

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Инжењерски алати

Број индекса: 137/2016

Милан М. Кучпарић

Моделирање сложених површина у CAD софтверима

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Ненад Марјановић, ред. проф., ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да обради тему Моделирање сложених површина у CAD софтверима, опише најзначајније команде које се налазе у окружењу Generative Shape Design и прикаже коришћење тих команди кроз више примера.

Препоручена литература:

- [1] Ненад Марјановић, Основе 3D моделирања у CAD софтверима, Крагујевац 2014.
- [2] Зоран Милојевић, Милан Рацков, Синиша Кузмановић, Иван Кнежевић, Слободан Навалушић, Лозица Ивановић, Мирослав Вереш, Биљана Марковић, Израда конструкционе документације, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2015.
- [3] Ron K. C .Cheng, Autodesk Mechanical Desktop 2005, Микро књига, 2005.

Ментор:

Крагујевац, 15.02.2019.

Др Ненад Марјановић, ред. проф.

Резиме

У оквиру овог завршног рада у програму Catia V5R21 описано је моделирање сложених површина у модулу Generative Shape Design. У самом раду је описан принцип моделирања кроз два модела, као и описи већине алата који се налазе у овом модулу. Такође у раду су објашњене неке основе о CAD-у као и његов историјски развој.

Кључне речи: CAD, Generative Shape Design , рекет, рачунарски миш, Catia, сложене површине

Abstract

As part of this final work, the modeling of complex surfaces in the module Generative Sharp Design is described in the Catia V5R21 program. The work itself describes the principle of modeling through two models, as well as descriptions of most of the tools contained in this module. The paper also explains some basics about CAD as well as its historical development.

Key words: CAD, Generative Shape Design , racket, computer mouse ,Catia, Complex Surfaces

Садржај

1.	Увод	1
2.	CAD/CAM технологије	2
3.	CAD системи.....	7
4.	Типови геометријских модела	10
5.	Моделирање сложених површина	14
	5.1 Generative Shape Design.....	14
	5.2 Wireframe and Surface Design.....	46
6.	Моделирање делова	55
	6.1 Креирање моделских форми.....	55
	6.2 Компоновање моделских форми	58
7.	Примери модела сложених површина.....	59
	7.1 Кућиште рачунарског миша	59
	7.2 Рам рекета.....	70
	7.3 Машински део	79
	7.4 Штедљива сијалица	90
8.	Заључак.....	101
9.	Литература	103

1. Увод

У другој половини двадесетог века учињен је велики напредак у проналажењу и развоју многих техника и технологија које су значајно утицале на индустријску производњу. Најважније место међу њима заузима развој микропроцесора и рачунара. Такође, треба додати и развој нових машина, робота, алатки, техника наношења разних врста превлака, неконвенционалних поступака обраде и др. Без обзира на међусобну повезаност ових техника и технологија, може се потпуно оправдано рећи да је највећи утицај на измену и развој начина класичне индустријске производње, укључујући и појаву нових видова индустрије, имао развој рачунара.

Рачунарство и информатика су у највећој мери утицали на аутоматизацију процеса, поступака и активности које се практикују у индустријској делатности. Узајамни утицај две важне области науке и инжењерства - рачунарске науке и теорије система - допринео је бурном развоју производних система. То је резултирало, између осталог, и увођењем аутоматизације у све сегменте индустријских система. Сем тога, информациона технологија је условила, како иницирање, тако и имплементацију низа концепата, принципа, приступа и филозофија које данас одређују свеукупност индустријског ангажовања усмереног ка тржишту. Основни захтеви савременог тржишта, који у основи усмеравају производне и организационе активности, везани су за висок квалитет производа, скраћено време од идеје до реализације, ниске цене, производњу у серијама прилагођеним потребама тржишта, велики асортиман производа и сл. Да би томе одговорили, савремени производни системи треба да поседују високу конкурентску способност која им може омогућити да адекватно одговоре на постављене захтеве и изборе се са све већом и агилнијом конкуренцијом. Неке од карактеристика, које у том смислу треба да поседују савремени производни системи односе се и на: ефикасност, флексибилност, постојан (висок и стално унапређиван) квалитет, могућност реконфигурабилности, рачунарски интегрисане активности, итд.

2. CAD/CAM технологије

Аутоматизација пројектовања у машинству омогућила је превођење конструкторских и пројектантских активности из традиционалних у тзв. "електронске" приступе. Традиционални приступи подразумевају да се развој конструкције производа одвија уз помоћ „папира и оловке“. То значи да конструктори своје идеје и детаљне разраде појединих елемената и читавих склопова изводе за цртаћим таблама. Тек у неznатној мери се у ту сврху могу користити рачунари. При томе, чак и у случајевима веће примене рачунара и одговарајућих програмских алата, шира повезаност и обједињеност свих етапа пројекта изостају. Слично важи у области инжењерских прорачуна, где је значајније коришћење рачунарских ресурса већ годинама више изражено, као и у области пројектовања технолошких поступака и управљања производњом. Дакле, традиционални приступи се одликују или потпуним изостанком аутоматизације пројектовања, или спорадичном и информатички неповезаном применом рачунара током појединих етапа укупног развоја производа и пратећих процеса. [3]

Са друге стране, електронске приступе одликује широка примена рачунара и одговарајућих програмских алата. Данас се овакви приступи развоја производа и процеса готово искључиво подразумевају. Штавише, остваривање савремених концепата индустријске праксе незамисливо је без аутоматизације свих сегмената развоја, од идеје до пласирања производа на тржишту, па све до краја његовог века.[3]

Посебно значајан напредак у аутоматизацији процеса и поступака у индустрији забележен је крајем 80-их и почетком 90-их година прошлог века. Први продори у аутоматизацији конструкторско-производних поступака учињени још крајем 50-их и током 60-их година, када су реализовани концепти нумеричког управљања машинама алаткама. Осма деценија XX века обележена је увођењем концепта групне технологије, а 80-е године донеле су веће продоре система за аутоматско пројектовање технологија. То, свакако, треба довести у везу са могућностима рачунара, које у то време нису биле на довољно високом нивоу, као и са чињеницом да инжењерима рачунарске и информационе технологије нису биле доступне у одговарајућој мери. Са друге стране, развој рачунарских и информационих технологија омогућио је лакшу примену појединих математичких дисциплина, које чине окосницу система аутоматизације, па је на тај начин додатно убрзан развој и примена система за аутоматизацију пројектовања у машинству.[3]

Заједно са аутоматизацијом машина применом концепта нумеричког управљања (NC или NU системи) појавили су се и системи за пројектовање делова помоћу рачунара (CAD системи). Даљи развој NC система резултирао је у појави рачунарског нумеричког управљања (CNC) и директног, односно, нешто касније, дистрибуираног нумеричког управљања (DNC). Ови системи чине окосницу система аутоматске производње делова (CAM), као и флексибилних технолошких система (FTS). Концепт групне технологије (GT) заступљен је у индустрији на разне начине још од прве половине XX века, али се интензивније развија и примењује тек појавом NC технологија. Нарочито интензиван развој и примена групне технологије бележи се од 70-тих година када је успостављена широко прихваћена методологија шифрирања (кодирања) делова, односно производа. [3]

Шифрирање је уско повезано са применом рачунарских технологија, па је групна технологија доживела процват кроз FTS и рачунаром интегрисане производне системе (CIM).

Јасно је да су овакве околности захтевале и системе који би аутоматизовали, а тиме и убрзали, поступке пројектовања технологије и планирања производње делова (CAPP системи). Системи за аутоматско пројектовање технолошких поступака представљају логичну последицу развоја и примене система за аутоматско пројектовање и аутоматску израду делова у индустрији. Традиционално, ови системи представљају везу CAD И САМ система. Данашњи интегрисани системи за развој производа у највећој мери обједињавају функције свих ових система. Коначно, последња деценија XX века окарактерисана је појавом и развојем, тзв. интелигентних производних система (IMS), као и система за управљање животним циклусом производа (PLM системи). Њих посебно одликује интензивна примена рачунарских и информационих технологија.[3]

PLM системе, као системе са највећим степеном аутоматизације и интеграције конструкторско-производно-пословних функција, одликује неколико основних принципа. Они чине кључ остваривања концепта интегрисаног развоја производа и процеса на конкурентан и ефикасан начин. Рад PLM система заснива се на:

- креирању модела,
- примени моделских форми,
- параметарском дефинисању моделских форми и модела,
- примени релација, примени односа "родитељ-дете",
- асоцијативности модела и
- визуелној комуникацији.

Ови основни принципи примењени су у свим PLM системима који се данас нуде на тржишту, као и у парцијалним CAD, CAE, CAPP и САМ (под)системима. Уз то, поштују их и произвођачи програмских система и алата за размену података између различитих информационих и програмских платформи (тзв. системи за интеграцију апликација).[3]

Код савремених начина пројектовања помоћу рачунара полази се од раванске (дводимензионалне, 2D) пројекције основног тродимензионалног облика производа који се моделира. У даљем поступку стварања модела додају се остали геометријско-технолошки ентитети којима се постиже крајња форма производа. Савремени CAD/CAM програмски пакети поседују посебне модуле за скицирање основних идеја конструктора, које се током рада могу лако мењати и дорађивати. Зато се често каже да ти или слични модули замењују "бележницу" конструктора, што додатно истиче повећану комфорност и природност при раду. То значи да пројектант није од самог почетка оптерећен димензијама ("котама") производа, већ стварањем његовог облика, а тек након тога уводи димензиона и остала функционална ограничења која одликују дати производ.[3]

Овакав поступак суштински мења приступ пројектовању кроз олакшавање извођења (спровођења) активности везаних за стварање модела производа, већу флексибилност у раду, подизање нивоа креативности, подизање нивоа ефективности, смањење трошкова развоја производа, већу природност при раду, примену кључних принципа модерног инжењерства, итд.

Дакле, суштина приступа и поступака развоја производа и процеса помоћу рачунара огледа се у стварању модела. У различитим фазама развоја модел има различито специфично значење.

Оно је повезано са карактеристикама и потребама активности које се спроводе у циљу стварања готовог производа. У контексту рачунарског пројектовања производа и процеса може се навести следећа генеричка дефиниција модела:

Модел је рачунарска представа (репрезентација) реалног производа или процеса

Ова дефиниција је општег карактера и има за циљ да укаже како на нематеријалну страну модела, тако и на настојање постизања што реалније представе будућег производа или процеса. Тиме се истичу претпоставке везане за имплементацију концепата модерног инжењерства и испуњење захтева тржишта, у смислу брзе, ефикасне и свеобухватне реализације пројекта

Са друге стране, свака фаза развоја производа и процеса има своје специфичности које на посебан начин истичу особености модела који током њих настаје. Основни модел који се користи током свих фаза развоја производа и процеса, и шире, током читавог животног циклуса производа, је геометријски модел.[3]

Стварањем геометријског модела обезбеђују се услови за читав низ анализа и провера. Њима се симулирају експлоатационе карактеристике производа, кроз задавање реалних ограничења. Тиме се отклањају могућности предвиђања недовољно добрих решења, односно постиже се формирање оптималне конструкције, уз задовољење захтева сигурности коришћења производа у реалним условима. Такав модел, настао на основу геометријског, назива се инжењерски модел:

Инжењерски модел је рачунарска представа кинематских, структурних, термичких и функционалних карактеристика производа.

Кроз пројектовање технолошких поступака обраде помоћу рачунара могу се у највећој мери симулирати стварни услови израде производа. То се, пре свега, односи на путање алата, режиме обраде и спречавање могућности интерференце алата са осталим елементима обрадног система. Сем тога, омогућена је провера и оптимизација програма за нумерички управљане машине алатке, који се аутоматски генеришу и чине део технолошког модела:

Технолошки модел је рачунарска представа карактеристика технолошких поступака израде производа.

Коначно, за симулацију и проверу читаве производње неопходан је производни модел који садржи све релевантне карактеристике неопходне за управљање производном опремом и процесима:

Производни модел је рачунарска представа производних и управљачких карактеристика поступака производње производа.

Да би се креирао модел производа и/или процеса неопходно је испоштовати одговарајуће поступке и процедуре. Они су усмерени ка дефинисању, како општих, тако и специфичних карактеристика модела у појединим фазама развоја. Читав процес назива се моделирање и може се дефинисати на следећи начин:

Моделирање је процес стварања модела кроз дефинисање његових геометријских димензионих тополошких инжењерских технолошких и производних карактеристика.

До сада изнете основне карактеристике PLM и CAD/CAM система указују да је развој новог производа, процеса израде и пратећих процеса заснован на стварању компонентних рачунарских модела, као организованих скупова релевантних података и информација. Може се приметити да је овако дефинисан модел знатно различит од класичних цртежа и остале техничко-технолошке документације која у традиционалним приступима прати и дефинише развој и реализацију производа. У наредном одељку се, стога, описују основне разлике између модела и цртежа и истичу предности савременог приступа развоју производа и процеса.

Окосницу PLM система чини интеграција софтверских алата који се везују за поједине фазе развоја животног циклуса:

- пројектовање помоћу рачунара (енгл. "Computer Aided Design - CAD"),
- рачунаром подржану производњу (енгл. "Computer Aided Manufacturing CAM") и
- рачунаром подржан инжењеринг (енгл. "Computer Aided Engineering - CAE"),

или скраћено CAD/CAM/CAE алати. Са друге стране, рачунаром подржан инжењеринг, иако јасно дефинисана научно-техничка дисциплина, често се сматра за једну од етапа у пројектовању производа, па се стога софтверски системи који обједињавају наведене технологије и алате уобичајено називају CAD/CAM системи.

Системи за пројектовање помоћу рачунара или CAD системи представљају скуп софтверских алата и технологија који инжењерима пружа низ погодности током рада на развоју конструкције производа. Те се погодности огледају у аутоматском извођењу конструкторских операција, као што су исцртавање линија, формирање тела, модификације, рад са базама стандардних елемената, размена цртежа и просторих модела и сл. Данашњи CAD системи за пројектовање машинских конструкција махом су засновани на тродимензионалном моделирању, пружајући конструкторима пуну природност и флексибилност у раду. Ефекти примене ових система огледају се, пре свега, у повећању ефективности, креативности и квалитета.

Пре започињања развоја технологије израде производа, или паралелно са тим активностима, упутно је извршити неопходне анализе и симулације понашања производа у експлоатационим условима. За то се користе системи за рачунаром подржан инжењеринг или CAE системи. Они се састоје од низа софтверских алата за анализе и симулирање физичких карактеристика будућег производа. Као карактеристичне могу се издвојити напонске, термичке и кинематске. Поред ових функција, CAE системи омогућавају извођење поступака оптимизације конструкције за задата ограничења. Сви резултати и варијантна решења веома се јасно визуелно приказују на монитору рачунара, указујући пројектанту на могуће недостатке, али и правце њиховог отклањања.

Када се једном заврши развој конструкције производа неопходно је приступити његовој производњи. У светлу рачунарске подршке и интеграције релевантних производних функција и активности, за ову намену користе се CAM системи, односно софтверски системи за рачунаром подржану производњу. Донекле чудно, али као најчешћа област примене ових система наводи се пројектовање и симулација обрадног поступка и генерисање програма за нумерички управљане машине алатке.

Међутим, САМ системи имају веома широко значење, с обзиром да, у општем случају, покривају велики број функција и активности које припадају различитим областима производних система, техника и технологија. Тако се, на основу САД модела производа, могу изводити операције везане за праћење и управљање процесима, управљање производном и помоћном опремом и сл.

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

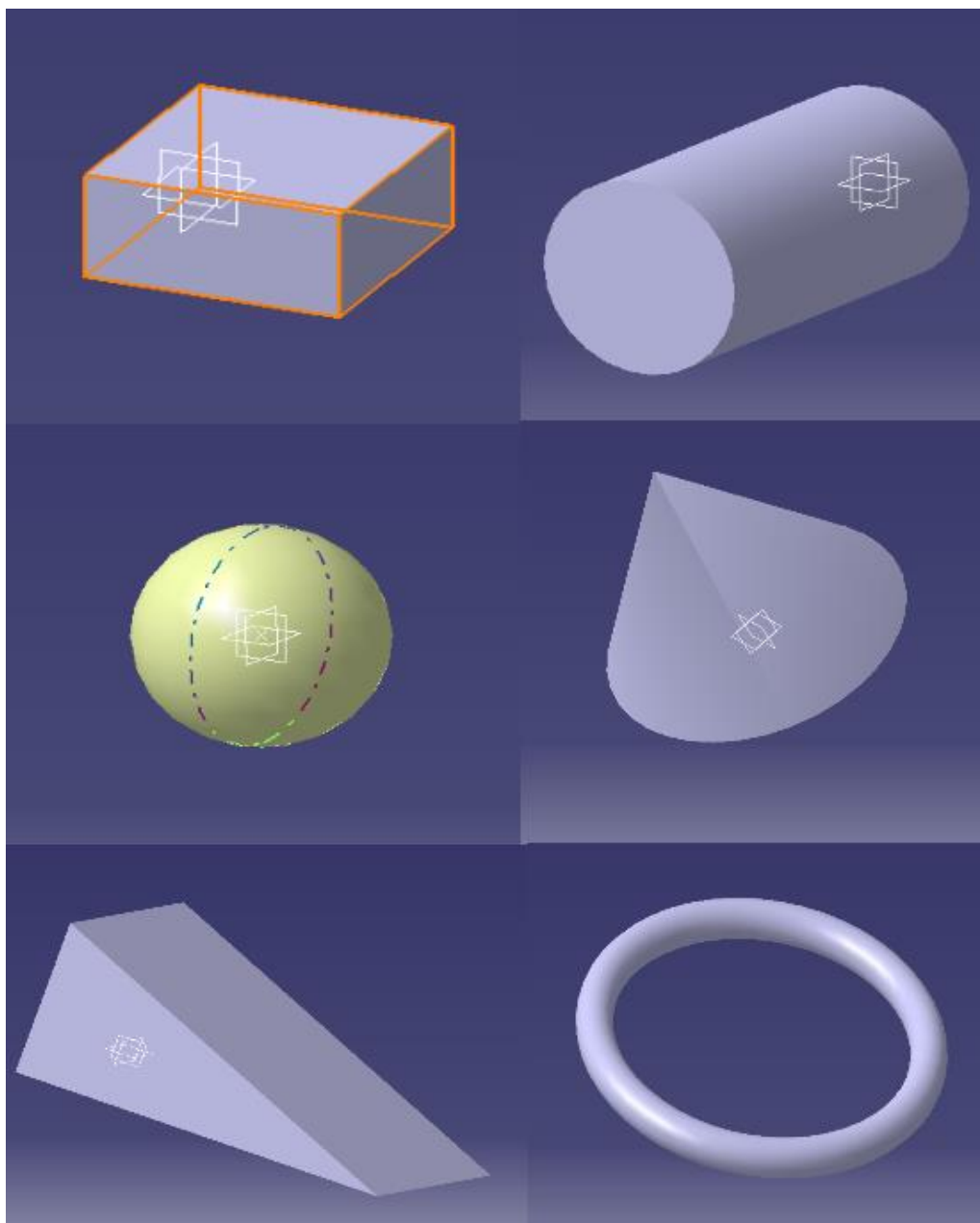
Све ово наводи на закључак да САД/САМ технологије представљају својеврсни интегратор за већи број научно-техничко-технолошких дисциплина. Помоћу њих се ствара основа за остваривање суштинских потреба савременог развоја производа и процеса.

