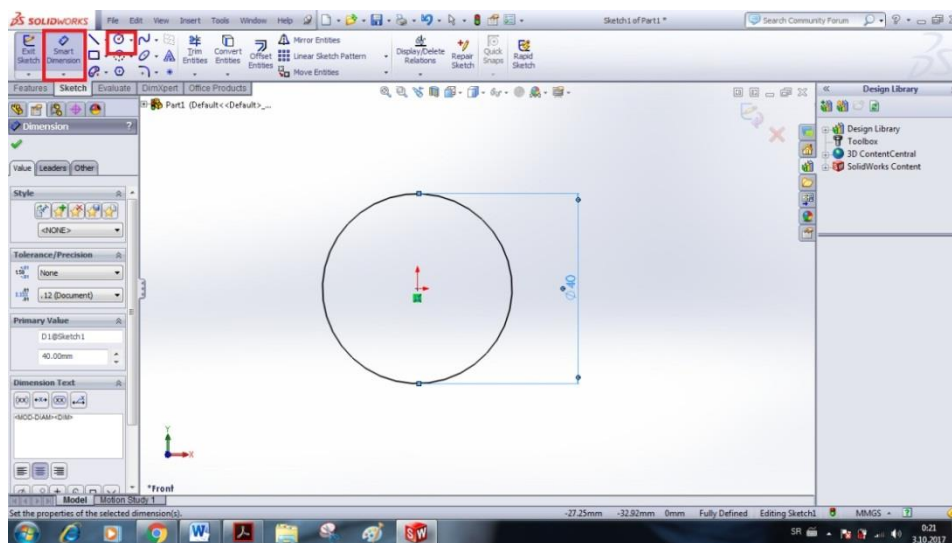
Слика 3.1. Отварање Part радног окружења

Када је *Part* радно окружење покренуто, левим кликом миша покрене се *Sketch* који се налази у горњем левом углу прозора односно на *Sketch tab*-у, на прозору се након тога појаве просторне равни (профилна, фронтална и хоризонтална). Кликом на једну од тих равни може се почети са цртањем *2D цртежа* (Слика 3.2). Изабрана је, у нашем случају, фронтална раван и на средини радног простора може се приметити координатни почетак у равни. На основу координатног почетка може се почети са координираним цртањем.



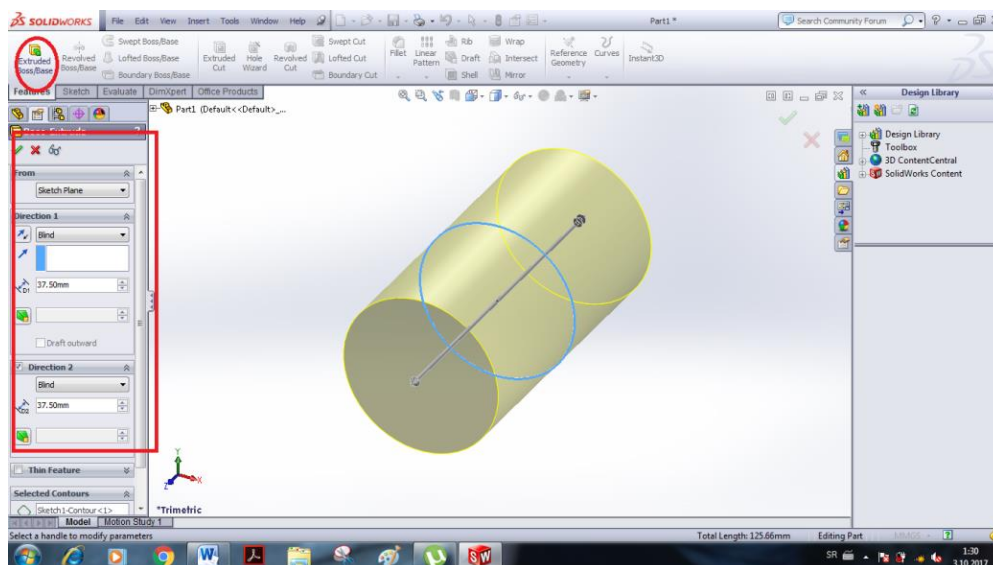
Слика 3.2. Избор равни за цртање 2D цртежа

Коришћењем алата из *Sketch tab*-а може се кренути са израдом носача катураче. Може се почети са цртањем круга и дефинисањем његових димензија помоћу алата *Smart Dimension*. Алат *Smart Dimension* као и многи други алати испод или поред својих “иконица” имају стрелице помоћу којих се отварају други видови истог алата који могу затребати. (Слика 3.3.)



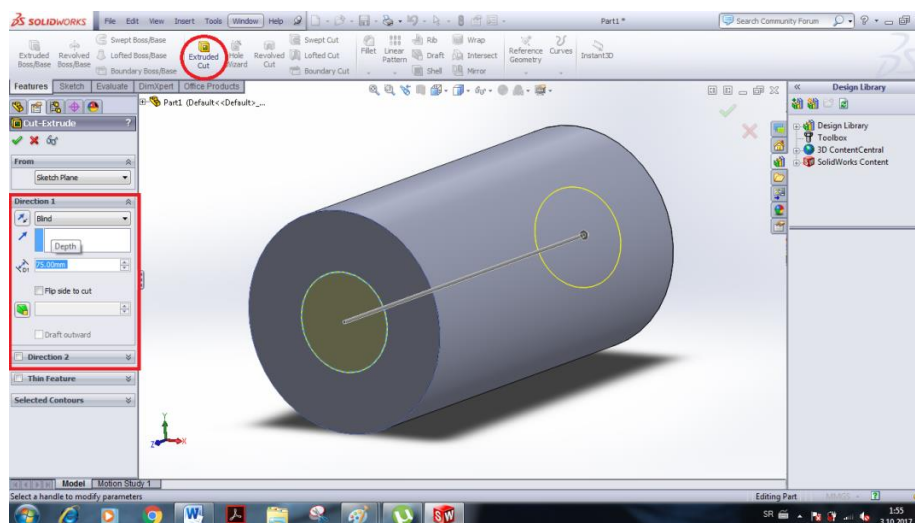
Слика 3.3. Цртање прве скице потребне за израду носача катураче

Следећи корак до израде носача је израда 3D модела од претходно нацртаног цртежа. Изласком из *Sketch*-а враћамо се у тродимензионално окружење притиском на дугме *Features*. Селектује се нацртана скица и притиском алата *Extruded Boss/Base* претвара скицу у тродимензионални модел. У прозору поред упишу се жељене димензије модела и притиском на зелену штиклицу изврши се потврда и функција је извршена. Поред димензија имамо могућност одређенијег подешавања као што је смер пружања модела у односу на раван цртежа (Слика 3.4.).



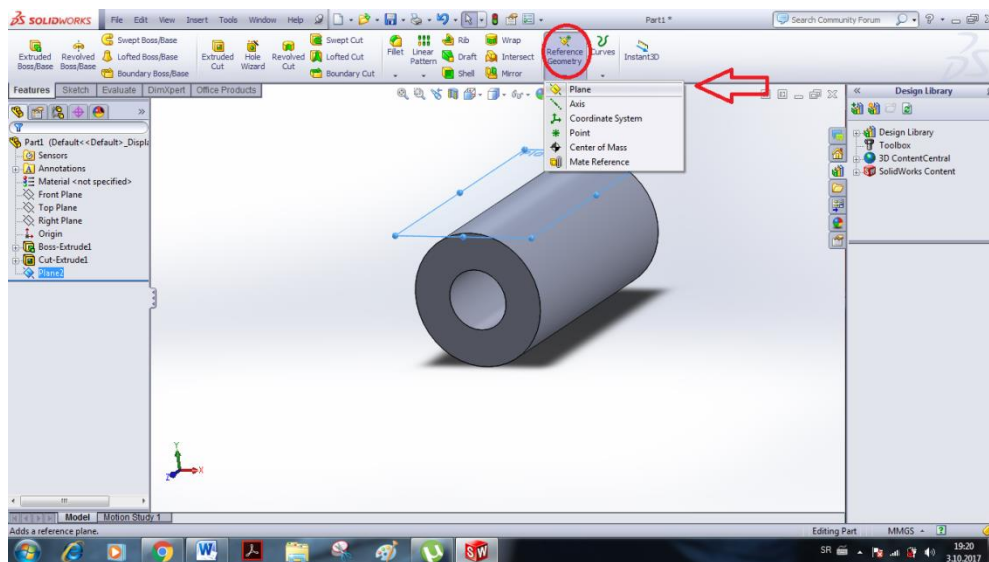
Слика 3.4. Употреба алата *Extruded Boss/Base*

Сада пошто постоји полазни облик модела даље дораде врше се у тродимензионалном окружењу, поред алата *Extruded Boss/Base* користе се и други алате из *Features* tab-а. За прављење отвора на делу користиће се алат *Extruded Cut* тако што ће се након притиска на сам алат селектовати површина на којој ће се уз помоћни 2D цртеж програму задати функција одоносно контура по којој ће извршити уклањање материјала.