3. CAD системи

Системи за конструисање помоћу рачунара развијају се још од 60-тих година прошлог века. Велику експанзију доживели су појавом персоналних рачунара. Тако се до половине 80-тих година њихова примена везује углавном за мали број корисника у мање-више специјализованим одељењима напреднијих фирми. Дакле, доступност ових система већини инжењера била је онемогућена или знатно умањена. Од тог времена бележи се нагли пораст броја корисника и увођење CAD система у далеко ширу употребу. Сигурно је да овакав развој ситуације треба довести у везу са продорима у рачунарској техници, односно знатном побољшању перформанси, прво графичких радних станица, а затим и персоналних рачунара. Даље, 80-е године донеле су и оснивање данас водећих произвођача CAD и PLM система. Јасно је да су први системи ове врсте били неупоредиво скромнијих могућности од данашњих. Међутим, поред продора у рачунарско-информационим технологијама, огроман утицај на појаву високо квалитетних програмских пакета за пројектовање производа и процеса какве данас познајемо имао је и велики напредак у пратећим математичким дисциплинама и техникама програмирања.

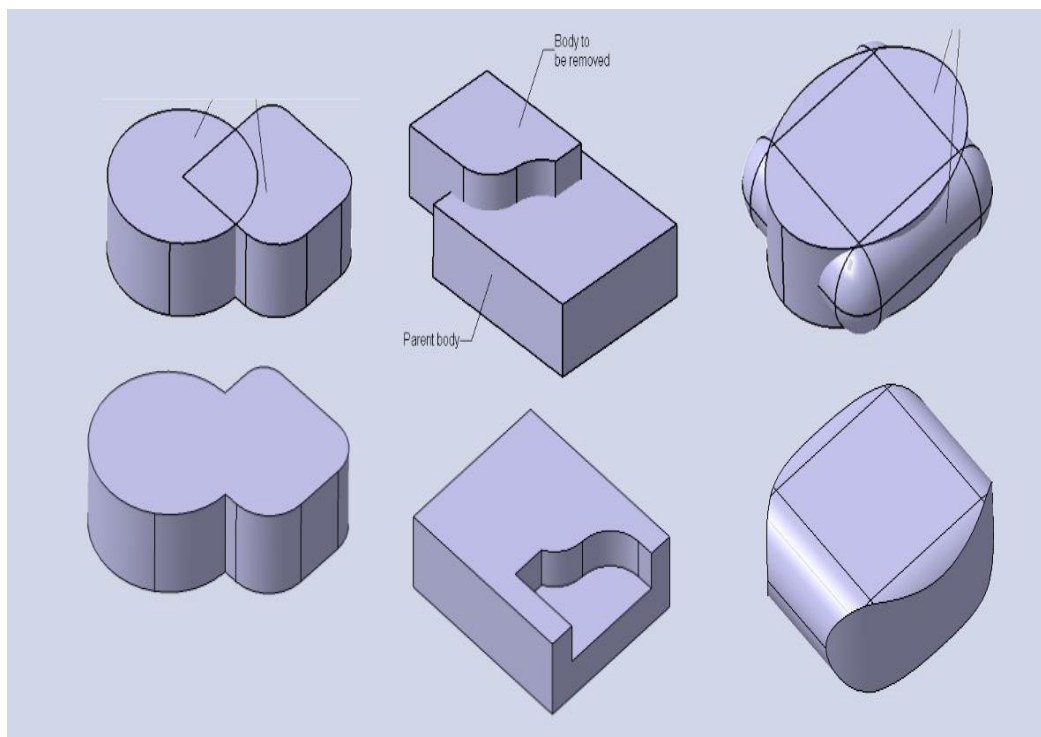
Прва генерација производа за аутоматизацију пројектовања у машинству подразумевала је системе за 2D цртање. Без обзира на скромне могућности, ови системи су значајно допринели аутоматизацији поступака пројектовања и дали смернице за даљи развој. Потребу за просторним приказивањем конструкција употпунила је друга генерација која је омогућила стварање 3D жичаних модела. Трећа генерација доноси знатно већи продор у овој области увођењем 3D запреминског моделирања. Овакав начин моделирања, не само да пружа бољу видљивост модела конструкције, већ омогућава ширу примену Бооле-ових операција, чијом применом се у великој мери допринело природности и убрзању многих поступака конструисања помоћу рачунара. CAD системи треће генерације моделе су креирали комбиновањем једноставних, генеричких и стандардизованих облика (тела), који се називају примитиви. Ти примитиви су: блок (квадар), цилиндар, сфера, купа, клин и торус (слика 1). Комбиновање примитива, у циљу креирања сложених 3D модела, изводи се помоћу Боолеових операција уније, пресека и разлике. [3]

Четврта генерација, која се и данас веома широко примењује, донела је револуционаран помак увођењем геометријско-техничко-технолошких примитива, односно моделских форми (енгл. "features"). Њима је омогућено асоцијативно и параметарско конструисање, што је утицало на додатно подизање нивоа ефикасности развоја производа. [3]



Слика 1. Базичне моделске форме

Међутим, савремено тржиште намеће стално нове и строжије захтеве у смислу високог квалитета, ниске цене, (веома) кратких рокова реализације и скраћених циклуса од идеје до производа, уважавајући и друге специфичне захтеве корисника. Нови концепт у оквиру аутоматизације пројектовања производа, који је креиран за потребе испуњавања наведених захтева тржишта, назива се бихејвиористичко (бехавиористичко) моделирање и представља пету генерацију производа за аутоматизацију пројектовања у машинству. Бехавиористичко моделирање обезбеђује свеобухватно пројектовање производа кроз синтезу корисничких захтева, жељеног функционалног понашања, поштовања међузависности свих елемената производа, као и геометријских, механичких, технолошких, естетских и других карактеристика. На овај начин се значајно подиже ниво аутоматизације од стварања једноставних скица до потпуних инжењерских решења. [3]



Слика 2. Моделске форме добијене буловим операцијама [7]

Дакле, примена савремених CAD система, независно или у оквиру PLM система, подразумева стварање 3D геометријског модела производа применом моделских форми. Карактеристике моделских форми и читавог модела су параметарски описане, што доприноси високом нивоу флексибилности током развоја производа и његове даље употребе. Приказивање, односно визуелизација, геометријских модела на екрану рачунара може се извести на више начина". Који ће се од начина изабрати зависи од врсте и сложености производа и потреба конструктора. За време развоја производа стално се јавља потреба за различитим начинима приказивања, како у циљу провера и контрола геометрије производа, тако и због олакшавања појединих поступака конструисања. Због тога модерни CAD системи поседују функције које кориснику омогућавају веома лак и брз прелазак са једне на неку другу врсту модела. [3]

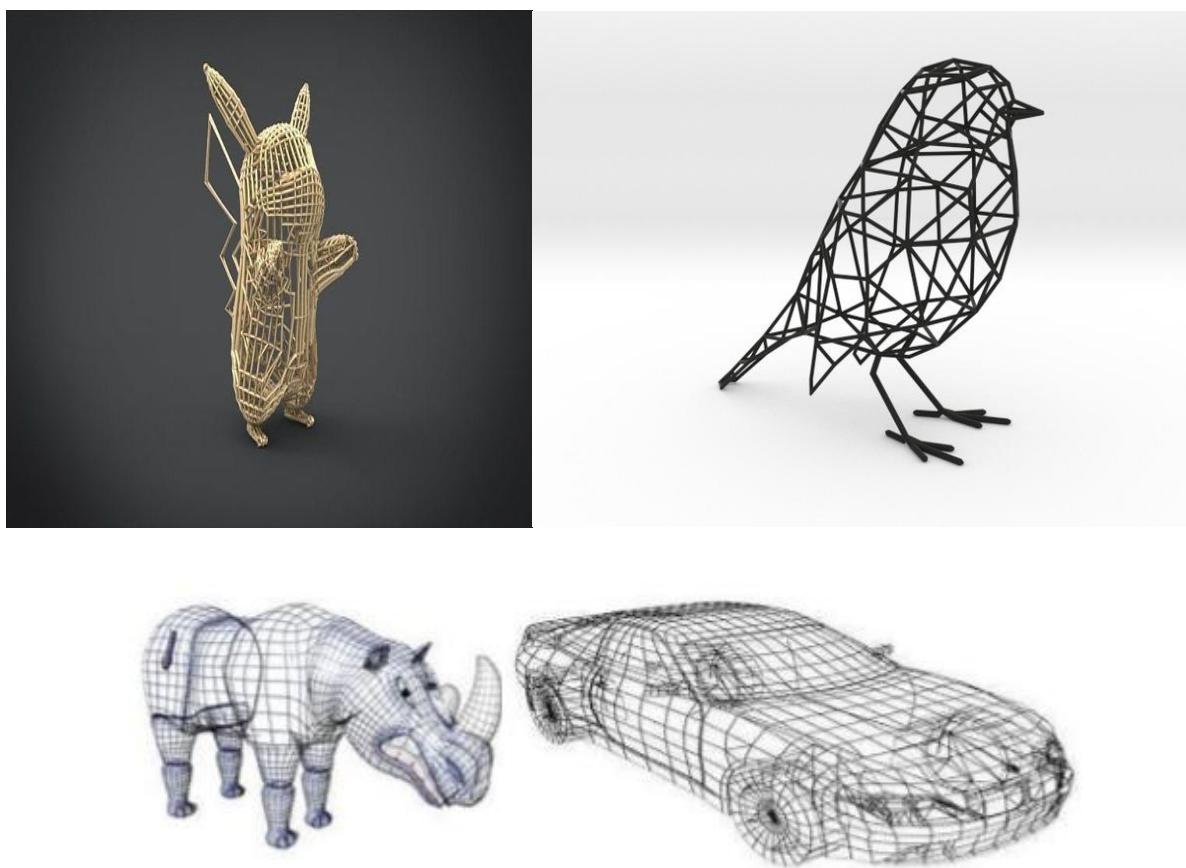
4. Типови геометријских модела

Постоје три основне врсте модела које се користе у рачунарском пројектовању производа, односно моделирању. То су:

- жичани модели (енгл. "wireframe models"),
- површински модели (енгл. "surface models") и
- запремински модели (енгл. "solid models").

Жичани модели су модели производа представљени само својим контурним ивицама.

Овако представљени модели могу изазвати забуну приликом тумачења, јер су им све ивице подједнако видљиве, па је тешко разлучити које се од њих налазе испред, а које иза (слика 3). Сем тога, између ивица се налази "празан простор", што представља проблем за тзв. дубље разумевање модела неопходно приликом пројектовања његове израде и/или монтаже, јер није јасно шта је "унутра", а шта "изван" модела. Са друге стране, жичани модели могу имати веома важну улогу приликом пројектовања сложене геометрије. Наиме, применом линија, тачака и координатних система могуће је створити основни облик, који се кроз касније додавање контурних површина и запремине ("материјала") преводи у коначну форму.



Слика 3. Жичани модели

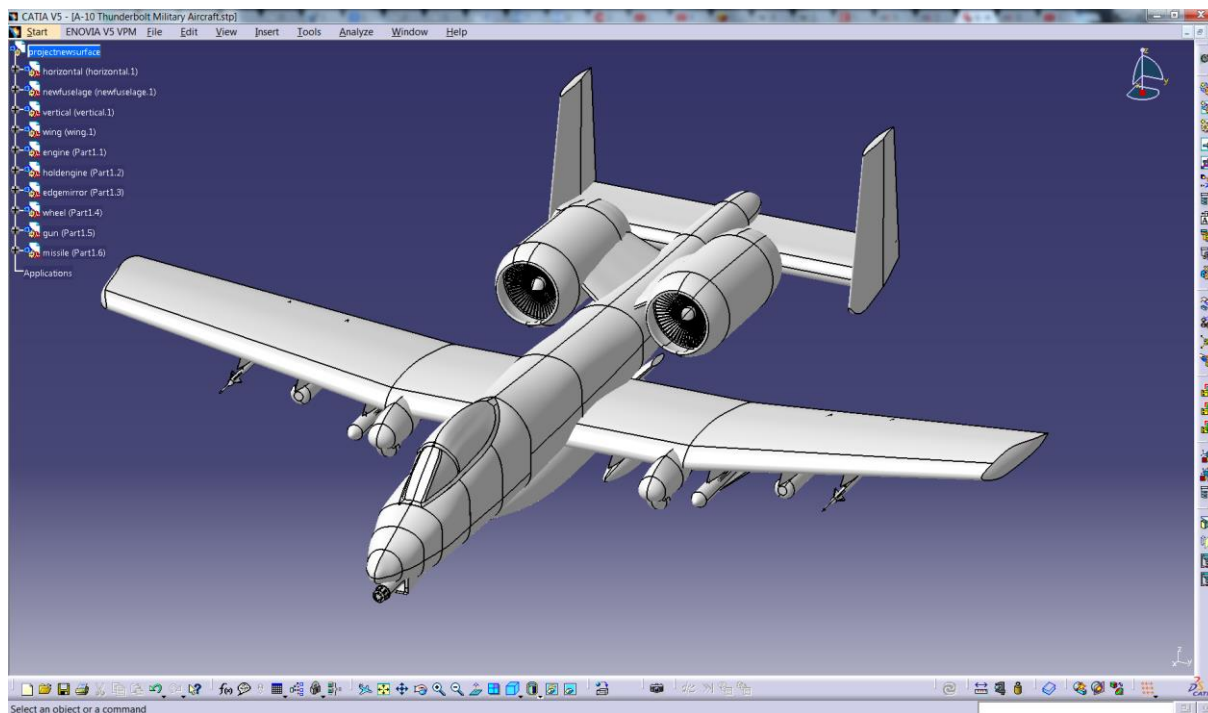
Површински модели су модели производа представљени својим контурним површинама. Они пружају јаснију представу о изгледу реалног производа, јер је код њих уведен појам видљивости и невидљивости (слика 4). Међутим, и даље постоји проблем дубљег разумевања, с обзиром да се површински модели могу схватити као "пресвучени" жичани модели. Другим речима, и даље је између контурних површина "празан простор", односно нејасно је шта је "унутра", а шта "изван" модела. Насупрот овим условним недостацима, површински 3D модели имају веома велику примену, поготову током међуфаза у стварању финалног модела.

Наиме, данас произвођачи поклањају велику пажњу изгледу, односно стилизацији производа. То треба повезати, како са естетским, ергономским и комерцијалним разлозима, тако и са одговором на понашање конкуренције. Суштински изглед производа дефинисан је контурним површинама, а оне као математички ентитети немају дебљину, односно сами 3D површински модели немају масу. Због великог значаја и предности креирања ових модела CAD системи укључују скупове посебних софтверских алата управо за ову намену.



Слика 4. Површински модели

Најкомплекснију врсту 3D модела производа, и смислу информационог садржаја и могућности даље примене, представљају запремински модели. Суштинска одлика огледа им се у "материјализацији" запремине, што у физичком смислу значи да имају масу.



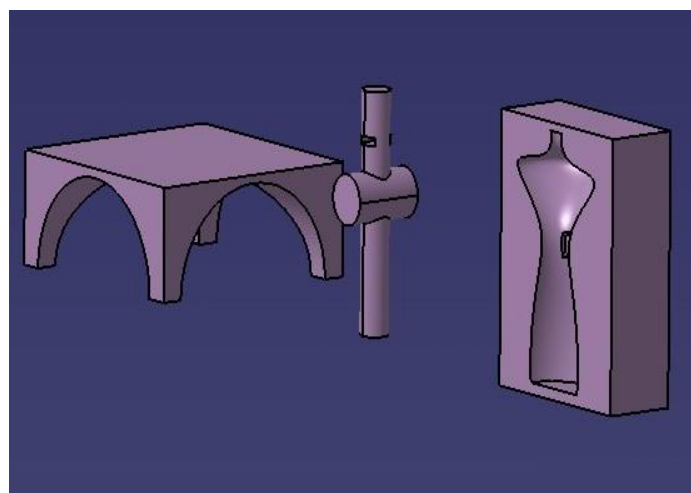
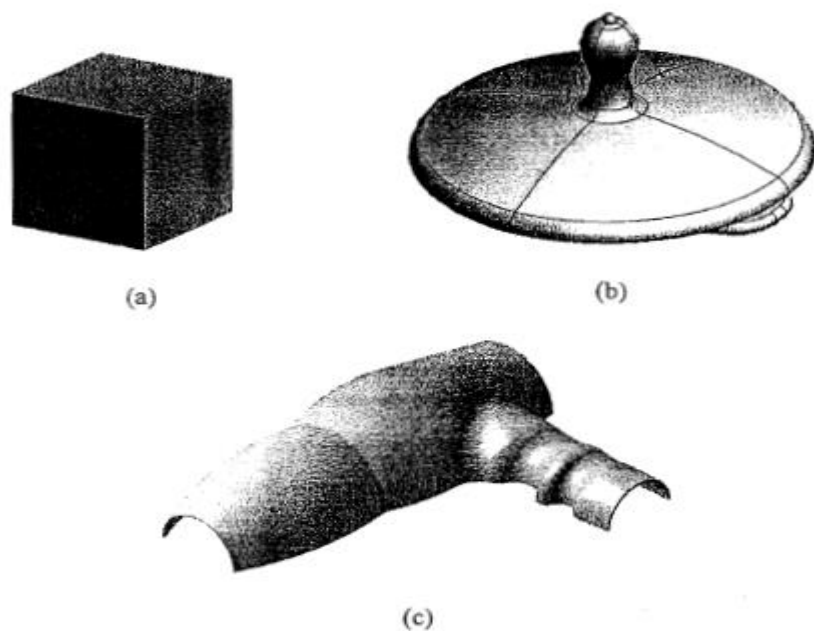
Слика 5. *Пример сложених површина*

Запремински модели су модели производа представљени својим контурним ивицама, површинама и "материјализованом" запремином коју формирају контурне ивице и површине.

Њиховом применом омогућено је знатно реалистичније приказивање физичких објеката, чиме су превазиђени недостаци жичаних и површинских модела (слика 5). Простор између граничних површина и ивица запреминских или целокупног модела је "испуњен", односно "материјализован". Тиме је постигнута већа применљивост и манипулативност моделом.

Једна од веома важних карактеристика 3D модела је и могућност коришћења Боолеових оператора (уније, пресека, разлике) приликом моделирања. Примена ових оператора приликом креирања и модификације геометријских моделских форми и/или скупова моделских форми, долази до пуног изражаја понајвише код запреминских модела.

То је посебно видљиво у поступцима моделирања који могу бити аналогни појединим технолошким поступцима. На пример, конструктор након дефинисања основног облика објекта (што одговара припремку или полуфабрикату) врши његову даљу трансформацију одузимањем неких његових делова (као што се то чини приликом обраде резањем; оператор разлике), или додавањем (на пример код ливења, заваривања, поступака наношења, монтаже и сл.; оператор уније), или на неки други начин (слично као код неких операција пробијања, просецања, итд.; оператори пресека и разлике). На тај начин се формира коначни облик објекта, што одговара изратку или (под)склопу.



Слика 6. *Запремински модели[4]*

Начин приказивања модела уско је повезан са техникама и технологијом визуелизације модела. За суштинско приказивање геометрије модела производа наведене врсте модела су у потпуности довољне. Са друге стране, питање боја којима је модел представљен зависи од система до система, али и од (локалних) стандарда које су увеле поједине компаније. Боје, свакако, нису од битног значаја за процес моделирања, али у неким ситуацијама могу конструктору олакшати поједине радње или, када је у питању примена стандарда, указати другим стручњацима на специфичне карактеристике производа. На пример, приликом креирања склопова производа погодно је компоненте склопа обојити различитим бојама ради јаснијег уочавања и, у том смислу, лакше манипулације. Исто тако, поједини стандарди користе дефинисане скупове боја да би на моделу производа означили површине које ће бити обрађене глодањем, брушењем или сл. Наравно, фотореалистично приказивање изискује примену текстура материјала, атмосфере, сцене и сл. У сваком случају, најчешће примењивана врста модела у поступцима развоја производа помоћу рачунара је запремински 3D модел.

5. Моделирање сложених површина

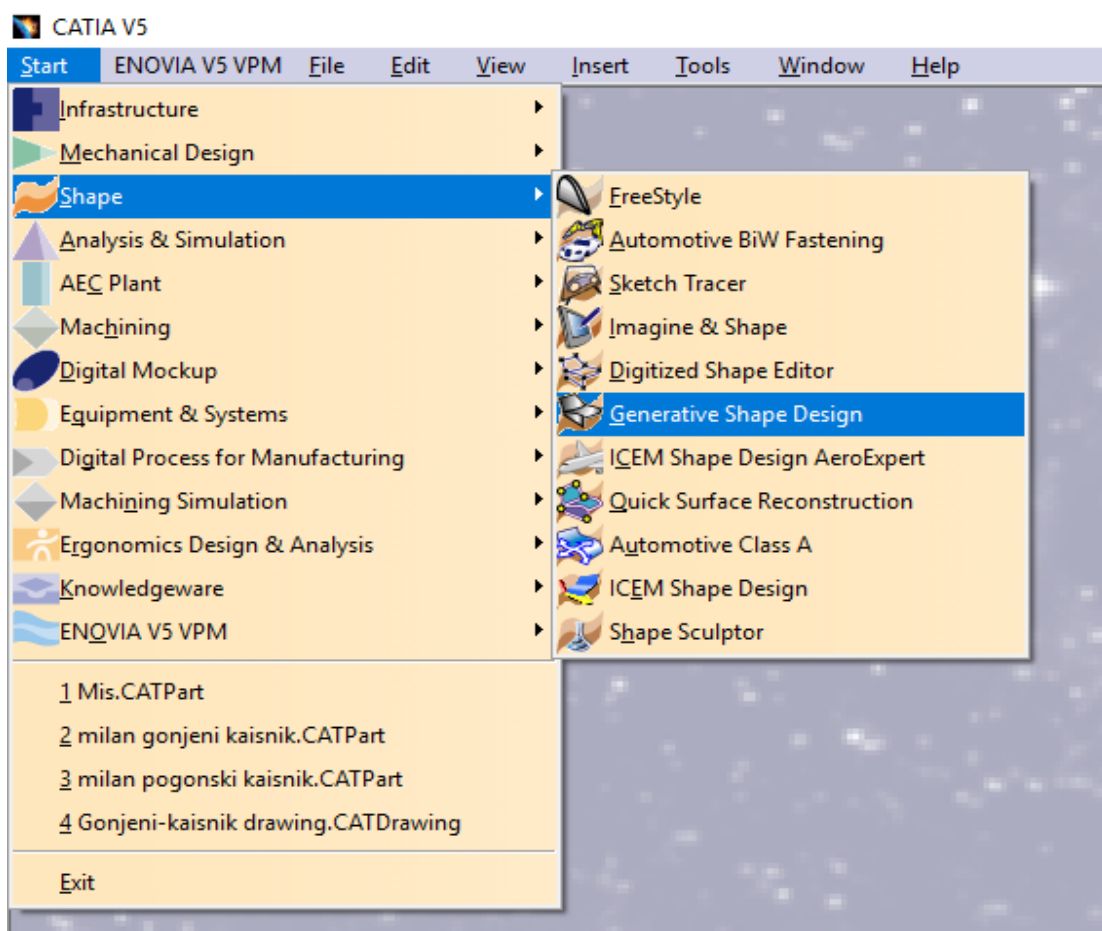
У овом поглављу се конкретно пролази кроз окружење Generative Shape Design и Wireframe and Surface Design у програмском пакету Catia V5R21. Конкретно се пролази кроз моделирање површинских, жичаних и запреминских модела

Производни и индустријски дизајнери ових дана придају значај стилизовању производа и пружају јединствен облик компонентама. Уопштено, ово се ради како би се осигурало да производ изгледа атрактивно и допадљиво купцу. Облик производа управља се техникама површинског моделирања. Површински модели су тродимензионални модели без дебљине и за разлику од чврстих модела немају својства масе. Catia V5 пружа бројне алате за моделирање површина како би се створили сложени тродимензионални површински модели. Различите радне површине у Catia V5 са алатима за израду површина су:

1. Generative Shape Design.
2. Wireframe and Surface Design.
3. FreeStyle.

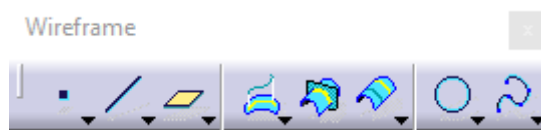
5.1 Generative Shape Design

Траке са алатима у Generative Shape Design



Слика 7. Налажење окружења у програму CATIA

Wireframe- служи за моделирање жичаних површина ,а неке од основних функција су криве, линије, тачке и равни



Слика 8. Wireframe

Surfaces- Служи за моделирање површина, а испод је палета алата помоћу којих моделирамо ове површине.



Слика 9. Surfaces

Operations- Служи за спајање површина, дељење и урезивање површина, промену 3D положаја површина.



Слика 10. Operations

Replication- Служи за умножавање објеката или профила, а неки од основних функција јесу Pattern и Powercopy.



Слика 11. Replication

Analysis- Служе за Анализе веза, Анализе закривљености, Анализе скица и помоћу њих можемо имати увид у напоне и силе које делују унутар модела који моделирамо.



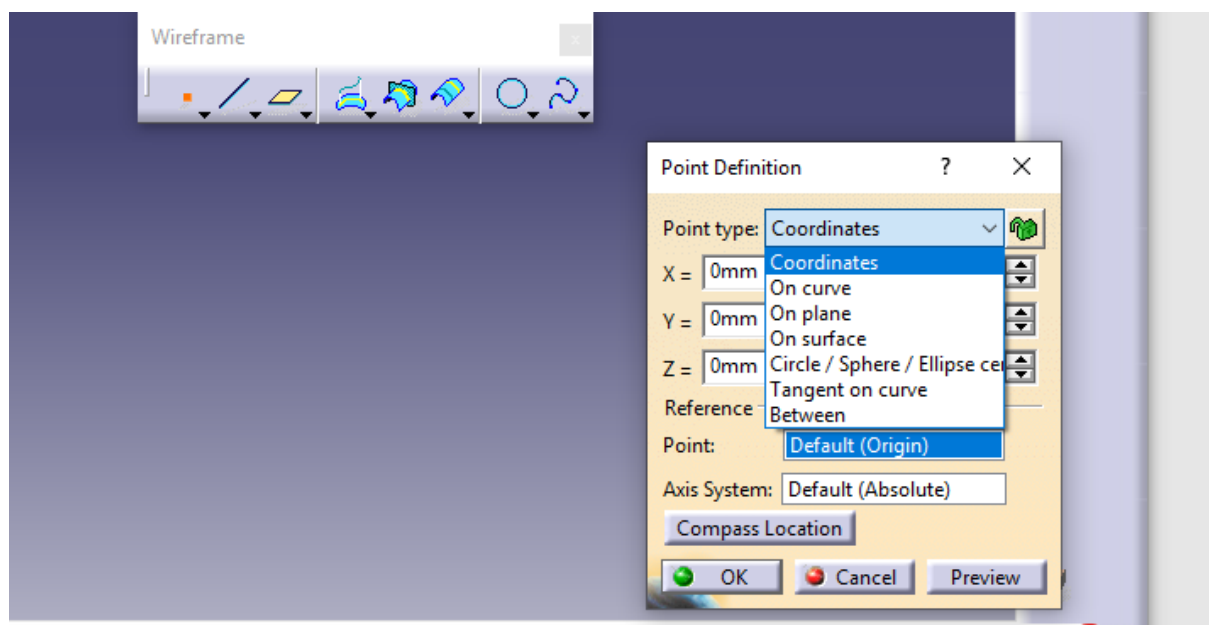
Слика 12. Analysis

Volumes- Служи за креирање запреминских модела. Ово је најпримењивија палета алата и има највише практичне примене.



Слика 13. Volumes

Point- Скужи за креирање тачке у 3D окружењу. Постоје различити начини формирања тачке.

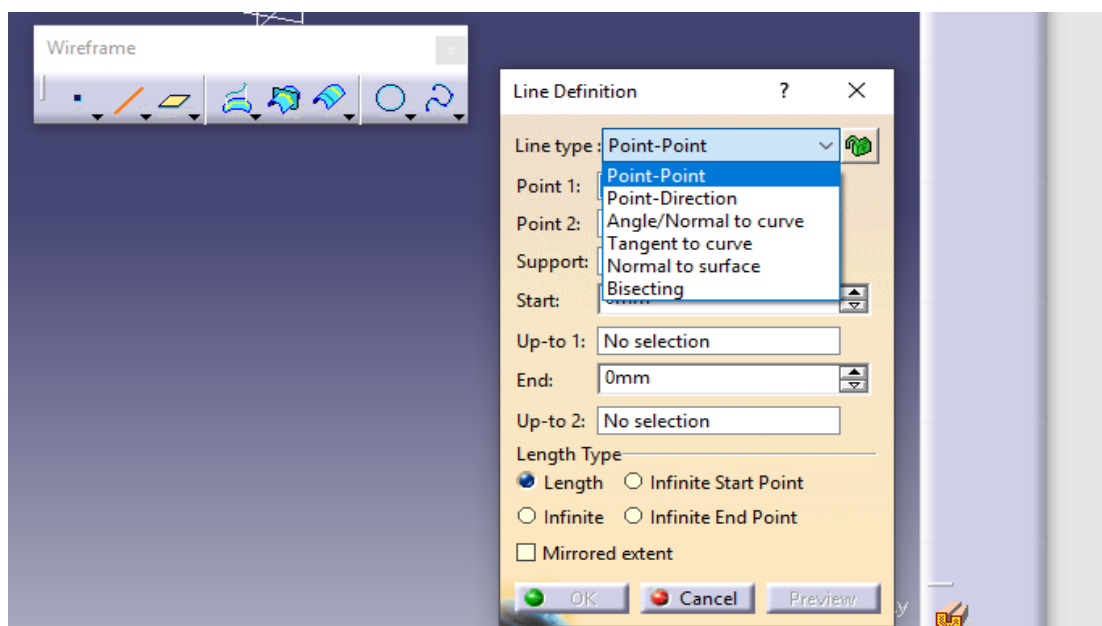


Слика 14. Креирање тачке у односу на више параметара

Тип позиционирања тачке

Cordinates	Поставља тачку дефинисањем њених координата у 3D
On curve	Поставља тачку на кривој на одређеном растојању од референтне тачке
On plane	Поставља тачку на равни на одређеном растојању од референтне тачке
On surface	Поставља тачку на површини на одређеном растојању од референтне тачке
Circle/ Sphere/ Ellipse	Поставља тачку у центру круга или сфере
Tangent on curve	Поставља тачку на месту тангирања у одређеном правцу
Between	Поставља више тачки на подједнаком растојању на истој кривој

Line - Служи за креирање линије у 3D окружењу и такође се може формирати на различите начине у зависности од потреба корисника.

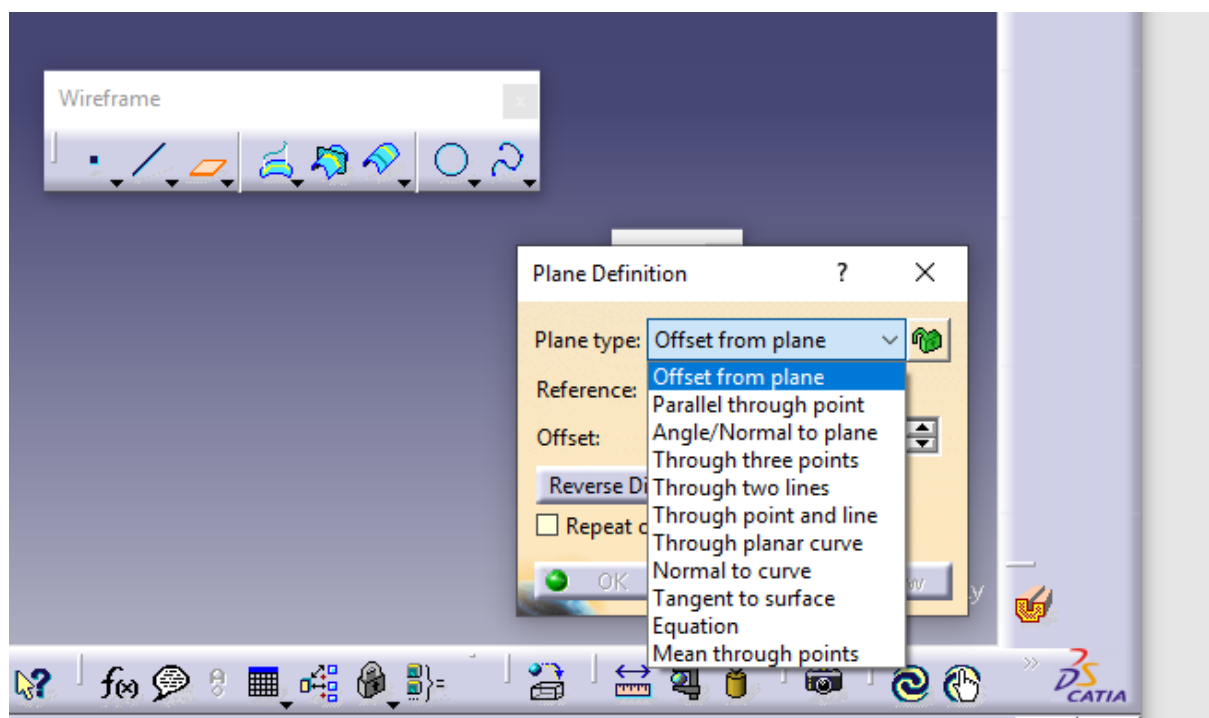


Слика 15. Креирање линије у односу на више параметара

Тип позиционирања линије

Line between two point	Креирање линије између две одабране тачке
Line from a Point and Directions	Креира линију базирану на референтној тачки и одабраном правцу
Line at an Angle or Normal to Curve	Креира линију под углом у односу на криву која пролази кроз тачку
Line Tangent to a Curve	Креира линију тангенцијалну на једну криву, тачку и криву или на две криве
Line Normal to Surface	Креира линију нормалну на тачку коју смо одабрали на површини
Bisecting line	Креира линију која дели угао између две линије на једнаке делове

Plane- Скужи за креирање равани у 3D простору. Постоје различити начини формирања равни.



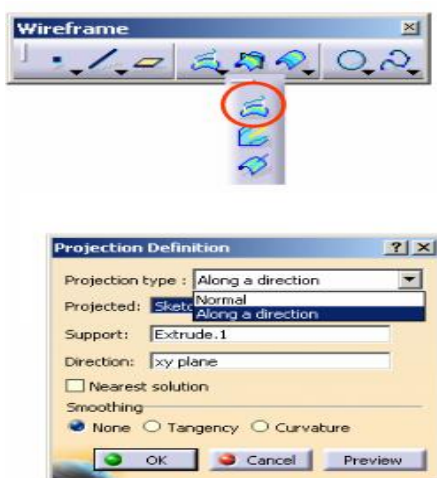
Слика 16. Креирање равни у односу на више параметара

Тип позиционирања равни

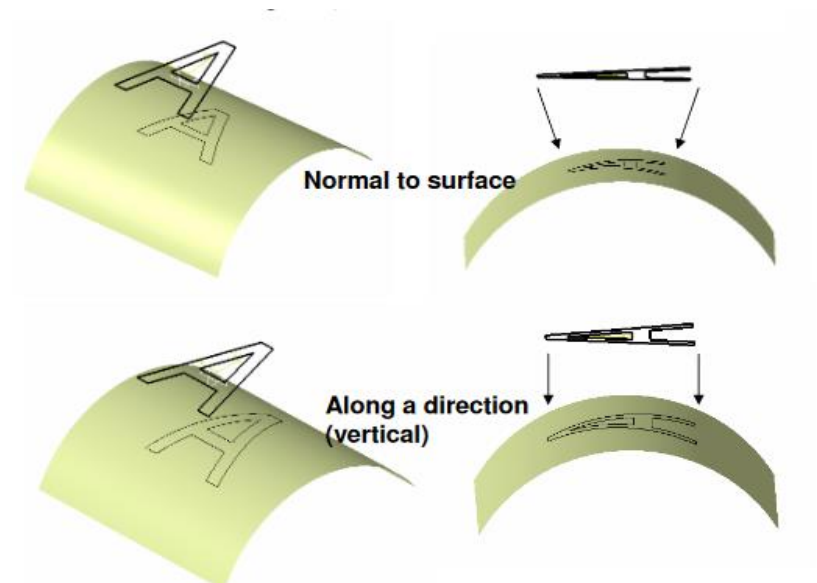
Offset Plane	Креира раван паралелно на референтну раван на одређеном растојању
Parallel through point	Креира раван паралелну са референтном равни кроз тачку
Angle/Normal to plane	Креира раван под углом на референтну раван у односу осу ротације
Through three point	Креира раван која пролази кроз 3 тачке
Through two lines	Креира раван која пролази кроз 2 линије
Through point and line	Креира раван која пролази кроз раван и тачку
Normal to curve	Креира раван на кривој у одабраној тачки
Mean through points	Креира раван дефинисану као средишњу односу на 3 или више тачки

Пројекција на површину- Projection

Пројекција једног или више елемената на површину. Пројекције могу бити нормалне на површину или дуж одређеног смера. Овај алат показује како да направити геометрију пројектујући један или више елемената на површину. Могуће је пројектовати на површини или жичаном моделу или било којој другој комбинацији тачака и жичаног оквира на површини.