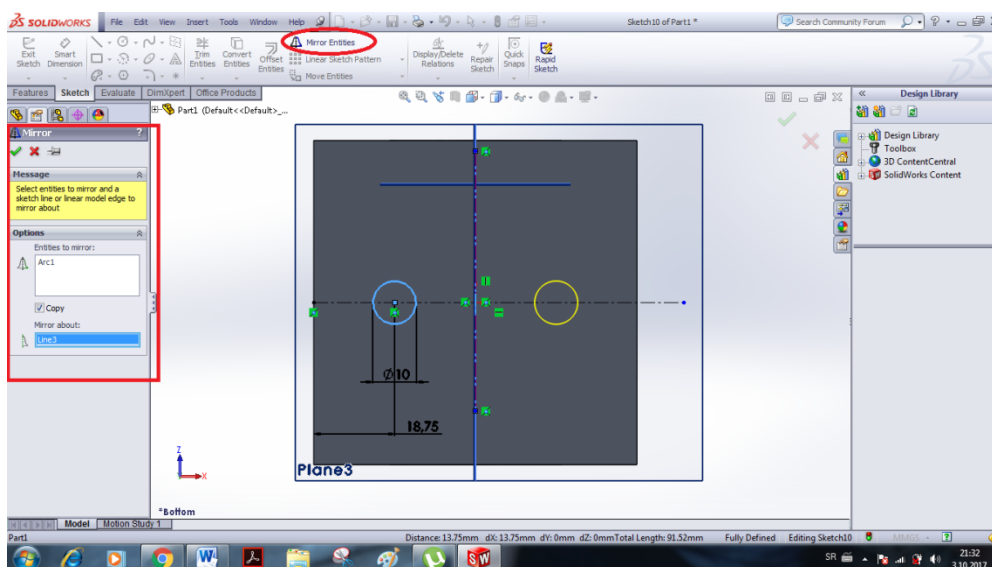
Слика 3.5. Употреба алата *Extruded Cut*

Како би се надограђивала већ постојећа форма модела користиће се нове или већ постојеће равни на за креирање цртежа у *Sketch*-у ради претварања цртежа у 3D модел. За креирање нове равни користи се алат *Plane* који се налази у *Features tab*-у унутар иконице *Reference Geometry* као што се може видети на слици 3.6. У склопу иконице *Reference Geometry* се поред алата за цртање равни налазе и алати за цртање помоћне осе, координатног система, тачке, одређивање центра масе.



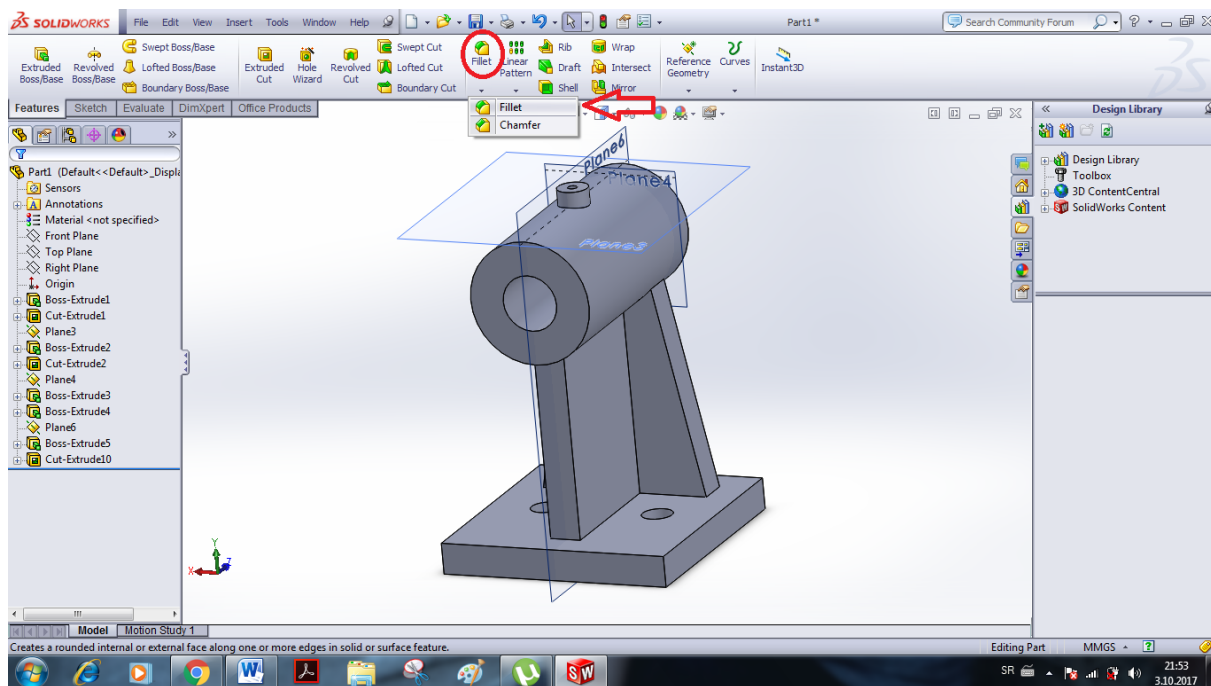
Слика 3.6. Креирање нове равни помоћу алата *Plane*

Уколико нам је цртеж симетричан како би скратили поступак израде помоћу алата *Mirror Entities* који се налази у *Sketch tab*-у као што је приказано на слици 3.7. Када се покрене горе наведени алат прво се обележи контура коју желимо да се копира, а затим се обележи оса у односу на коју ће се контура пресликати.



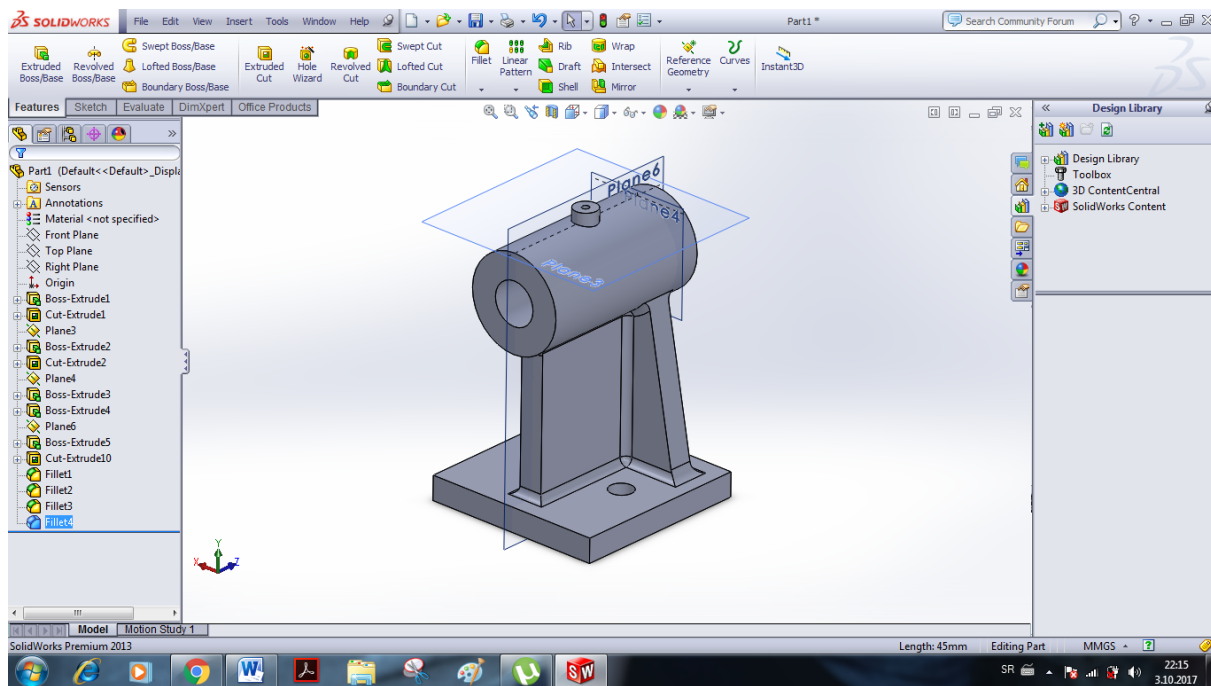
Слика 3.7. Употреба алата *Mirror Entities*

На слици 3.8. је приказан скоро завршен модел носача, потребно је још извршити заобљење одређених ивица помоћу алата *Fillet* који се налази у *Features tab*-у.