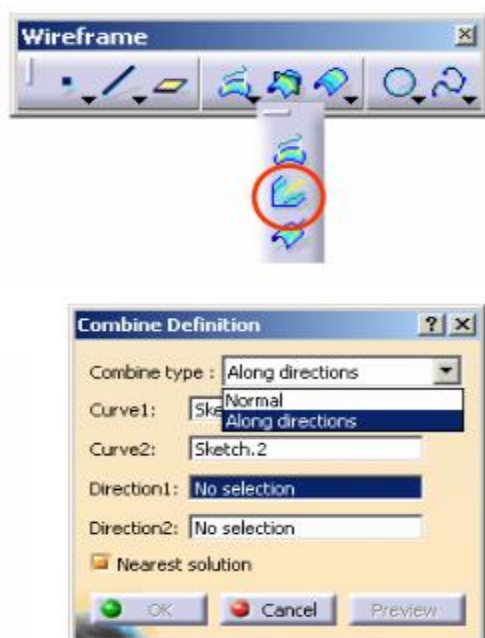
Слика 17. Projection



Слика 18. Врсте пројекција на површину [4]

Спајање кривих- Combine Definition

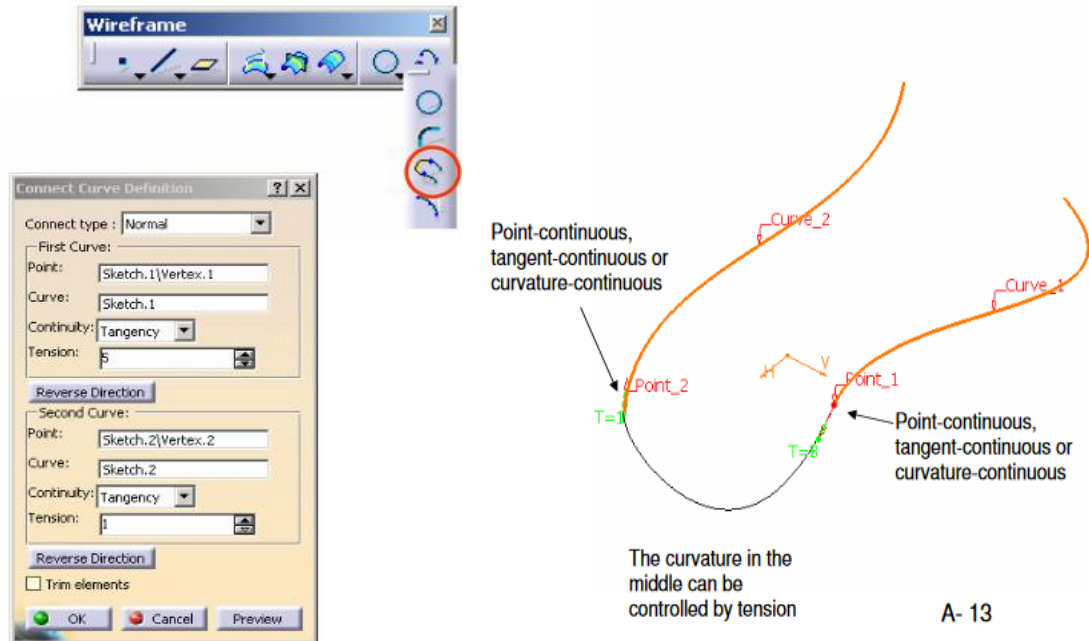
Креира криву која спаја две већ постојеће криве и од њих формира целину . Постоје две врсте ових кривих нормална и управна.



Слика 19. Combine Definition

Повезивање кривих- Connect Curve

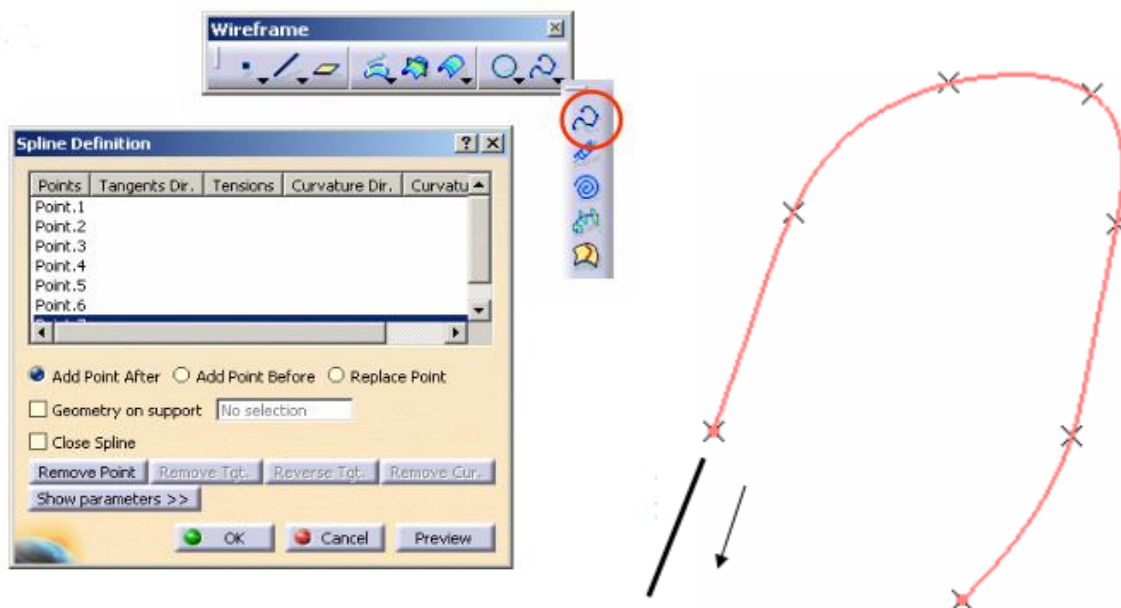
Креира криву која повезује две криве ова функција је применљива и битна при моделирању жичаног модела. Са њом такође можемо затворити контуру или формирати једну целину од две или више кривих.



Слика 20. Connect Curve[4]

Савитљива крива- Spline Curve

Креира 3D или 2D закривљену криву спајајући већ одабране тачке. Могуће је додати додатну линију за дефинисање тангенционог правца у тачки. Овај алат показује различите методе за креирање кривих.



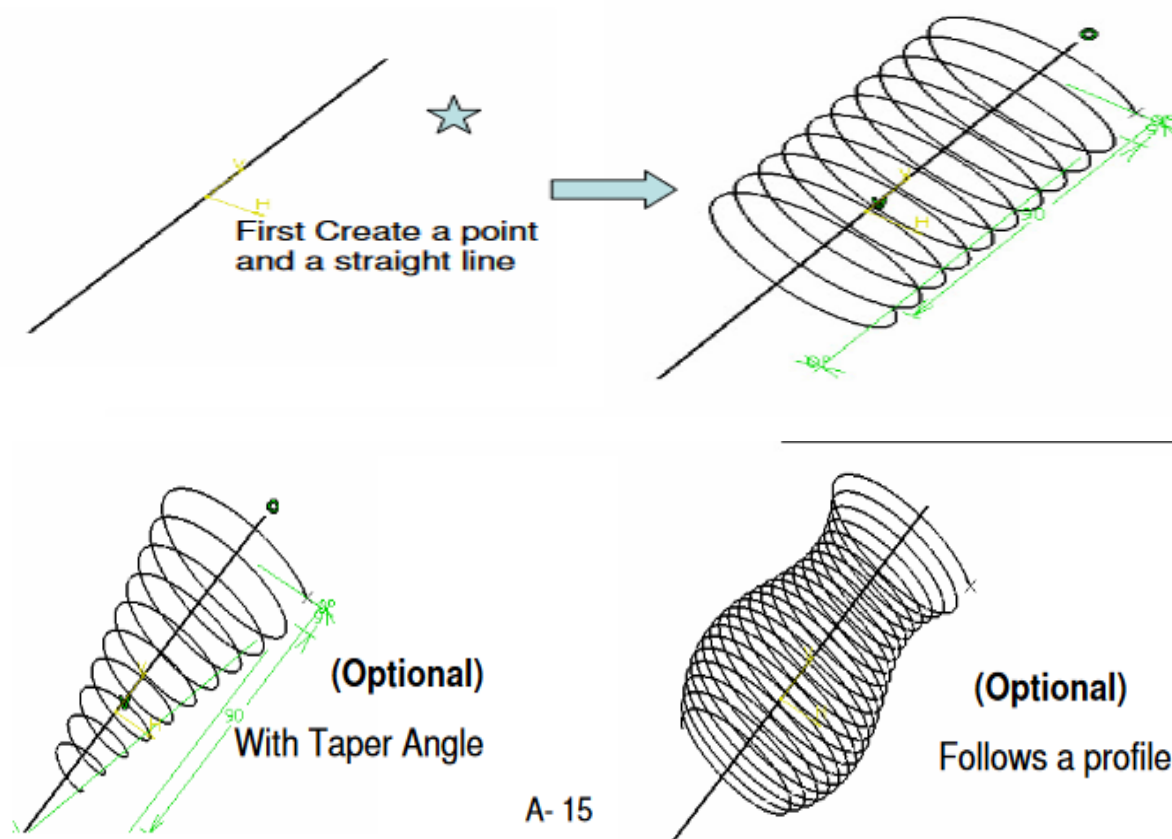
Слика 21. Spline Curve[4]

Спирала- Helix

Овај алат показује различите методе за креирање спиралних кривина, на пример завојнице и опруге. Алат је добар због могућности да мењања параметара и знатно нам олакшава моделирање оваквих делова.



Слика 22. Helix

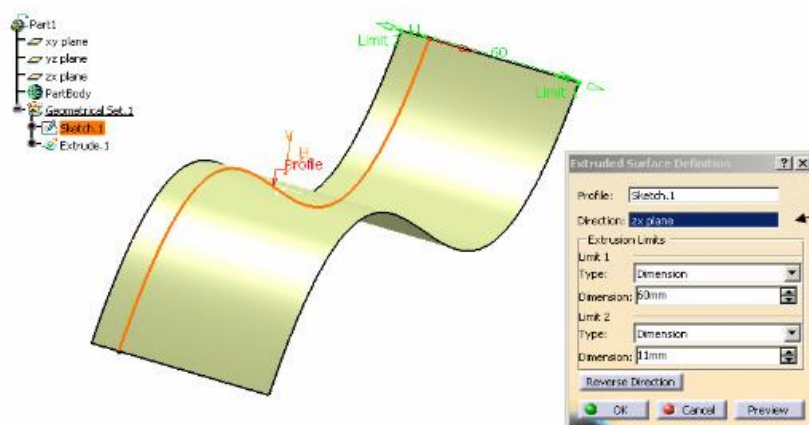


Слика 23. Формирање спирале на основу већ задатих параметара[4]

Extrude- Креира површину истискивањем профила дуж одређеног правца. Овај алат омогућује лакше манипулисање делом и доста поједностављује израду. Ако је профил раван, смер ће бити подразумевано нормалан. Али могуће је променити смер у другом правцу.



Слика 24. *Extrude*

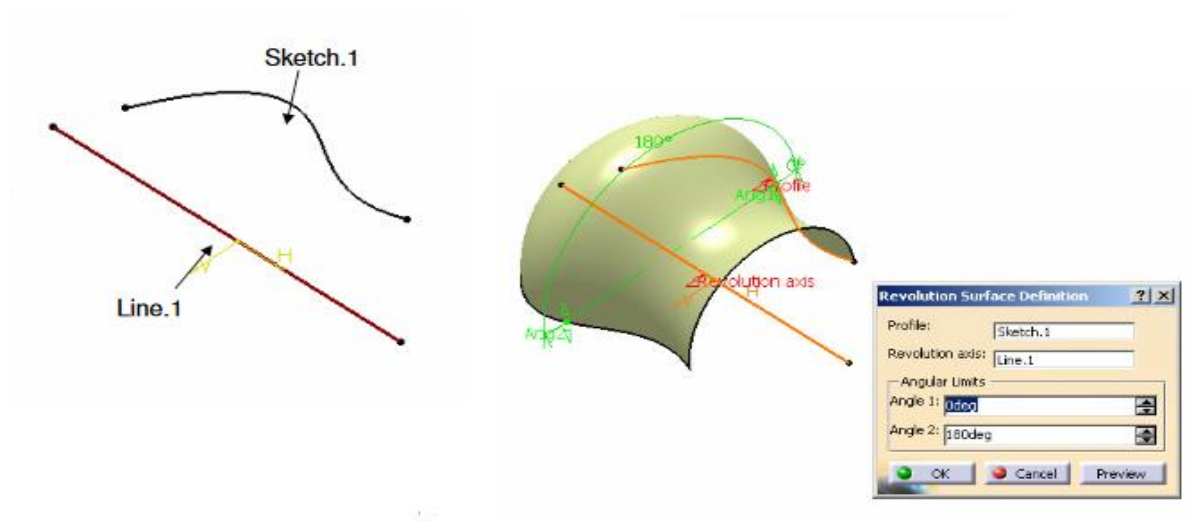


Слика 25. Табела за одабир параметара[5]

Revolve- Креира површину ротирањем равног профила око осе. Алат је најпогоднији за формирање цилиндричних делова и има широку примену, један од главних алата.



Слика 26- *Revolve*

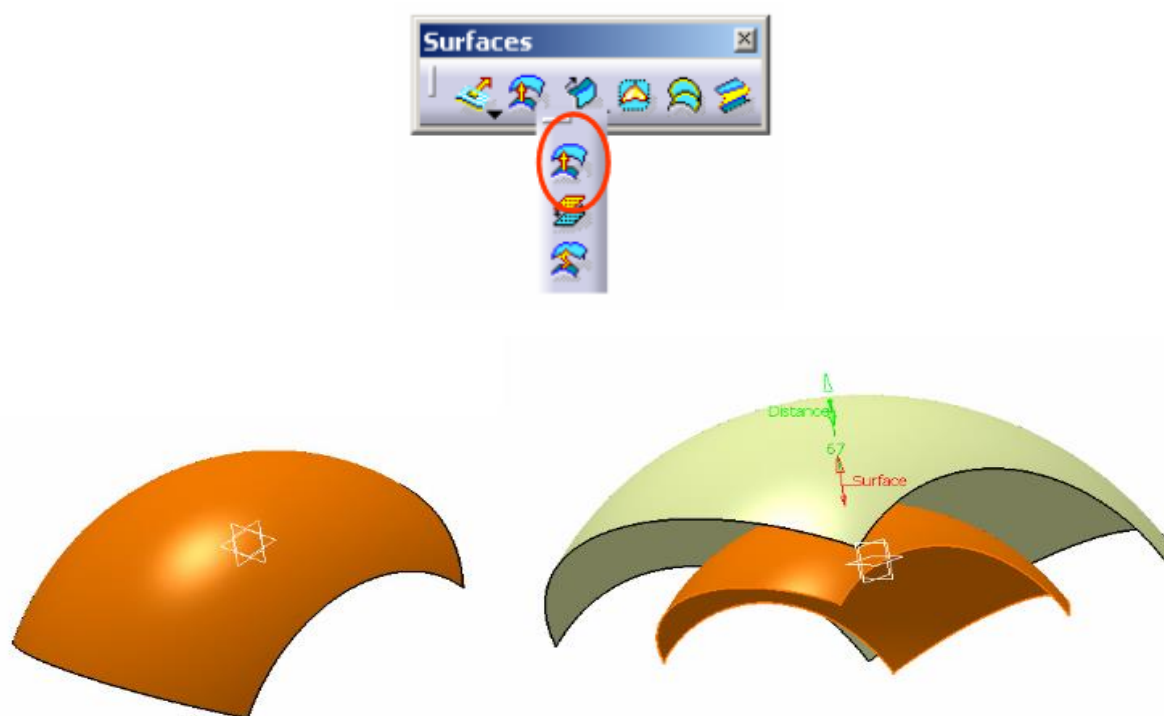


Слика 27. Табела за одабир параметара[4]

Offset- Креира површину или скуп површина, додавањем постојеће површине или скупа површина на одређеном растојању). Овај алат показује како да направити површину или скуп површина померањем постојеће површине или скупа површина.

Задатак алата је да се такође бави:

- подешавањем опционалних параметара
- уклањањем поделемената
- вршењем привремене анализе

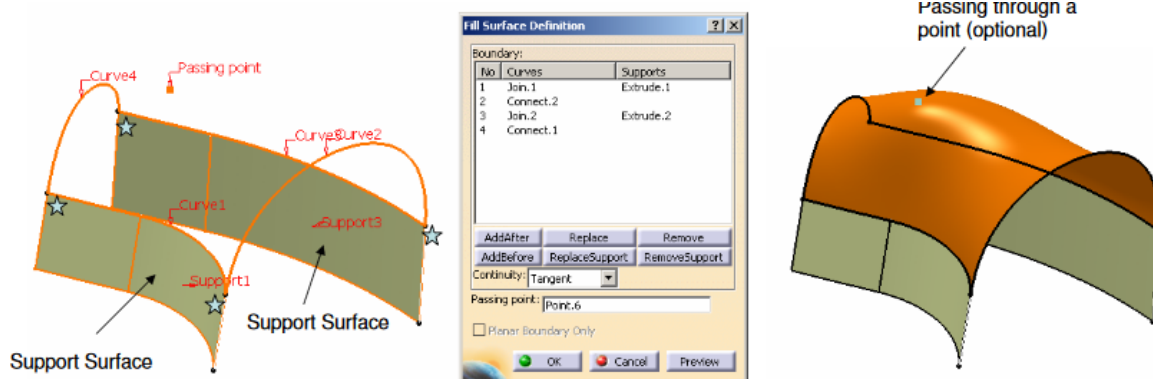


Слика 28- Offset[4]

Fill- Креира површину да попуни отвор међу бројним граничним сегментима). Помоћу овог алата затвара се спољашња контура модела и добија затворена целина. Могуће је одредити жељени тип спајања између било којих одабраних површина и површина које се попуњавају (тачка, тангента или бесконачна крива)



Слика 29. Fill



Слика 30. Практична примена алата[4]

Multi-sections Surface

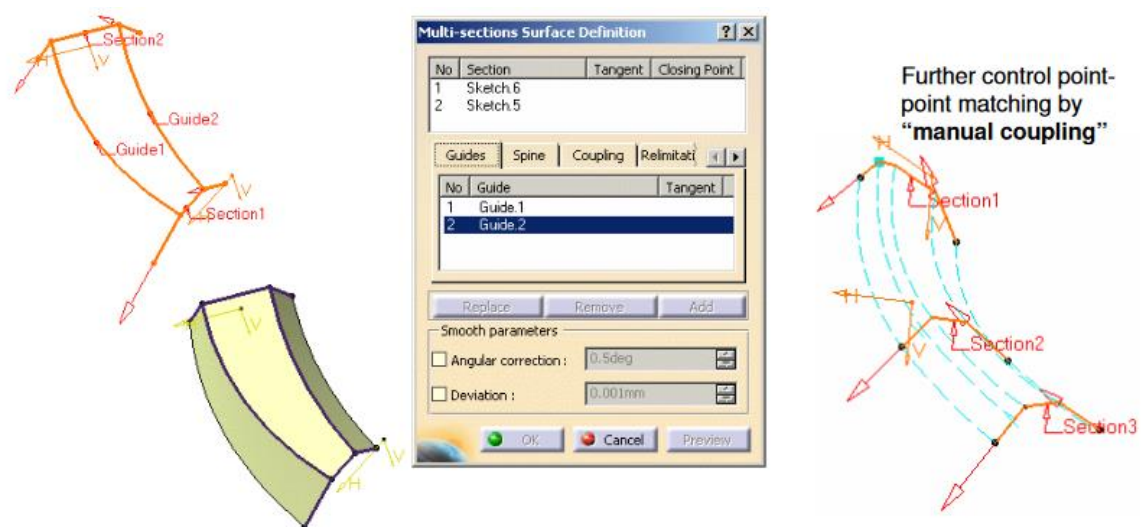
Креира површину која облаже две или више кривих дуж аутоматски одабраних кривих и са њима образује површину. Овај алат показује како створити површину са више секција и укључује следеће функционалности:

- Edit
- Smooth parameters
- Spine
- Relimitation
- Canonical Element
- Coupling

Могуће је генерисати површину са више делова померањем две или више кривих пресека дуж аутоматски израчунатих или кориснички дефинираних кривих. Површина може бити направљена да поштује једну или више водећих кривина.