Слика 3.8. Приказ носача пре употребе алата *Fillet*

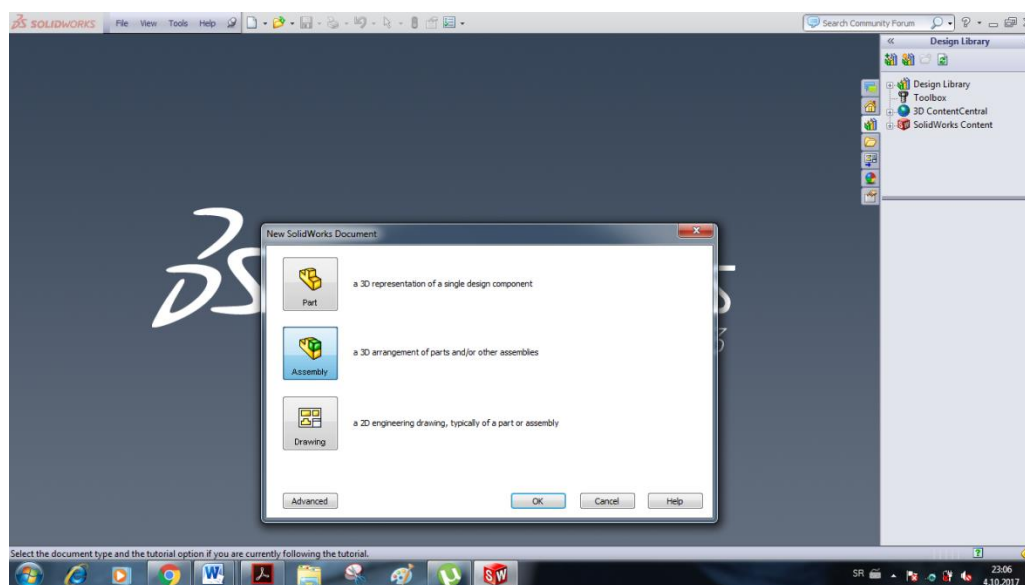
Након што се укључи алат *Fillet* подеси се величина радијуса жељеног заобљења, селекују се све ивице које треба да се заобле. Заобљења се углавном врше као последњи корак при моделирању дела и завршен модел носача је приказан на слици 3.9.



Слика 3.9. Модел носача

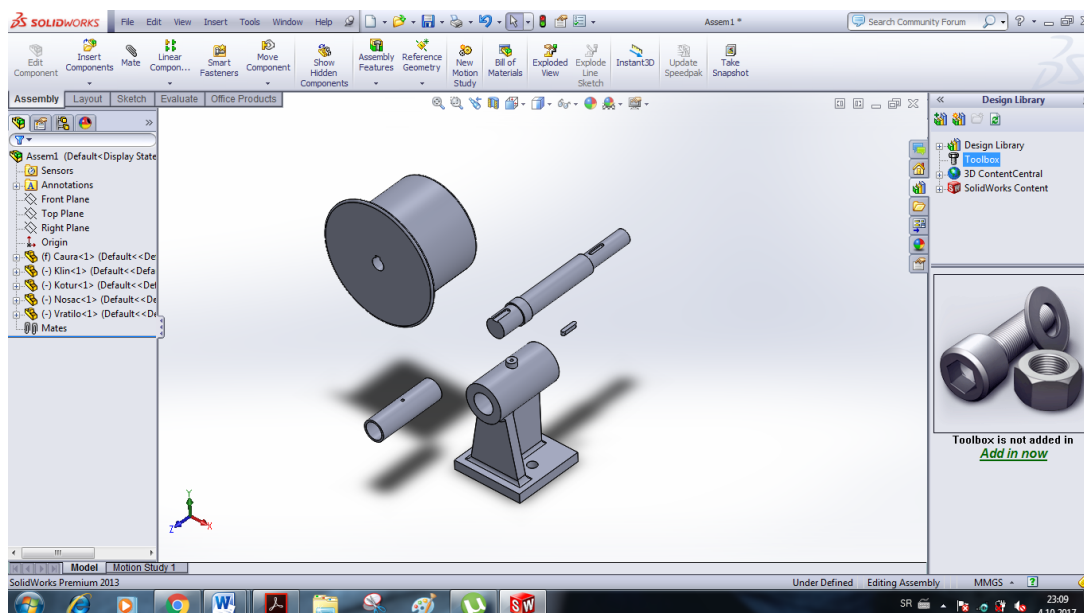
3.2.2. Assembly радно окружење

Након што се измоделирају сви делови склопа котураче користи се ново радно окружење *Assembly* приказано на слици 3.10. како би се направио склоп.

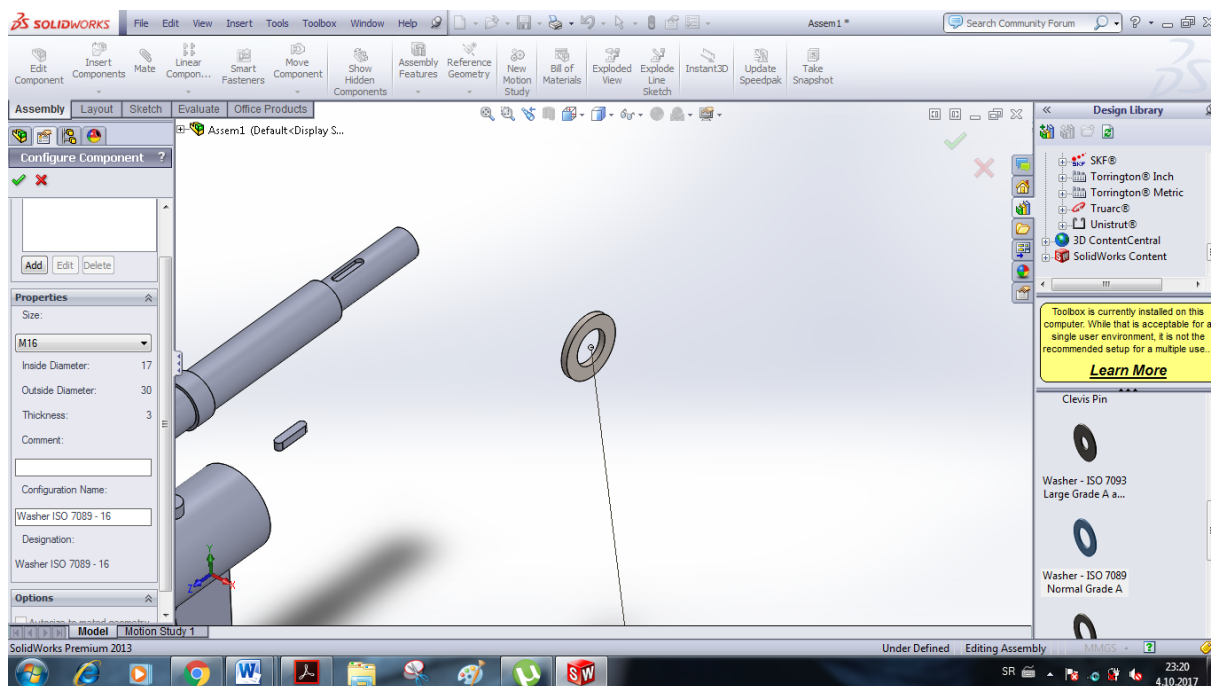


Слика 3.10. Покретање радног окружења *Assembly*

Увезу се сви измоделирани делови притиском на дугме *Browse* али и увезу се већ постојећи стандардни делови из библиотеке програма притиском на *Toolbox* а затим се изабере одговарајући стандард као што је приказано на слици 3.11 . У оквиру фолдера изабраног стандарда се пронађе жељени стандардни елемент према ознаци и увезе се готов модел дела као што је приказано на слици 3.12.

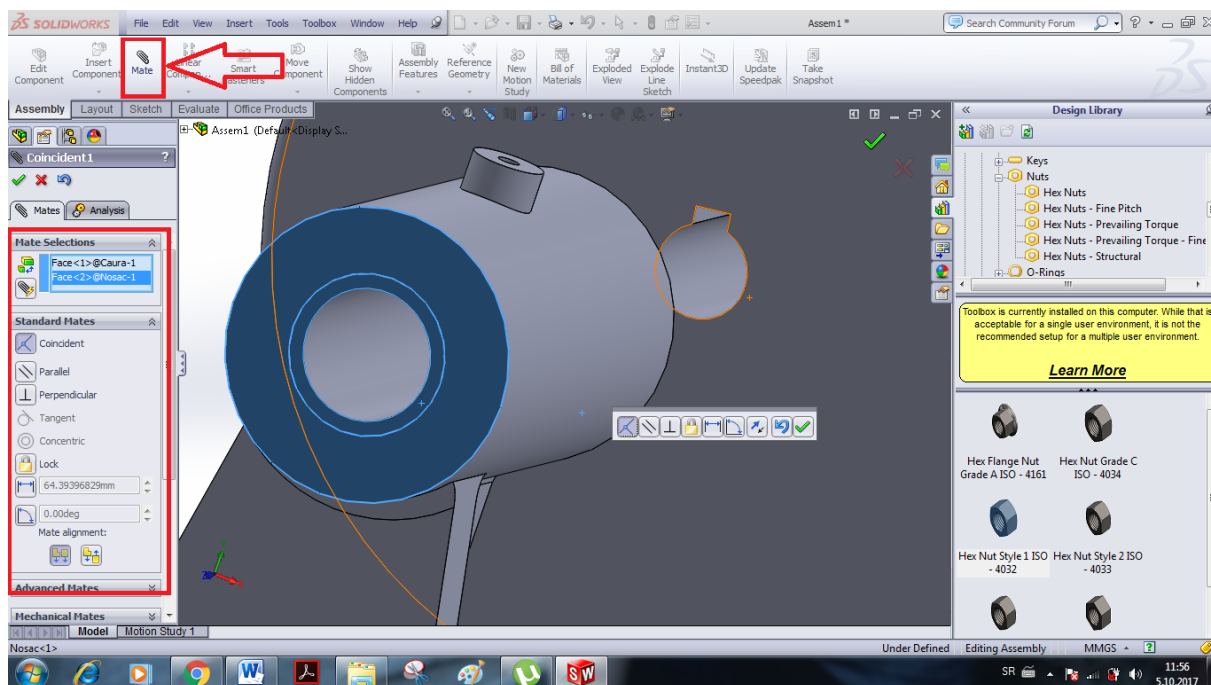


Слика 3.11. Увоз стандардних делова



Слика 3.12. Увоз стандардне подлошке по ISO стандарду

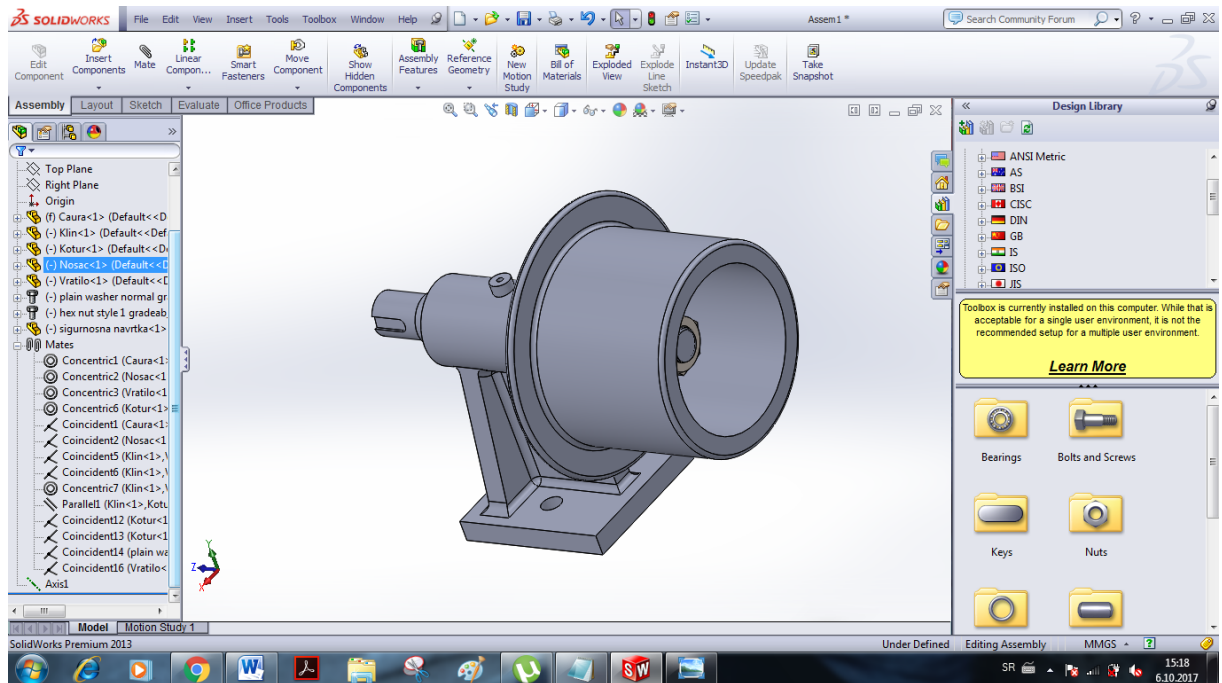
На исти начин увеземо и остале стандардне делове, и када имамо све делове склопа може се извршити склапање. *Mate* је основни алат за спајање делова у *Assembly* окружењу. Користи се тако што се селекују одређени елементи делова који се спајају зависно од начина спајања као што је приказано на слици 3.13.



Слика 3.13. Спајање делова склопа алатом *Mate*

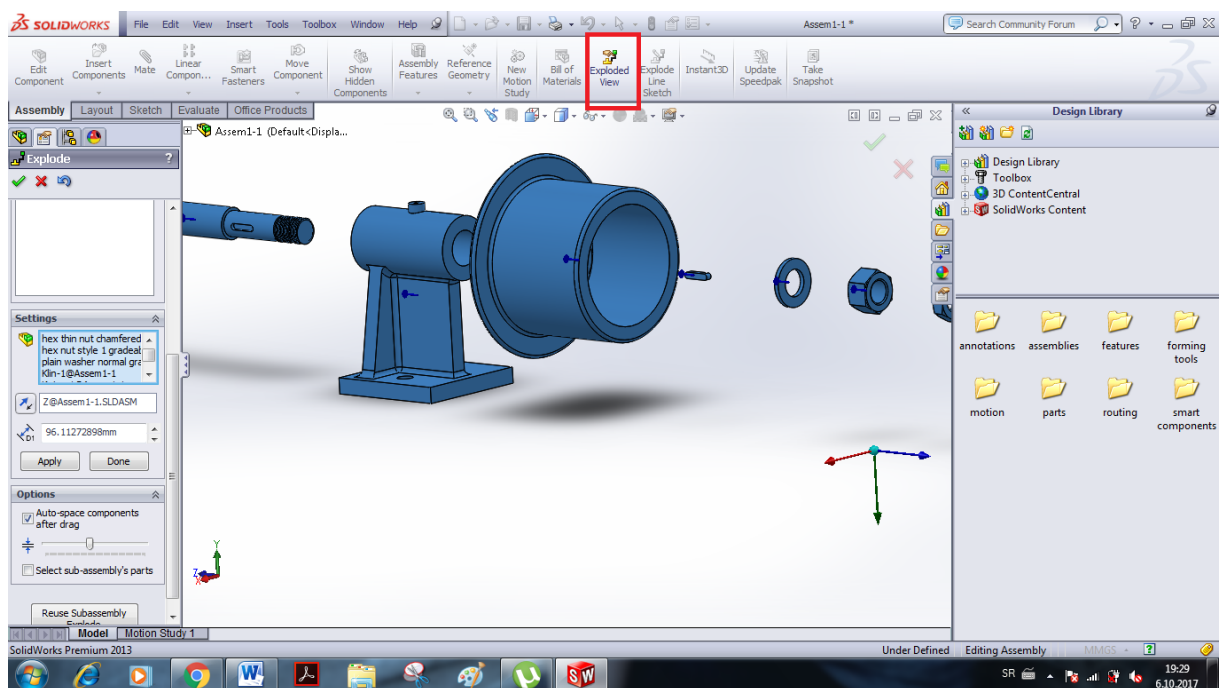
Коришћењем алата *Mate* су спојени сви делови и завршена је израда склопа који је приказан на слици 3.14. Уколико се при изради склопа примети да је дошло до неке

грешке при моделирању неких од делова, на пример ако се неке димензије међусобно зависних делова не подударају, једноставно у пар корака се исправе димензије у *Part*-у дела са грешком и нове димензије ће аутоматски бити исправљене у *Assembly* окружењу.