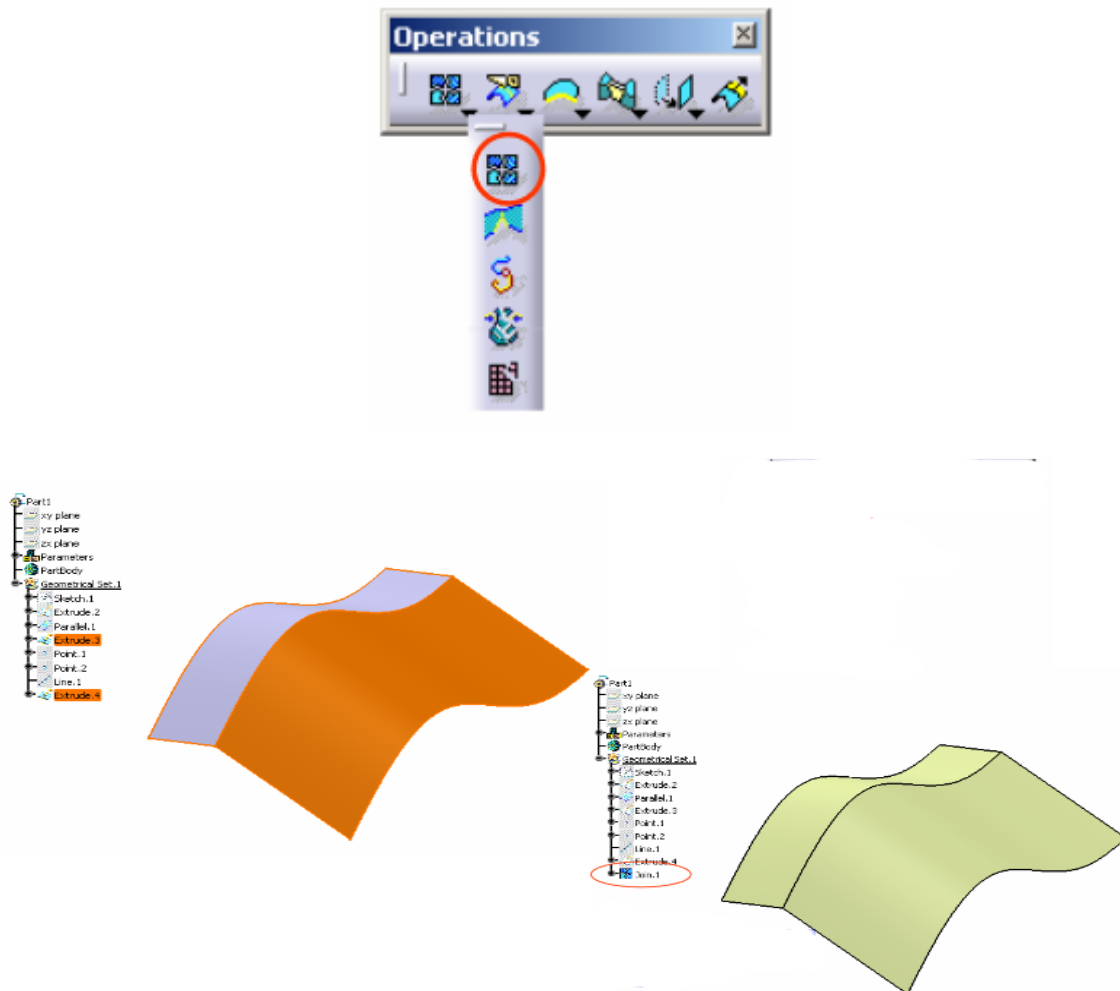


Слика 31. Multi-sections Surface



Слика 32. Одабир тачака које образују површину [4]

Join- Спаја површине две или више кривина у један елемент, а то такође укључује коришћење опције провере, уклањање поделемената. Овим алатом стварамо целину од више елемената и добијамо један део.



Слика 33. Join[4]

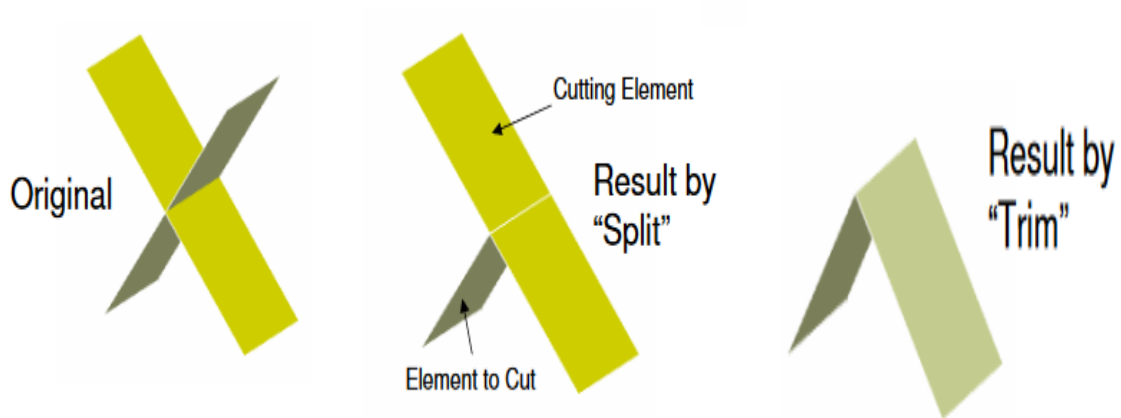
Split & Trim

Split- раздваја површински или жичани оквир помоћу сечног елемента. Могуће је раставити жичани оквир на тачку, други жичани оквир или површину или површине помоћу жичаног елемента или друге површине.

Trim- Уклањање два или више површинских или жичаних елемената. Алат који служи за скидање вишка дела који је ван пројектованих контура модела.

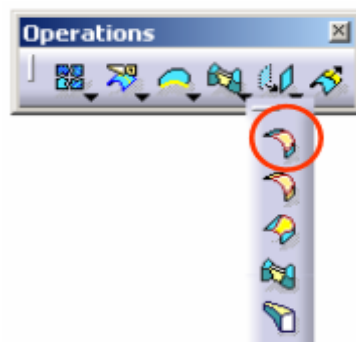


Слика 34. *Split & Trim* [4]



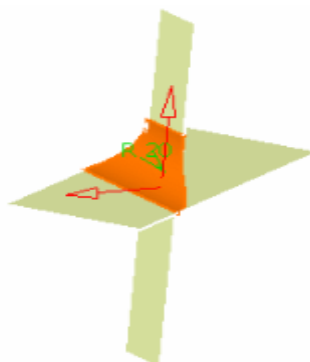
Слика 35. *Резултати Split-a и Trim-a* [4]

Shape Fillet- Овај алат показује како створити унутрашње задебљање између две површине. Површина заобљења се добија развијањем сфере између одабраних површина. Овај пример такође показује како да направите различите врсте fillet-a променљивог радијуса.



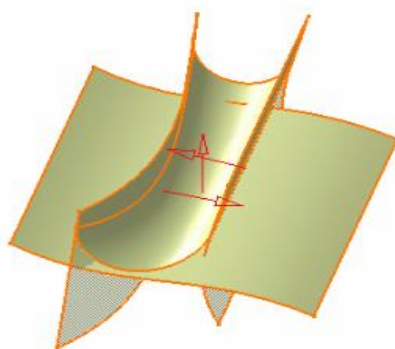
Слика 36. *Shape Fillet*

Bi-tangent Shape Fillet- креира облик заобљења између две површине



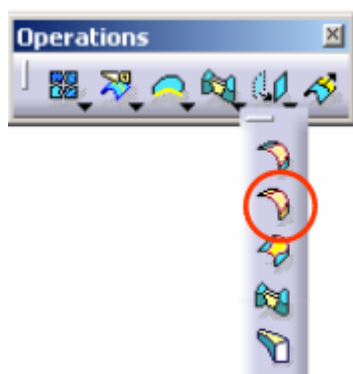
Слика 37. *Bi-tangent Shape Fillet*[4]

Tri-tangent Shape Fillet- креира облик заобљења између три површине

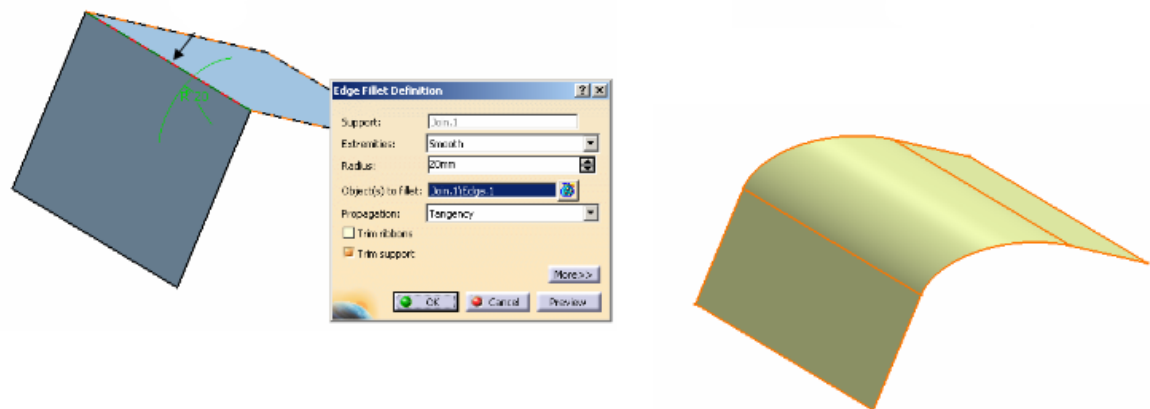


Слика 38. *Tri-tangent Shape Fillet*[4]

Edge Fillet- Ствара заобљење дуж равне ивице неке површине, алат је користан за обезбеђивање прилазне површине дуж оштре унутрашње ивице површине. Овај алат показује како створити улегнуће сталног радијуса дуж унутрашње ивице спојене површине. Површина удубљења се добија превртањем сфере преко одабране ивице.



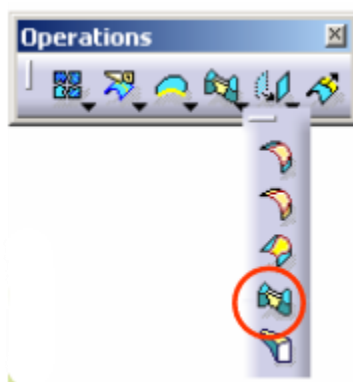
Слика 39. *Edge Fillet*



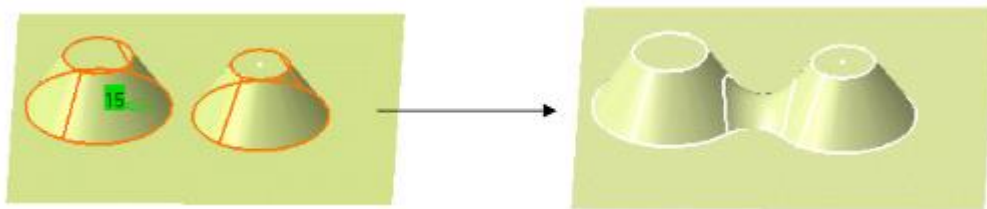
Слика 40. Табела са параметрима[4]

Face-Face Fillet

Креирање Face-Face заобљења. Заобљење површине се добија ролањем сфере чији је полупречник већи од међусобног растојања између одабраних елемената. Алат за улегнуће ивице углавном користите када нема пресека између лица или када између лица постоје више од две оштре ивице.



Слика 41. Face-Face Fillet



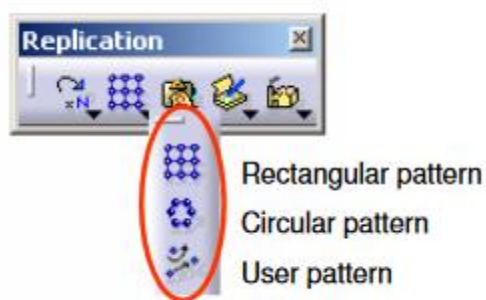
Слика 42. Пример коришћења овог алата[4]

Patterns

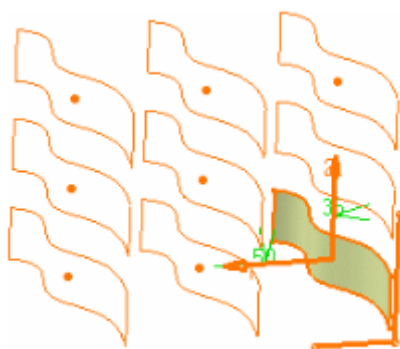
Rectangular Pattern- Овај алат показује како се користите прављени правоугаони обрасци, односно како дуплирати оригинални жичани оквир или елемент површинског типа на локацији по вашем избору у складу са правоугаоним распоредом. То значи да морамо да дефинишемо двоосни систем користећи два смера.

Circular Pattern- Овај алат показује како користити креирање кружних узорака, односно дуплирање оригиналног жичаног оквира или површинског елемента на локацији по вашем избору према кружном распореду.

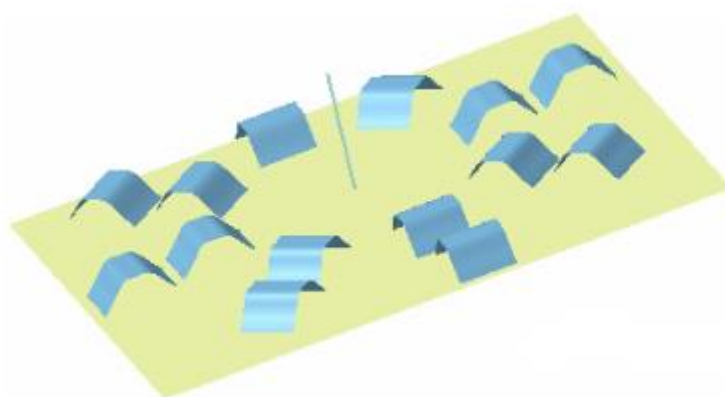
User Pattern- Овај алат показује како користити креирање корисничких образаца, односно дуплирање оригиналног жичаног оквира или елемента типа површине на локацији по вашем избору према корисничком уређењу.



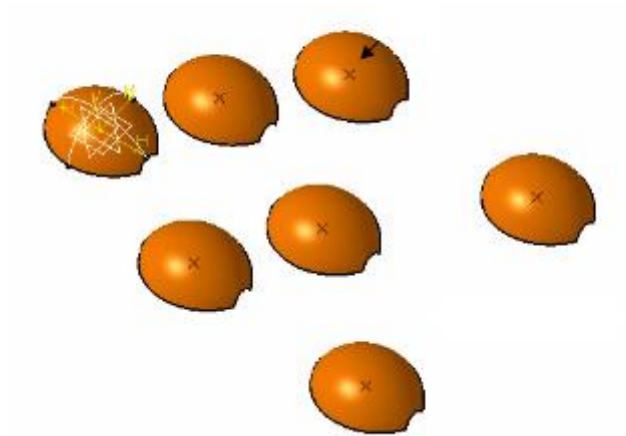
Слика 43. Палета алата Pattern



Слика 44. Rectangular pattern[4]



Слика 45. Circular pattern[4]



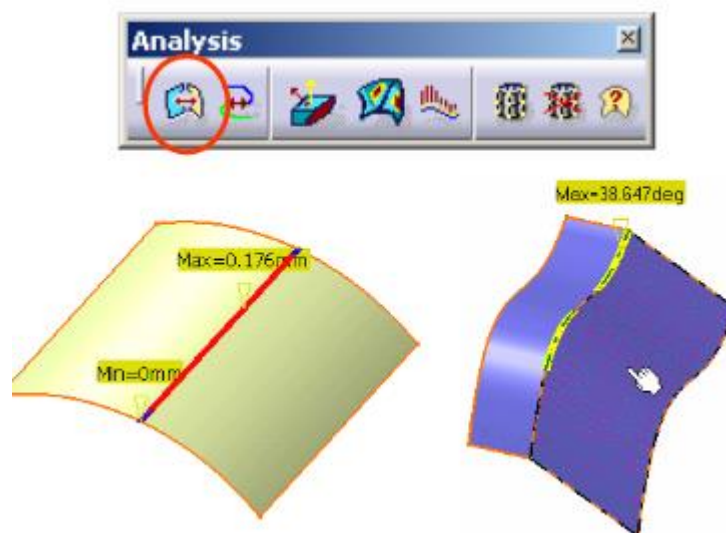
Слика 46. *User pattern*[4]

Connect Checker- Анализира како су 2 или више површина повезане.

Distance-Минимално растојање између две вертикале

Tangency-Угао између две површине

Curvature Difference $(|C2 - C1|) / ((|C1 + C2|) / 2)$



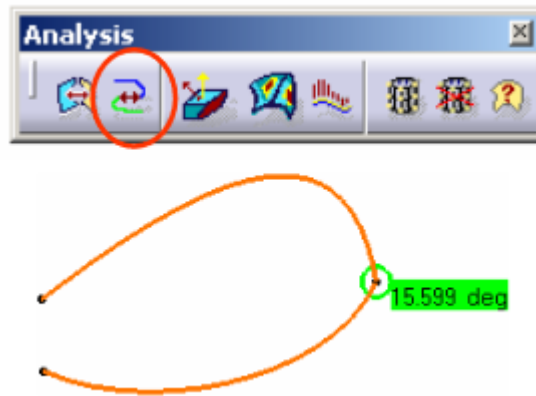
Слика 47. *Connect Checker*[4]

Curve Connect Checker- Анализира како су две криве повезане

Distance-Минимално растојање између две вертикале

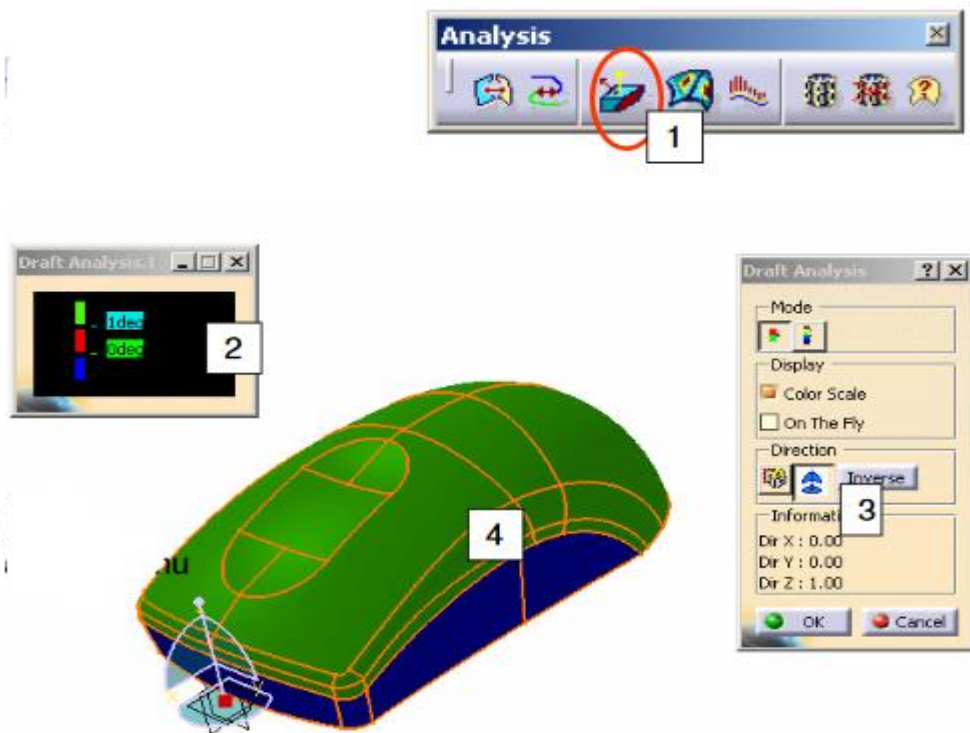
Tangency-Угао између две површине

Curvature Difference $(|C2 - C1|) / ((|C1 + C2|) / 2)$



Слика 48. Curve Connect Checker[4]

Draft Analysis- Анализирање угла напона на површини, да би се видели резултати напона потребно је изабрати у Shading-у материјал од ког је модел.



Слика 49. Draft Analysis[4]

Volumes – палета алата за израду запреминских модела



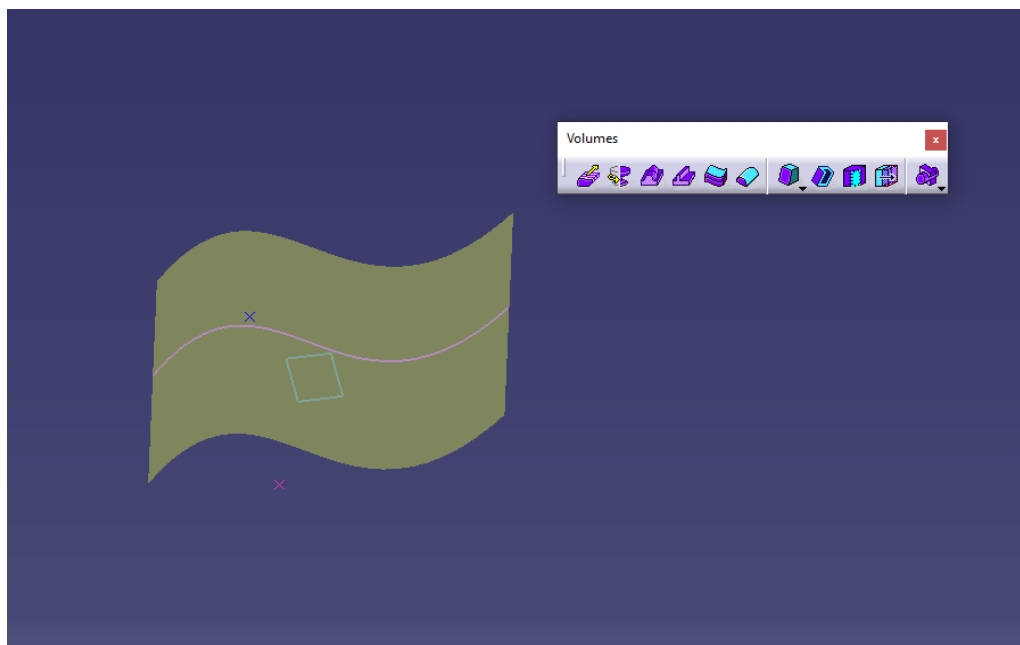
Слика 50. палета алата Volumes

Extruded Volume Definition - Овај алат показује како створити запремински модел истискивањем профила дуж одређеног смера



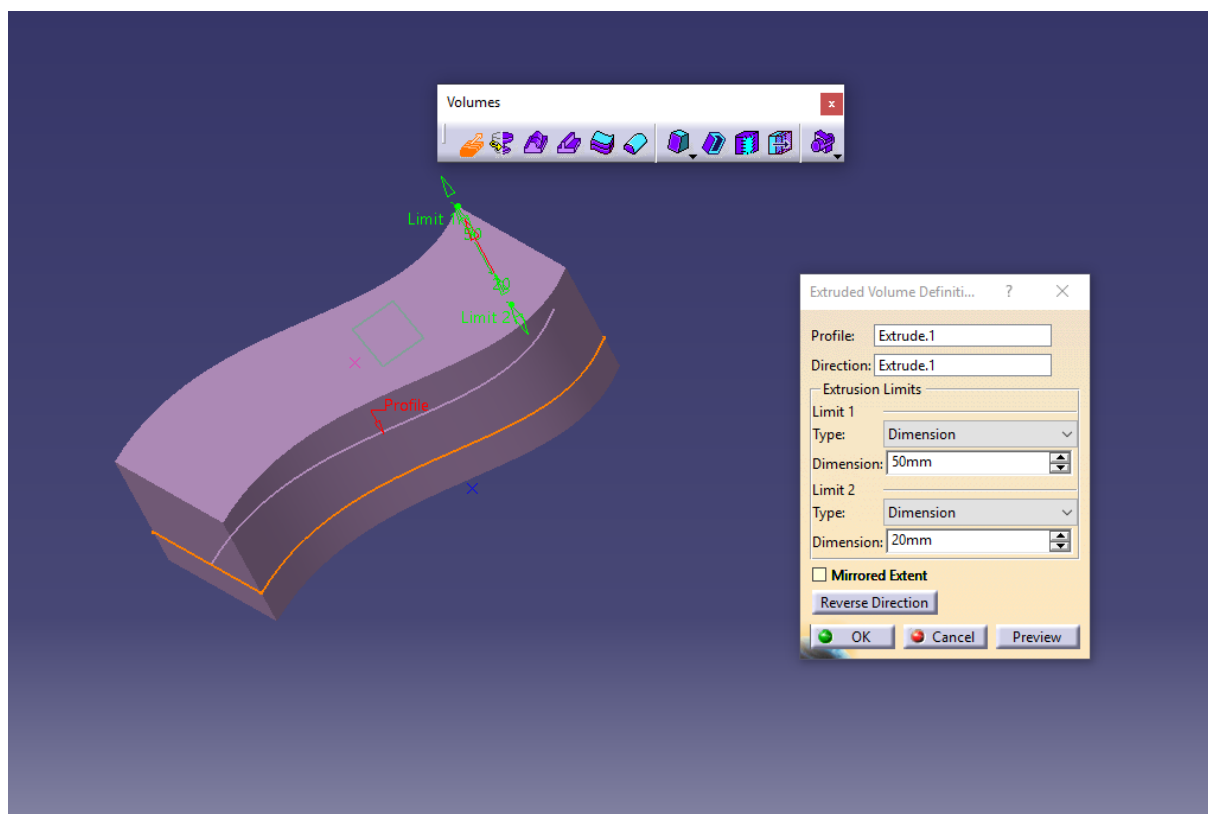
Слика 51. Extruded Volume Definition

Профил мора бити затворен и не сме имати преламања. Можемо истискивати запремински модел у оба правца и дати му произвољне димензије.



Слика 52. Задати модел са палетом алата

Следећи корак је коришћење алата Extruded Volume Definition, на начин да тако што одабиром профила и правца на који се истискује материјал добија се запремински модел. Постоји могућност одабира димензије модела на обе стране почетног профила. (Слика 53.)



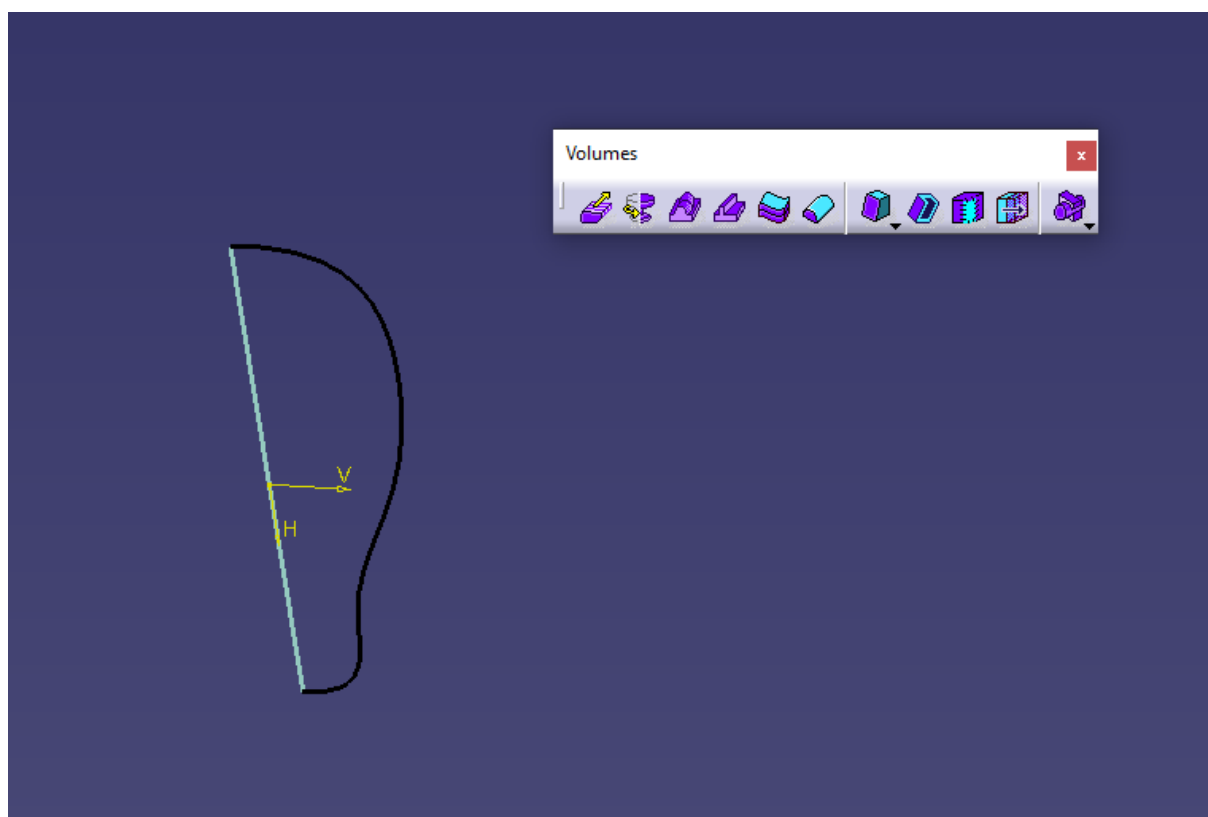
Слика 53. *Extruded Volume Definition*

Volume Revolve- Овај алат показује како створити површину ротирањем равног профила око осе.



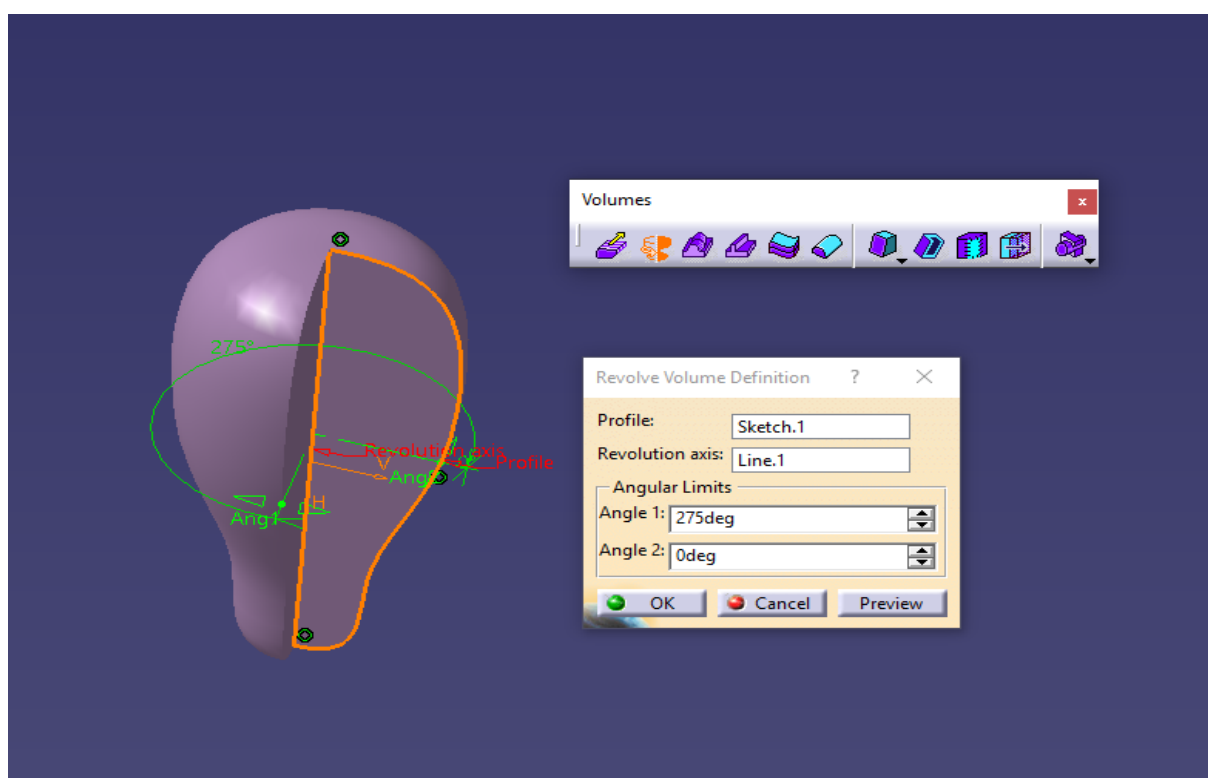
Слика 54. *Volume Revolve*

Профил мора бити раван и затворен или затворен на оси скице. Не сме да постоји пресек између осе и профила. Међутим, ако је резултат физички изводљив, површина ће се и даље створити. Профил не сме бити нормалан на осу обртања. (Слика 55.)



Слика 55. Задати модел са палетом алата

Одабиром алата Volume Revolve отвара се прозор у коме се означава жељена оса обртања, профил и угао који ће модел заузети. (Слика 55.)



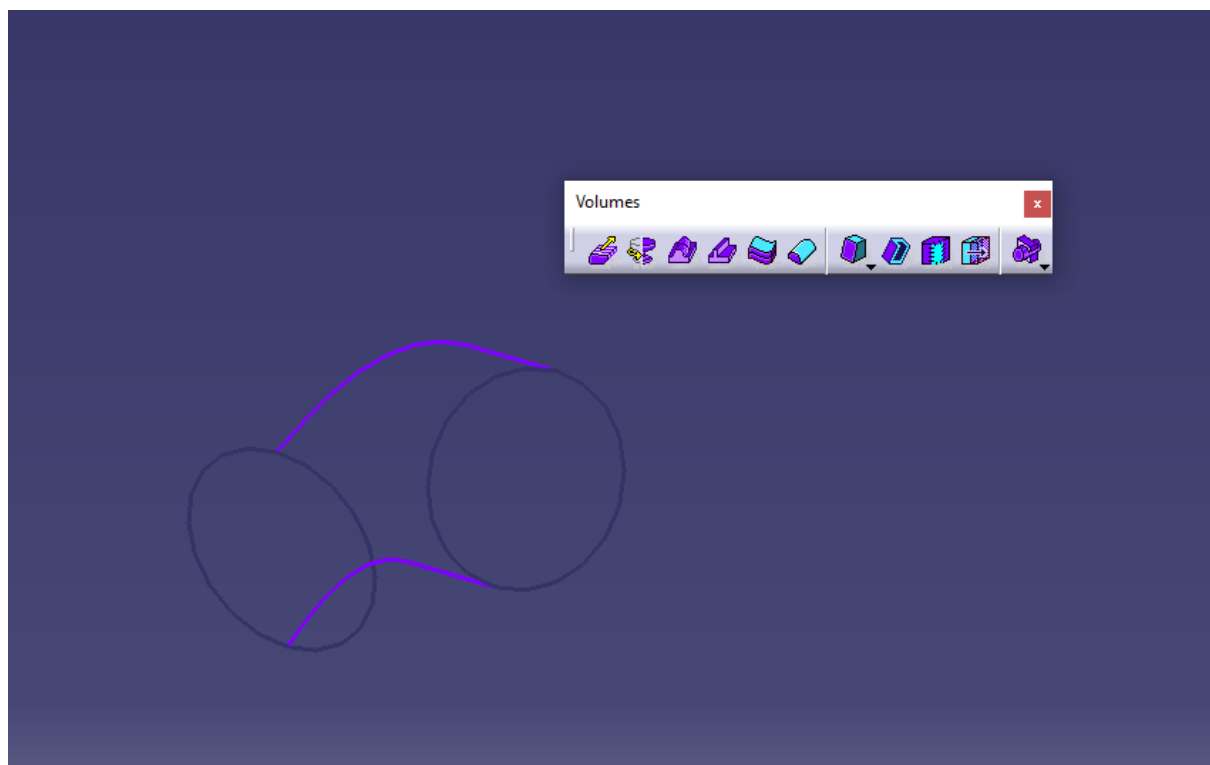
Слика 56. Volume Revolve

Multi-sections Volume- Овај алат показује како створити запремину с више делова померањем две или више затворених кривих секција дуж аутоматски израчунатих или дефинисаних делова од стране криве. Запремина се може постићи да прати једну или више водећих кривина.



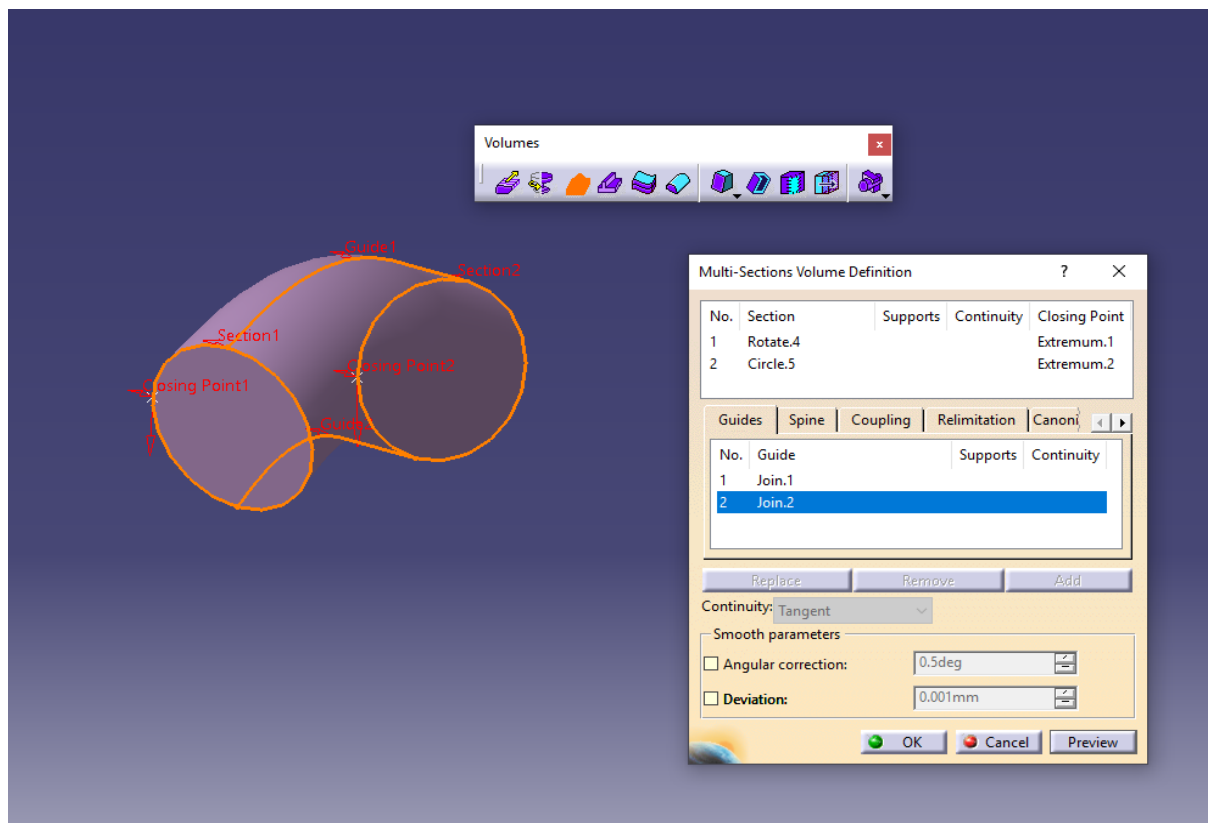
Слика 57. *Multi-sections Volume*

Потребно је изабрати две или више равни кривих пресека. Криве морају бити неискриване. За криве затвореног пресека може се изабрати тачка затварања прифила. (Слика 58.)