Слика 3.14. Склоп котураче

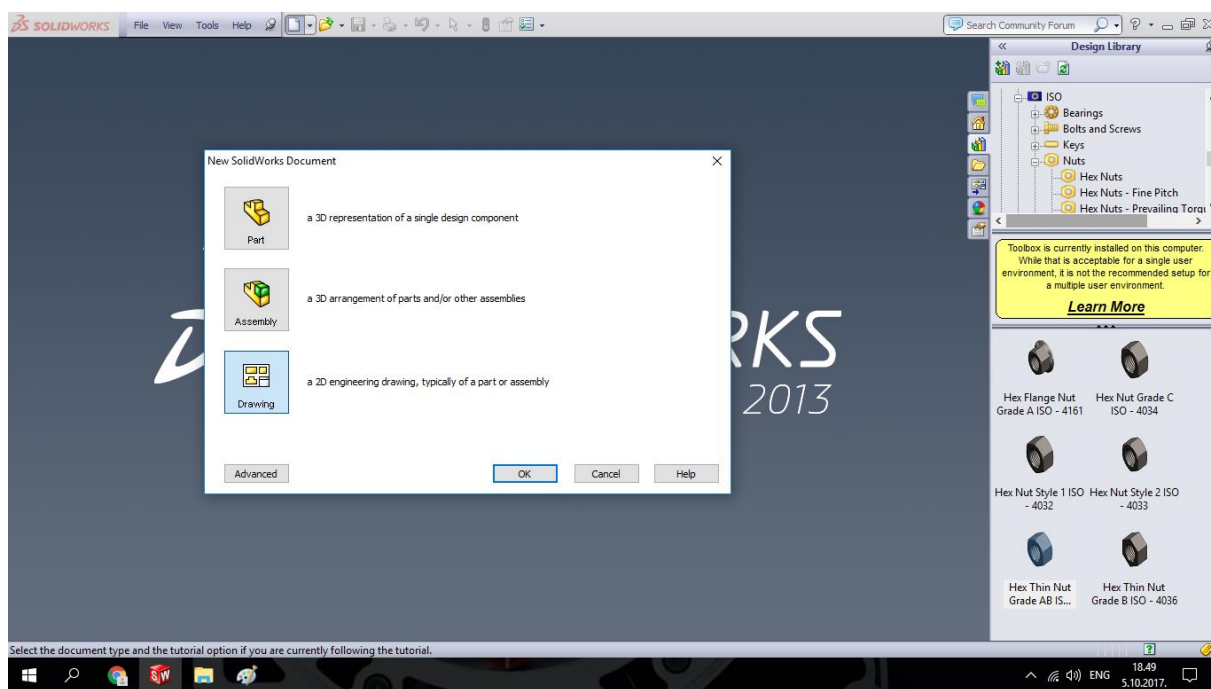
На слици 3.15. приказан је склопни цртеж уз примену опције *Exploded view* помоћу које се могу видети сви делови склопа.



Слика 3.15. Примена команде *Exploded view*

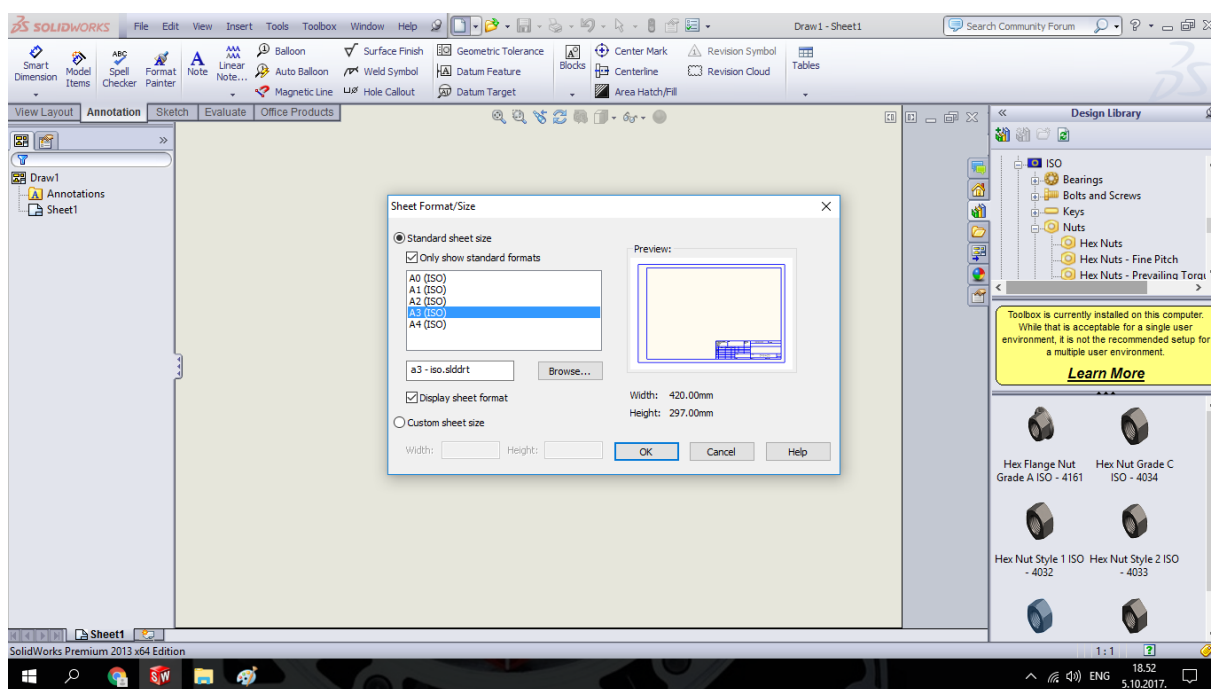
3.2.3. Drawing радно окружење

Након израде модела потребно је направити техничку документацију производа. За израду техничког цртежа дела као и самог склопа користи се радно окружење *Drawing*, начин покретања окружења *Drawing* приказан је на слици 3.16.



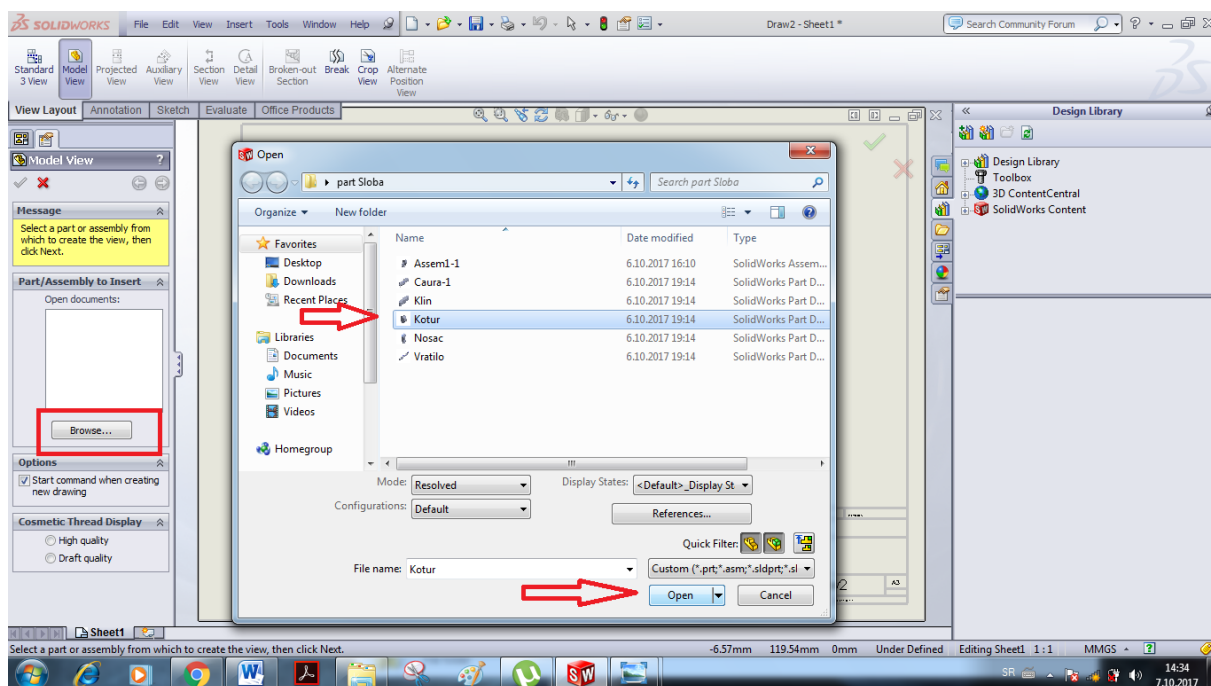
Слика 3.16. Покретање окружења *Drawing*

Када се покренеме *Drawing* радно окружење изабере се жељени стандардни формат цртежа и размер као што је приказано на слици 3.17.