Слика 58. *Задати модел са палетом алата*

По потреби се бира једна или више водећих кривина. Водеће криве морају се пресецати у сваком крижном делу и морају бити неискриване. Прва крива вођења биће граница запреминског модела који се састоји из више делова ако пресеца сваку кривуљу дела. Слично томе, последња крива водиља биће граница запреминског модела са више делова ако пресеца последњу кривуљу дела. (слика 59.)



Слика 59. Multi-sections Volume

Swept Volume Definition- Овај алат показује како креирати запреминске моделе који користе одређени или неодређени кружни или праволинијски профил

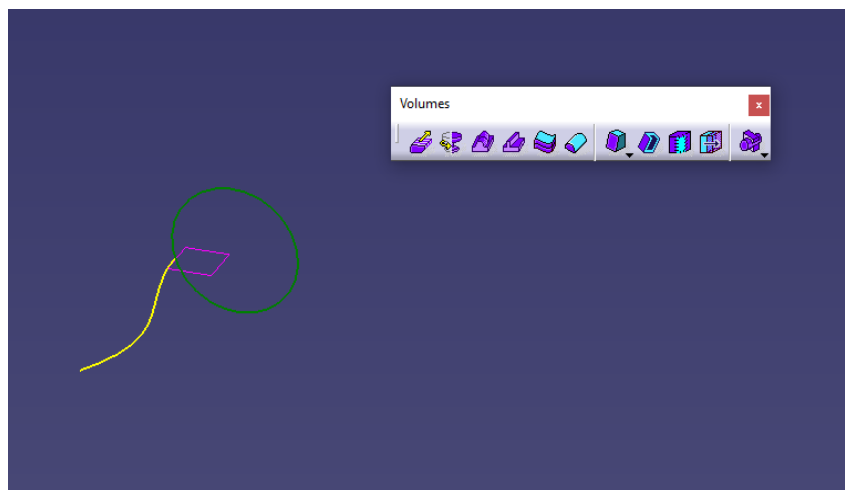


Слика 60. Swept Volume

Постоје три врсте профила које се користе: Одређени, праволинијски и кружни.

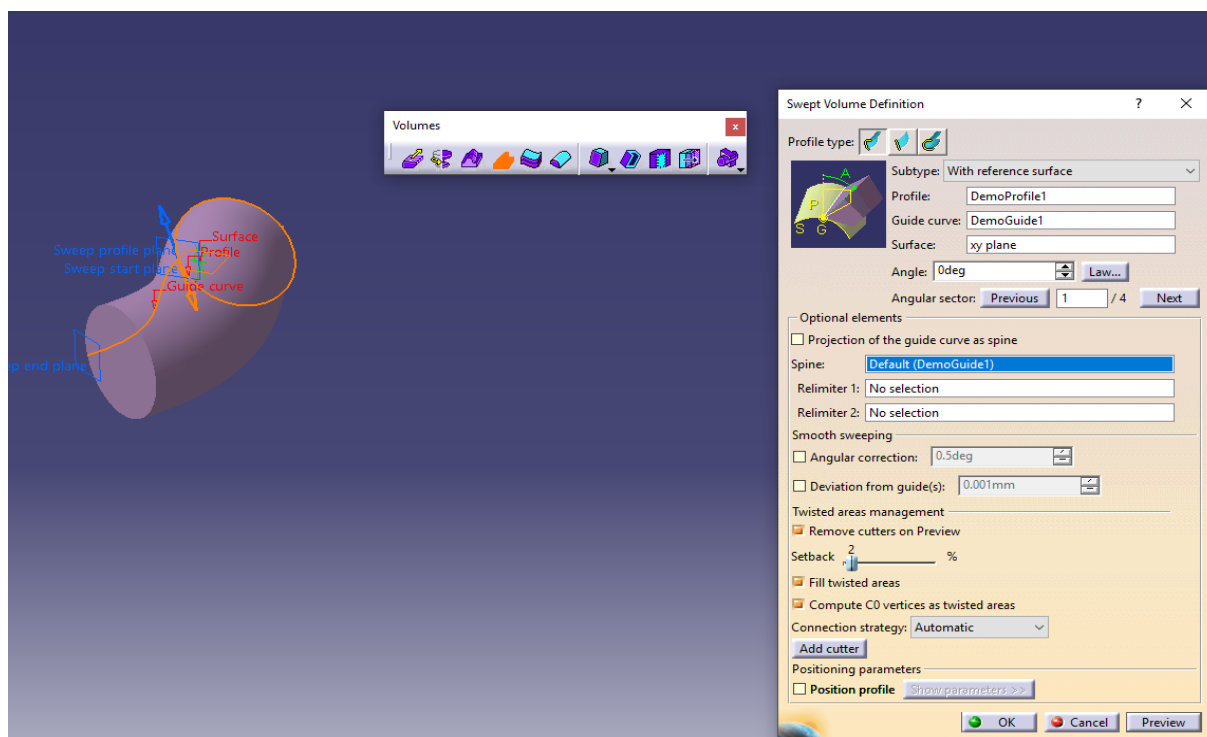
У оквиру алата разликујемо 3 начина израде профила:

1. Са референтном површином
2. Са две водеће криве
3. Са правцем повлачења



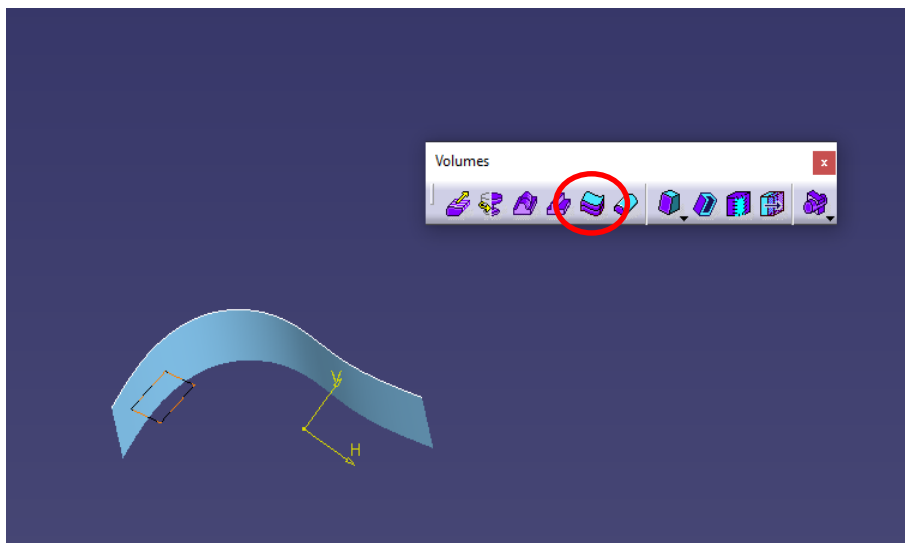
Слика 61. Задати модел са палетом алата

При покретању алата Swept Volume, прво што се уради је одабир иконице Explicit, а онда у падајућем менију одаберемо опцију With Reference Surface . Наредни корак је одабир профила и криве која ограничава профил. Потребно је изабрати површину да би контролисали положај профила током померања. Потребно је имати на уму да у овом случају водећа крива мора у потпуности да лежи на овој референтној површини, осим ако је равнина. На ову површину могуће је поставити угао. (Слика 62.)



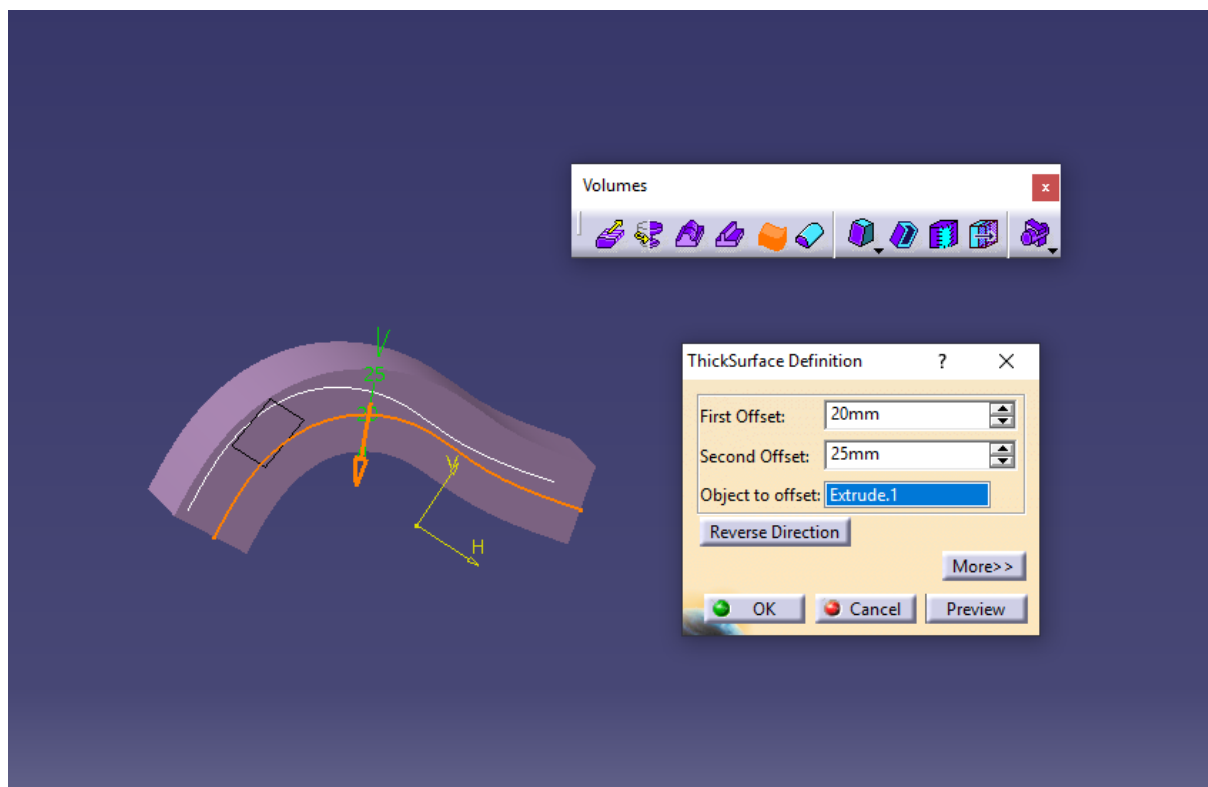
Слика 62. Swept Volume Definition

Thick Surface- његов задатак је да вам покаже како додавати материјал на површину у два супротна смера.



Слика 63. Задати модел са палетом алата

Наредни корак је отварање алата Tick Surface, када се отвори прозор алата у њему бирамо на коликом растојању ћемо додавати материјал и у ком правцу, такође је потребно означити почетни профил. (Слика 64.)



Слика 64. Tick Surface

Close Surface- његов задатак је затворање површине

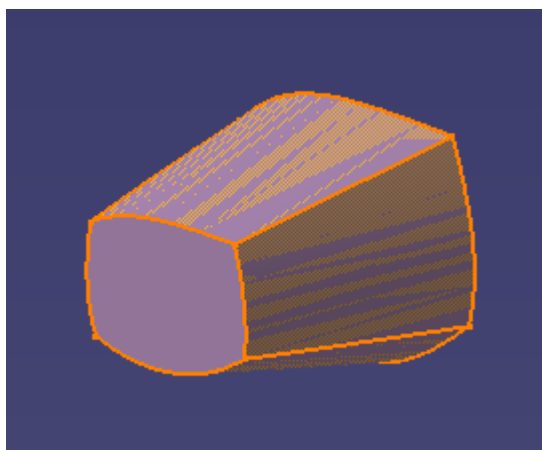


Слика 65. *Close surface*



Слика 66. *Задати модел са палетом алата*

Прва ствар коју треба да урадити је покретање алата и она у прозору алата у прозору Објект бирамо модел. Следеће што добијамо је модел који је у потпуности затворен. (Слика 67.)



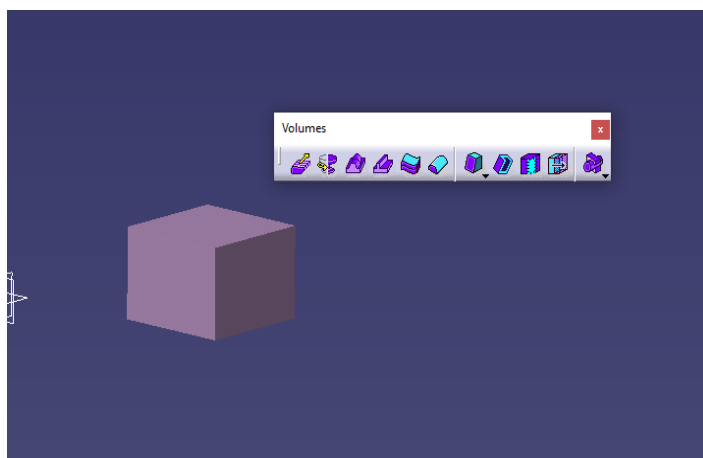
Слика 67. *Close surface*

Draft Angle- Овај алат показује како да направити основни Draft одабиром неутралног елемента.

Draft-ови су дефинисани на укалупљеним деловима како би се лакше уклонили из калупа. Постоје два начина за одређивање Draft-а објекта: или експлицитним одабиром објекта или одабиром неутралног елемента, због чега апликација открива одговарајућа лица калупа која треба користити.

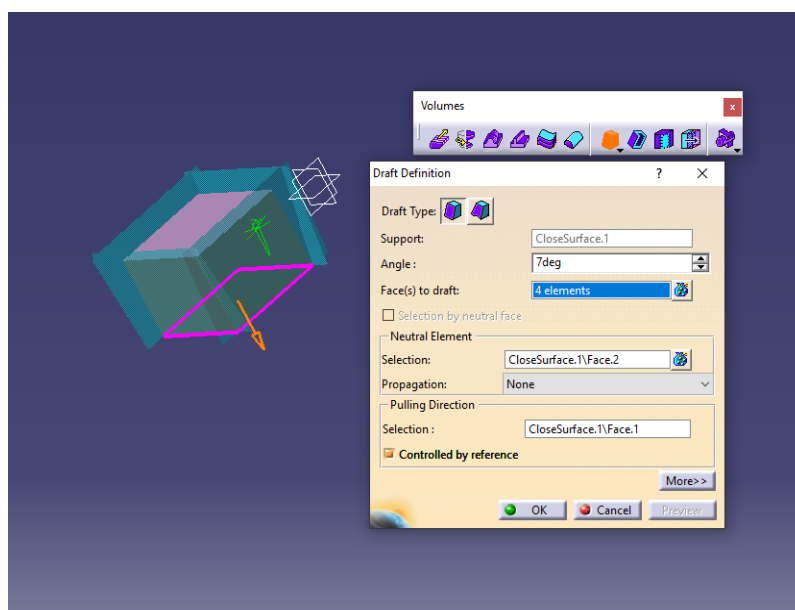


Слика 68. Draft Angle



Слика 69. Задати модел са палетом алата

Прво што треба урадити је отворити прозор алата Draft Angle у прозору одабрати угао нагиба, неутралну површину и површине које ће бити обрађене на основу одабраних параметара добијамо готови Draft. (Слика 70.)

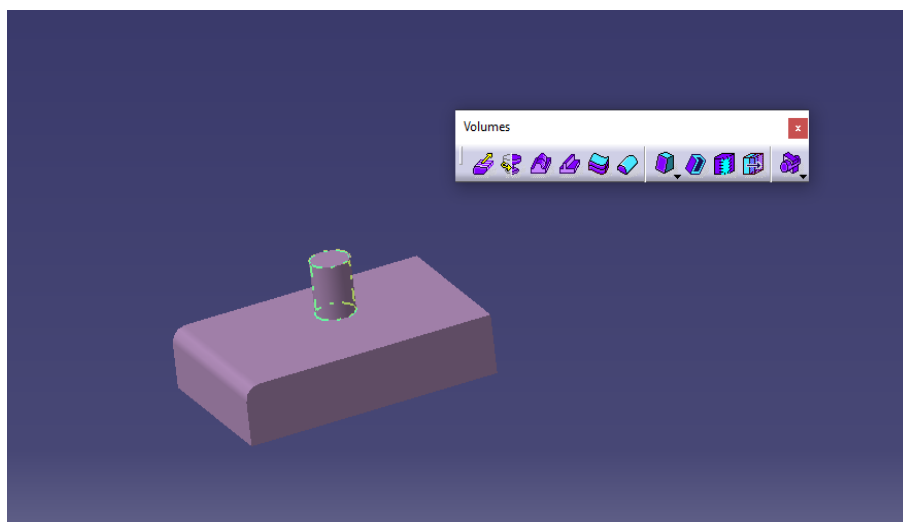


Слика 70. Draft Angle

Shell- овај алат карактеристише уклањање материјала , а истовремено задржавање одређене дебљине на њеним странама. Овај алат се такође може додавати дебљине споља. Овај алат уствари показује како створити шупљину.

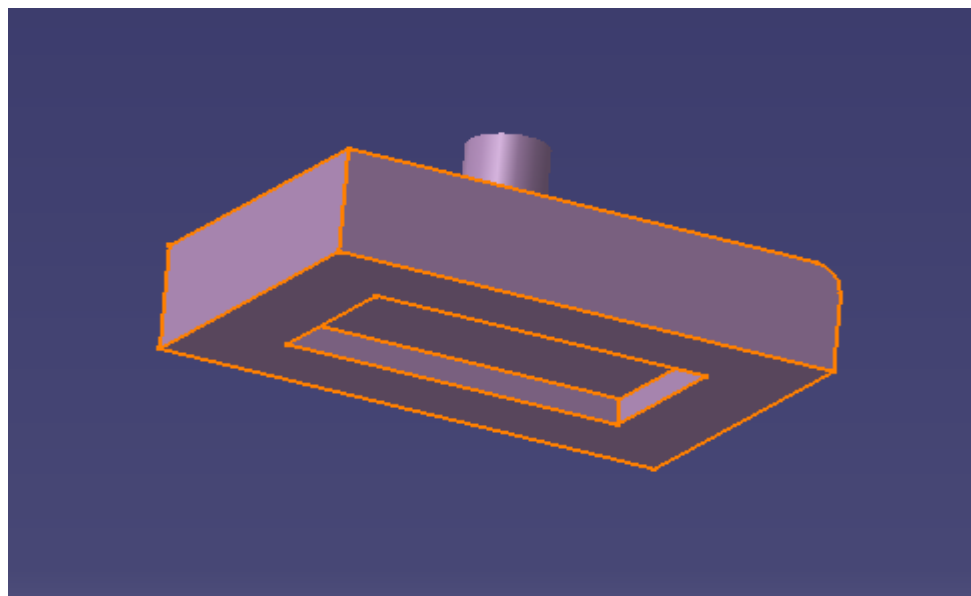


Слика 71. *Shell*



Слика 72. *Задати модел са палетом алата*

Прво што је потребно урадити је отворити прозор алата Shell у пољу ‘face to remove’ додати страницу у којој желимо да направимо отвор, у поље ‘Default inside thickness’ додати вредност 15mm, следеће што добијамо је резултат који је приказан на слици 73.