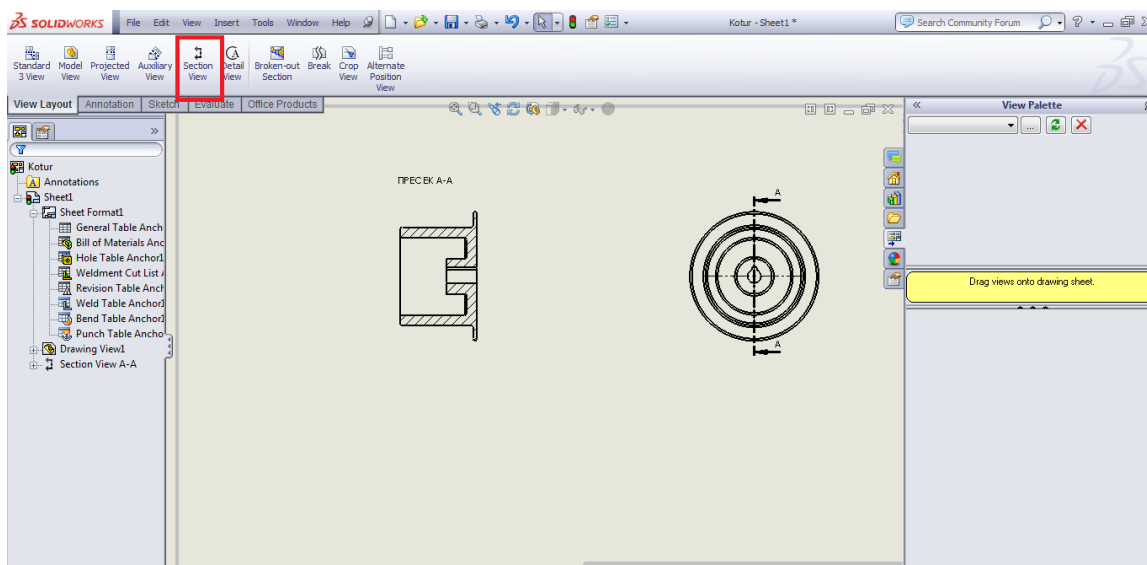
Слика 3.17. Усвајање стандардне величине цртежа

У нов отворени формат цртежа увезе се модел који желимо да се представи на цртежу помоћу опције *Browse*, селекује се жељени предмет кликом на дугме *Open* као што је приказано на слици 3.18.



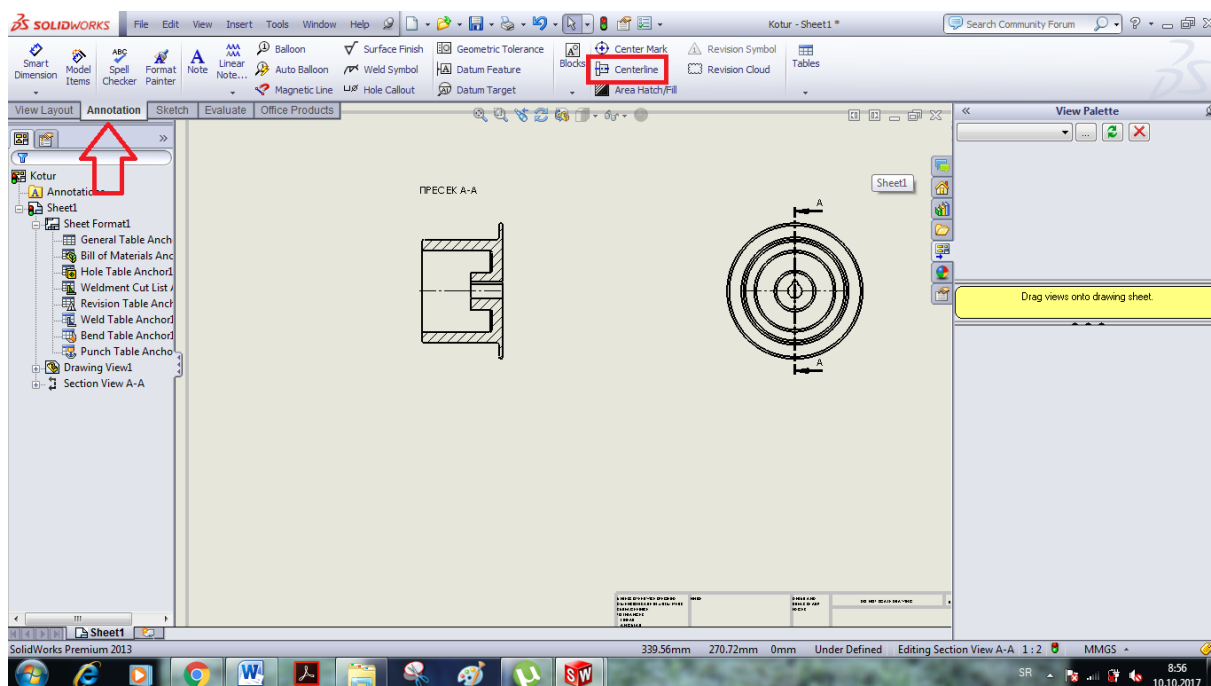
Слика 3.18. Отварање дела у окружењу *Drawing*

Као што је већ поменуто, делови на цртежу се представљају у пројекцијама, а колико је пројекција потребно зависи од сложености дела. За пример представљања дела на техничком цртежу изабран је котур који је једноставније геометрије па је довољно представити га у две пројекције од којих је потребно извршити пресек. Пресек дела се прави једноставном употребом опције *Section View* тако што се изабере врста пресека и селекује се место пресека на првој пројекцији као што је приказано на слици 3.19.



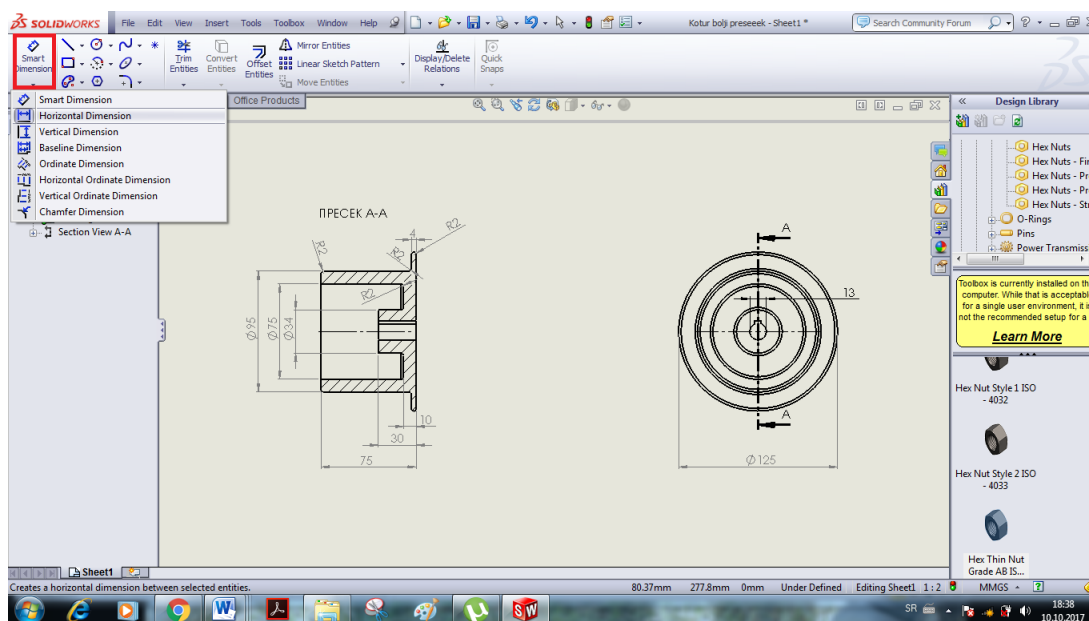
Слика 3.19. Употреба алата *Section View* ради приказа потребног пресека дела

Код цилиндричних делова неопходно је унети осу симетрале на цртежу. Оса симетрале с уноси помоћу алата *Centerline* који се налази у *Annotation* палети алата као што је приказано на слици 3.20.



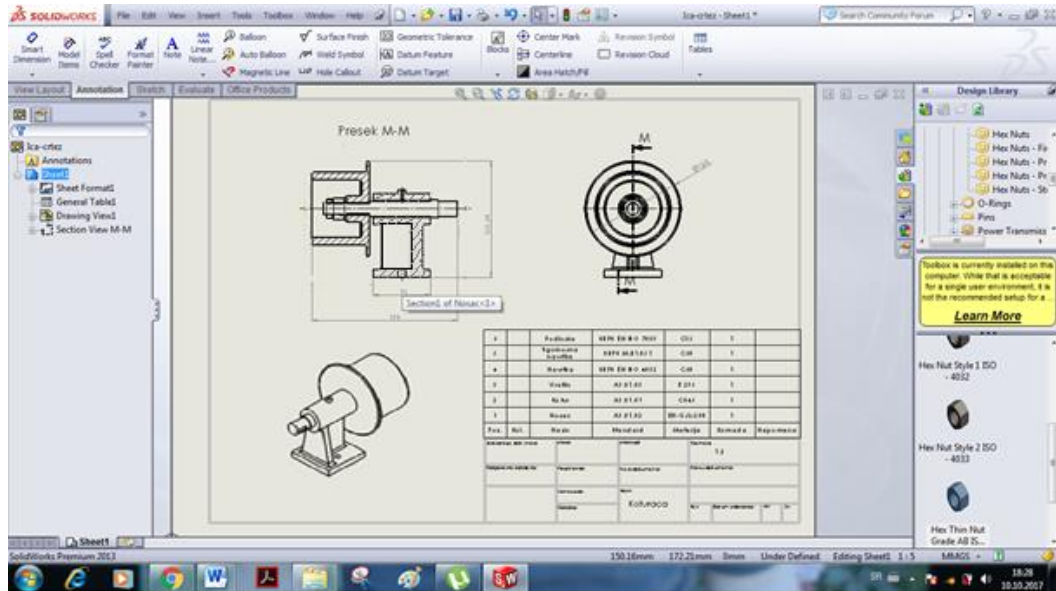
Слика 3.20. Унос осе симетрије цилиндричког дела помоћу алата *Centerline*

Котирање се врши на исти начин као и у другим радни окружењима помоћу алата *Smart Dimension* или помоћу других сродних алата за уношење кота које могуће је пронаћи притиском стрелице испод видљиве иконице *Smart Dimension* као што је приказано на слици 3.21. При котирању у *Drawing* окружењу посебно треба водити рачуна о правилима котирања.



Слика 3.21. Котирање у *Drawing* радном окружењу

Како је урађен технички цртеж једног дела на исти начин се врши и израда склопног цртежа. Као пример биће урађен склопни цртеж са изометријским приказом склопа котураче. Поред приказа пројекција и изометријског приказа склопа приказане су позиције делова као и одговарајућа попуњена саставница.



Слика 3.22. Склони цртеж са изометријским приказом склопа котураче

4. Улога *CAM* система у инжењерским комуникацијама

У корацима настанка производа од идеје до дела који се већ налази код купца један од најважнијих корака је сам процес производње, односно трансформација електронског модела у стваран производ. Како би производ испунио све захтеве произвођача и потрошача, као и целокупног тржишта, неопходно је да су обезбеђени услови за претходну проверу свих аспеката производње. Провером производа се постиже адекватно и благовремено решавање проблема као што су неекономичан ток материјала, повреде при раду и други технички проблеми. У те сврхе користе се *CAM* системи. *CAM* системи имају велики број функција и представљају програмске системе за рачунаром подржану производњу што омогућује скраћено време настанка производа. *CAD* и системи садрже велики број активности и функција који припадају различитим областима производње и технологија, а најчешће се користе за пројектовање и симулације обрадног поступка прављење програма за нумерички управљане машине алатке. Након израде модела и техничких цртежа производа помоћу *CAD* система следећи корак је коришћење *CAM* система за компјутерски подржану производњу, најчешће се *CAD* и *CAM* системи интегришу заједно, али се праве и самостално уз могућност прилагођавања другим системима.

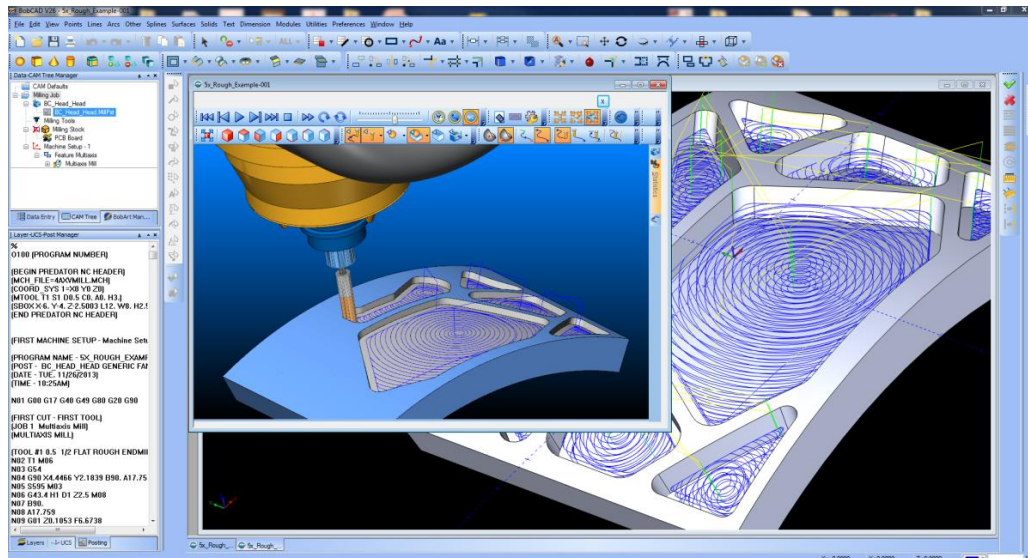
4.1. Пројектовање производње помоћу *CAM* система

Стварање новог производа се састоји из више незаобилазних фаза а то су пројектовање производа, планирање производње и сама производња. Уколико би се овај процес изводио на традиционалан начин производ не би могао лако да пронађе своје место на тржишту. Традиционалан начин извођења ових фаза се заснива на извршавању наредне фазе тек што се комплетно заврши претходна а такав темпо производње данас је превазиђен јер је дуг временски период настанка производа. Савремени настанак производа се заснива на конкурентном инжењерству које представља паралелни производни ток међусобно мање зависних корака у производњи. Рецимо, када се изврши један део пројектовања целог производа може се почети са планирањем производње и технологије тог дела производа, а када се то изврши може почети и производња тог дела. Уз адекватан *CAD-CAM* систем и методу конкурентног инжењерства производ и производња задовољавају актуелно тржиште.

Помоћу *CAM* система могуће је пратити производне функције, односно управљање процесима и токовима производње. Али велики број *CAD-CAM* система се користи за пројектовање технолошких поступака и обухвата пројектовање технолошких поступака помоћу рачунара, аутоматско креирање програма за нумерички управљане машине алатке, базе података о обрадљивости. Класичан *CAM* систем који се бави физичким операцијама производног система обухвата управљање производним процесима (контрола опреме и процеса), квалитетом, обрадним процесима (поседовање информација о току производње), залихама материјала и опреме, “*Just in time*” процесима. “*Just in time*” су системи који ограничавају тачан број производа који ће бити направљени за одређено време.[3]

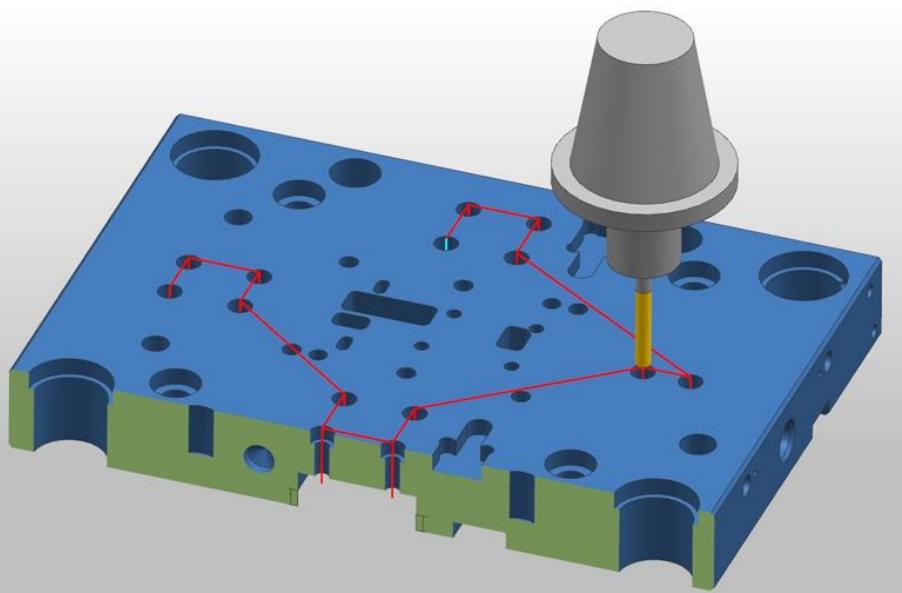
Пре било ког корака производње неопходно је извршити симулацију појединих технолошких процеса као и целог производног процеса. То се ради да би на време били

уочене могуће грешке и неправилности. Циљ је да се што више грешака уклони пре почетка производње чиме се поред краћег времена настанка производа постиже и уштеда материјала, машина и алата, могућих повреда при раду итд. На слици 4.1. дат је приказ симулације обраде производа у неком од CAD софтвера.



Слика 4.1. Симулација обрадног процеса. [15]

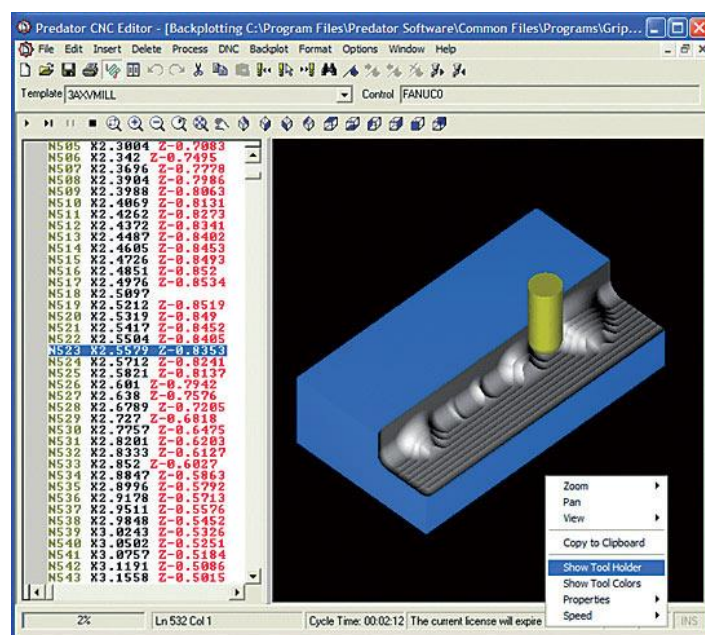
Обзиром на чињеницу да САМ софтвер има велики број могућности навешћемо неке најважније као што су: генерисање припремка, генерисање путање алата, прорачун времена израде, генерисање NC програма, прављење и коришћење базе података, симулација процеса израде, генерисање производне документације, брза израда прототипова, управљање производним процесима.



Слика 4.2. Генерисање путање алата. [16]

Да би производ задовољио тржиште и испунио сва очекивања неопходно је строго водити рачуна о сваком кораку настанка производа. Веома важан корак је избор адекватног припрема, зависно од геометрије производа и материјала. Рецимо уколико производ треба да буде цилиндричног облика користи се припремак сличне геометрије. CAD софтвер омогућује аутоматско генерисање припремака на основу његове геометрије и габаритних димензија. На основу параметара производње и технологије прорачун времена израде које обухвата главно време израде као и припремно, помоћно и завршно време се врши аутоматски.

NC програми су програми помоћу којих се потпуно аутоматизовано врши рачунарско управљање производном опремом, као и нумерички управљане мерне машине, транспортна средства, роботи. Ови програми су осмишљени тако да могу да генеришу више врста обрада и то врше потпуно аутоматизовано на основу подела производа. Неизоставан захват при формирању производа је постпроцесирање јер представља поступак обједињавања свих потребних операција и захвата. Такође, у постпроцесирање спада и подешавање програма за управљачку јединицу NC машине. Код неких система постоји могућност генерисања датотеке путање алата (енгл. "Cutter Location Data file-CL Data file") и они захтевају унос команди за израду дела. Те команде нису у сагласности са инструкцијама за конкретну управљачку јединицу CNC машине алатке, зато је неопходно да се та датотека преведе у форму која је прихватљива управљачкој јединици односно у такозвану датотеку за управљање CNC машином. Превођење ове датотеке врши постпроцесор (енгл. *postprocessor*). Када се изврши превођење датотеке и ускладе инструкције са карактеристикама машине онда се генерише датотека за управљање машином и листинг датотеке. Пренос добијеног програма се врши помоћу оптичког диска а неки системи поседују директну везу са рачунаром у којем се формира програм.



Слика 4.3. Датотека за управљање CNC машином. [17]

Прављење производне документације у савременим *CAM* системима представља формирање документације у електронском облику који је одличан за размену између учесника тима у развоју производа. Комуникација ове врсте се данас изводи преко интернета па се генерисање производне документације односи на аутоматско креирање документа у *HTML* формату. Текст који се креира у таквом формату се назива *hiper* текст. Значај аутоматског креирања производно-технолошке документације је веома велики јер се тиме постиже повећање продуктивности, брзе и једноставне модификације, смањење трошкова, брз приступ великом броју података, лако чувању и архивирању као и олакшана комуникација. На тај начин производна документација поставља инжењерске комуникације на неки нови, виши ниво. Уколико желимо да пронађемо неки документ једноставно претражимо на интернету помоћу хиперлинкова. Када се документација креира на такав начин може се одштампати уколико је то потребно али се највише користи у електронској форми. Једноставним електронским слањем и проналажењем документације путем интернета инжењер може лако да размењује информације са члановима тима који учествују у производњи.

Значај инжењерских комуникација се може видети у сваком кораку настанка производа, па у корак са развојем производних система развијају се инжењерске комуникације. Сви нови производни системи који настају и развијају се у корак са временом имају имају заједничку особину а то је константна примена информационих система. Па тако *CAM* системи са својим алатима имају у одеђеној мери елементе дигиталне производње. *“Дигитална производња је софтверска технологија усмерена ка оптимизацији производних процеса, управљању производним информацијама и подршци колаборативним инжењерским активностима, применом пуне рачунарске дефиниције производа и процеса”*. [3] Како би имали максималну добит у производњи примењује се дигитална производња. Дигитална производња обезбеђује да се у оквиру једног софтвера врши цео поступак пројектовања као и реализације производа. Велика предност оваквог система је та да се комплетном аутоматизацијом поред краћег времена израде и доброг квалитета не губе информације самог процеса. Касније се те информације могу искористити и само уз мање кориговање употребити за неки сличан процес. За реализацију производа дигиталним путем користе се производни модели који представљају просторне, контролне, обрадне и друге ресурсе неопходне за стварање и реализацију производа. Због тога визуелизација ресурса представља веома важан корак при настанку производа.

5.Закључак

Суштина овог рада се заснива на важности инжењерских комуникација. Кроз историју како је човек правio нове изуме и предмете за свакодневну употребу имао је потребу да те информације о начину стварања подели. Прво се учење преносило усмено а потом цртежима. Цртежи су се временом развијали, већ у периоду ренесансе дошло је до експанзије изума широм Европе али ти цртежи нису били практични јер је само конструктор могао у потпуности да их разуме. Са развојем индустрије појавиле су се потребе друштва за униформним правилима приказа производа и упутства за његову употребу како би била омогућена размена информација како између инжењера тако и између произвођача и купца. Комплетно израђена техничка документација са упутством за инсталацију, коришћење и одржавање постигла је свој врхунац за време двадесетог века. Са развојем рачунарских технологија упоредо се одвијао развој инжењерских комуникација. Рачунарски подржано инжењерство својим великим спектром могућности пружа једноставан тачан и прецизан начин приказа потребних информација о производу за све кораке његовог настанка. За релативно кратак временски период инжењерске комуникације су од традиционалног представљања на папиру достигле до нивоа савременог дељења информација помоћу рачунара и интернет система. Поред дводимензионалног приказа производа, како би се остварила што јаснија комуникација, тродимензионални приказ производа је у великој мери подигао ниво визуелизације производа. Израда *2D* цртежа и *3D* модела, визуелизација и анимација постали су саставни део сваког пројекта, док комуникација путем интернета убрзава процес пројекције и побољшава координацију између пројектанта, инвеститора и тима на терену.

Литература

- [1] Л. Т. Ивановић, М. Д. Ерић: Техничко цртање са компјутерскоом графиком-практикум- , Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2014
- [2] З. Милојевић, М. Рацков, С. Кузмановић, И. Кнежевић, С. Навалушић, Л. Ивановић, М. Вереш, Б. Марковић : Израда конструкционе документације, Нови Сад 2015
- [3] Г. Девеџић: Софтверска решења CAD/CAM система, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2004
- [4] Frederick M. O'Hara, Jr. : A Breief History of Tehnical Communication [http://www.msubillings.edu/cotfaculty/fullon/notes/History%20of%20Technical%20Communication%20\(2\).pdf](http://www.msubillings.edu/cotfaculty/fullon/notes/History%20of%20Technical%20Communication%20(2).pdf)
- [5] Р. Глигорић, С. Анђелковић: Нови приступ у изради и коришћењу техничке документације, ФТН Нови Сад
- [6] Anna's weaving loom: <https://cv.vic.gov.au/stories/creative-life/the-apisis-loom/ervins-apisis-technical-drawings-for-annas-weaving-loom-c-1949/> 20.09.2017
- [7] All abbout Leonardo: <https://allaboutleonardo.wordpress.com/war-machines/>
- [8] И. Крстић : Међународна класификација стандарда, друго издање, 2009
- [9] S. R.Vulic: <https://tehcrtanje.wordpress.com/2011/10/29/vrste-projiciranja-orjentacija-u-prostoru/#more-115> 08.10.2017
- [10] <http://ww2today.com/wp-content/uploads/2014/09/v2-diagram.jpg> 08.10.2017.
- [11] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octants.png> 8.10.2017.
- [12] <http://moodle.mfkg.rs/login/index.php> 25.10-2017 20.09.2017.
- [13] <http://thedreamwithinpictures.com/blog/incredibly-detailed-diagram-shows-an-exploded-view-of-nikons-iconic-f3-camera> 08.10.2017.
- [14] <https://www.castingtrade.com/puznimer2.htm> 07.10.2017.
- [15] <http://bobcad.com/cad-cam-software-is-best-for-cnc-machining-success/> 08.10.2017.
- [16] <https://www.axiomtech.cz/24818-nx-cam-2-5-ose-frezovani> 08.10.2017.
- [17] <http://bobcad.com/products/predator-cnc-editor/> 08.10.2017.