Слика 73. *Shell*

Sew Surface- је алат који комбинује површину и запремину. Овај алат служи за додавање или уклањање материјала мењањем површине модела.

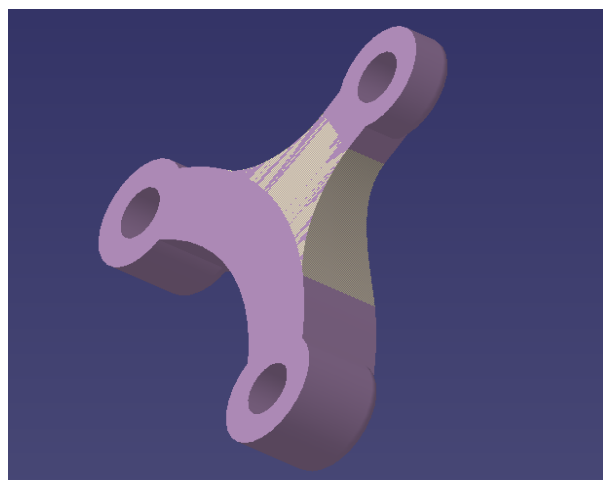


Слика 74. Sew Surface



Слика 75. Задати модел са палетом алата

Следећи корак је отварање прозора алата и у прозору ‘Volume’ одабрати модел, а у прозору ‘Object to sew’ одабрати површину коју додајемо. (Слика 76.)

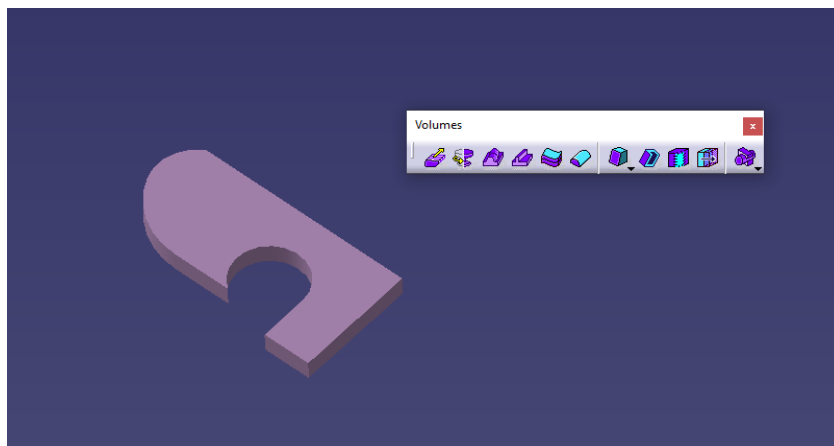


Слика 76. Sew Surface

Thickness- Понекад се неке дебљине морају додати или уклонити пре него што се обради део. Овај алат вам показује како да додате дебљину делу.

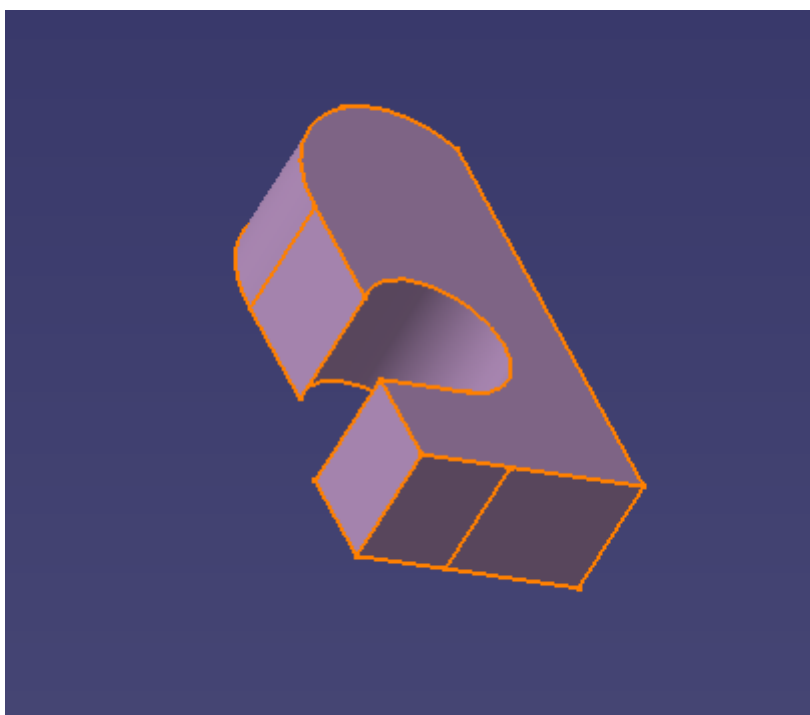


Слика 77. Thickness



Слика 78. Задати модел са палетом алата

Када се отвори прозор алата Thickness прво што је потребно урадите је одредити колико ће задебљање извршити, а онда странице које ће се задебљати, када странице поцрвене то је знак да је станица одабрана, све што је потребно је само потврдити све и као резултат добићемо готов део. (слика 79.)

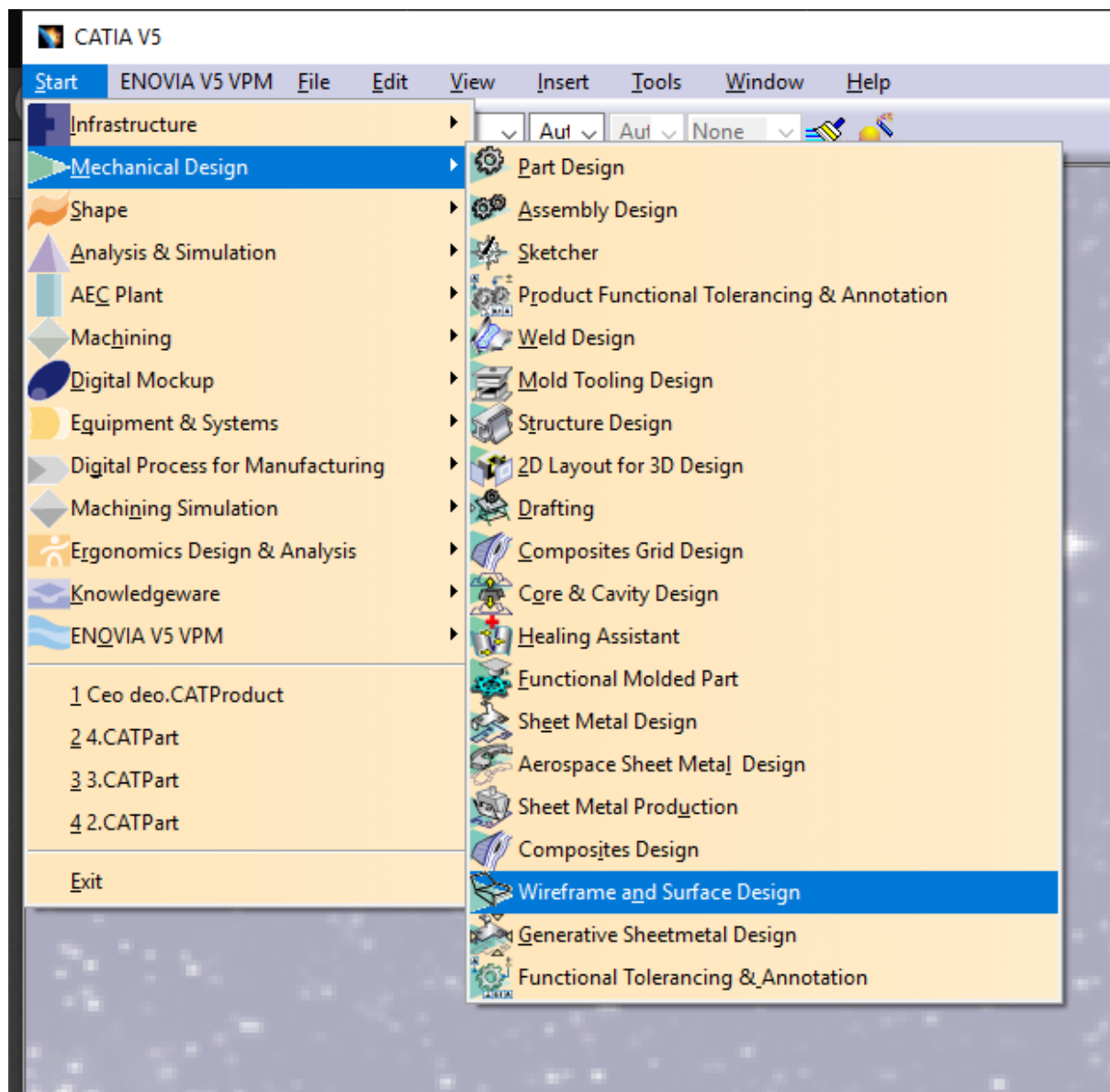


Слика 79. Thickness

5.2 Wireframe and Surface Design

Wireframe and Surface Design пружа алате за израду елемената за конструкцију жичаних конструкција током прелиминарног дизајна и обогаћује постојећи 3D механички део дизајна жичаним оквиром и основним површинским карактеристикама.

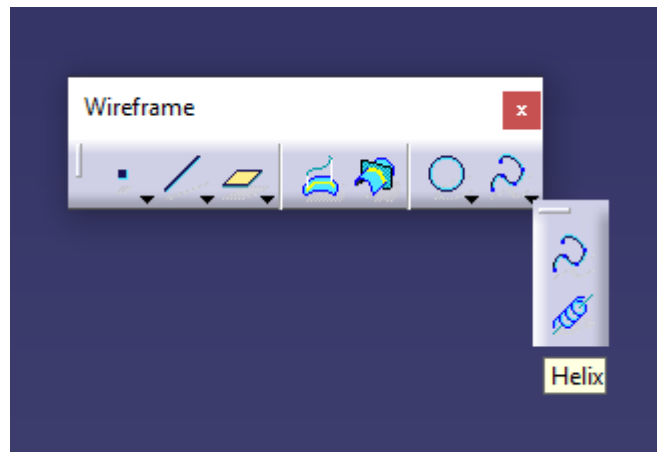
Траке са алатима у Wireframe and Surface Design.



Слика 80. Избор окружења у програму CATIA

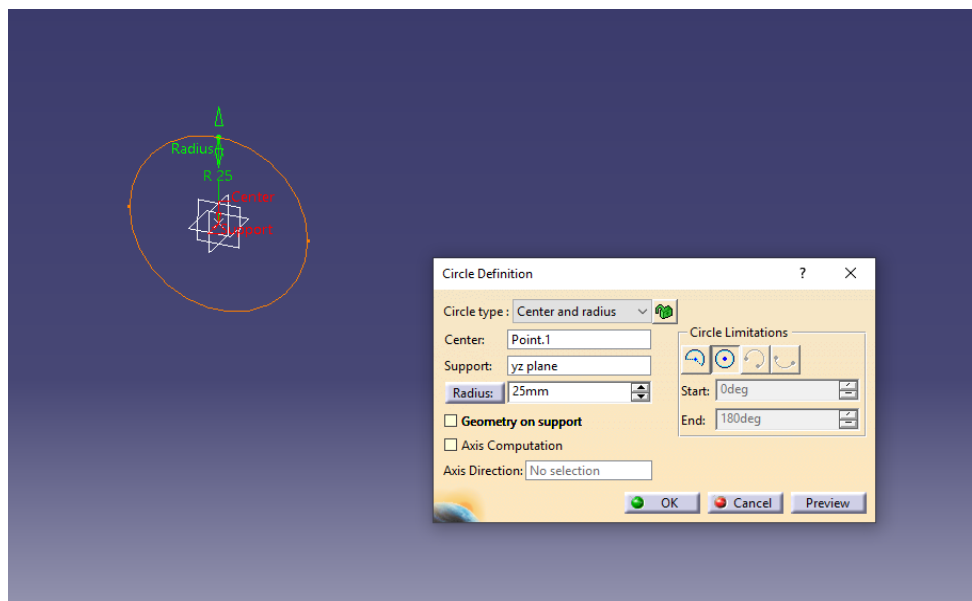
Креирање жичаних елемената (Wireframe)

Елементи жичане конструкције помажу у стварању површина. Скице нацртане у окружењу Sketch такође се могу користити за стварање површина. Располовиви алати за израду геометрија бежичног оквира описани су у наставку рада.



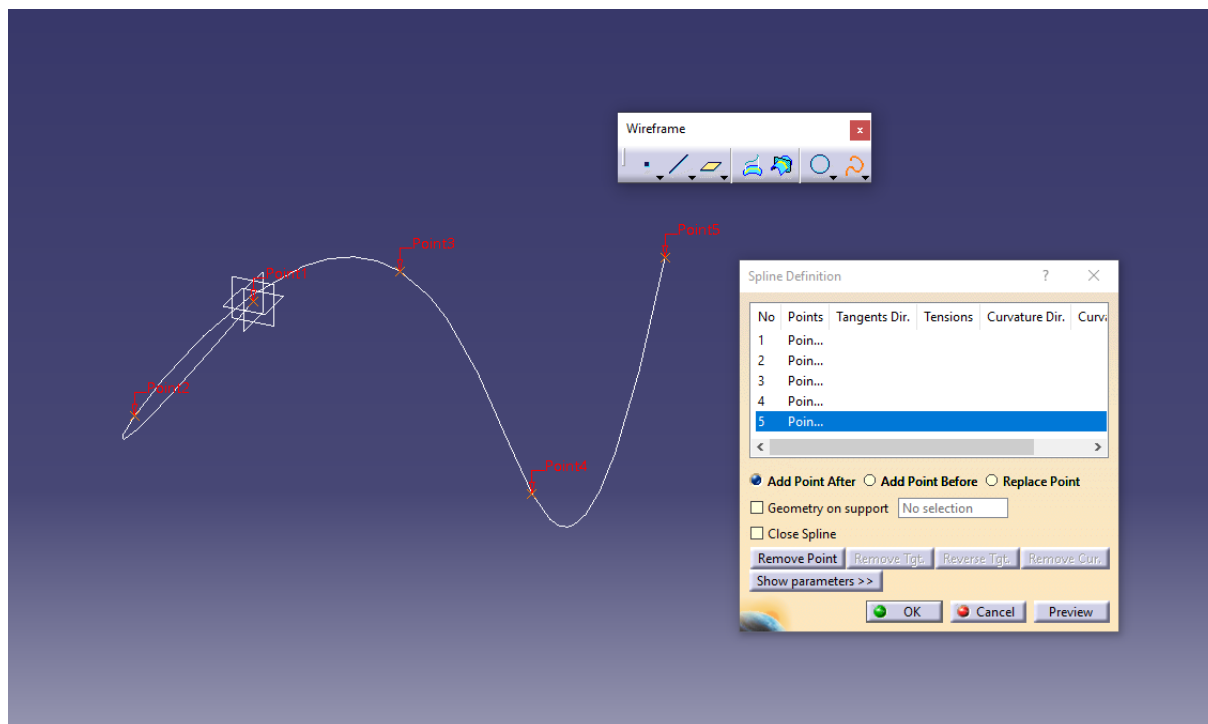
Слика 81. Wireframe

Алат **Circle** користи се за стварање кружних лукова и кругова. При одабиру дугмета Circle на траци са алаткама Wireframe приказаће се прозор алата за дефинисање димензија круга, као што је приказано на слици 82. Опција центар и радијус су одабране према задатим поставкама у падајућој листи Circle наредни корак је одабир централне тачке круга. Могуће је одабрати унапред дефинисану тачку или створити тачку одабиром било које од опција из менија, која је доступна када кликнете десним тастером миша на поље за избор центра у прозору. Затим је потребно одабрати површину за подршку. Изабрати раван као подлогуи навести потребну вредност радијуса.



Слика 82. Палата алата Circle

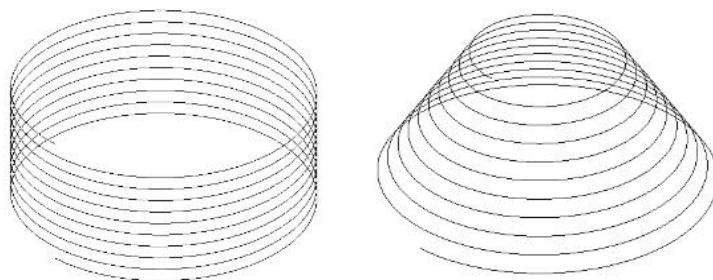
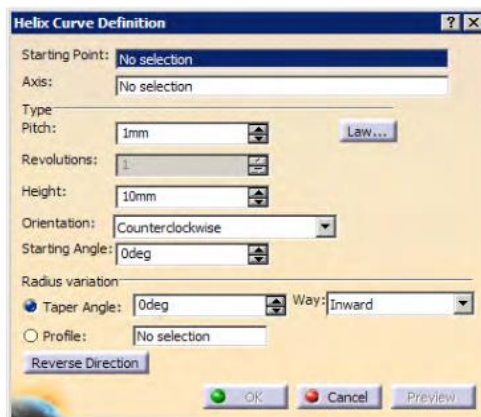
Алат **Spline** користи се за цртање линије у тродимензионалном простору одабиром тачака за повезивање. Кликом на стрелицу надоле са десне стране дугмета Spline се позива алатна трака Curves, као што је приказано на слици 83, а затим изаберити дугме spline.



Слика 83. Палата алата Spline

Појавиће се прозор **Spline**, као што је приказано на слици 83, и онда је потребно изабрати тачку. Могуће је изабрати унапред дефинисану тачку или креирати тачку. Након одабира тачке, биће потребно одабрати тачку или правац (линију или раван) или криву. Могуће је изабрати неколико тачака за цртање линије. У Spline Definiton постоји опција Geometry on support. При коришћењу ове опције неопходно је да изабрати елемент подршке. То се врши одабиром равани или површине, тако да тачка која је дефинисана за стварање криве лежи на њој. Тако створена линија ће у потпуности лежати на дефинисаном елементу потпоре.

Алат **Helix** користи се за стварање спиралне криве. При позивању овог алата, приказаће се прозор алата Helix Curve Definition, као што је приказано на слици 84, и биче потребно изабрати почетну тачку спирале. Након тога потребно је одабрати линију као осу спирале. Могуће је изабрати унапред дефинисану линију или нацртати линију која користи опције из менија, а која ће се приказати десним тастером миша у подручју избора осе. Могуће је поставити вредности нагиба, висине, оријентације и почетног угла у одговарајућим деловима спирале.



Слика 84. Палата алата Helix и примери [6]

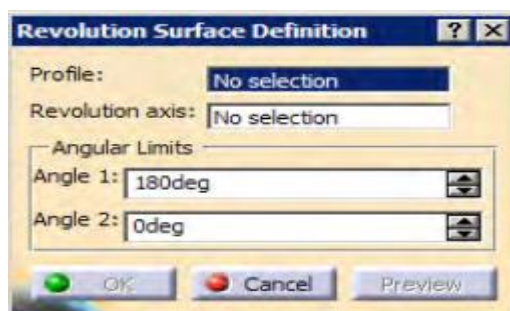


Слика 85. Палета алата Surfaces

Ротирајуће површине настају окретањем профила око осе. Да би се створила ротирајућа површина, прво је потребно нацртати профил и осу ротације око које се профил окреће. Изабрати дугме **Revolve** на алатној траци Surface.

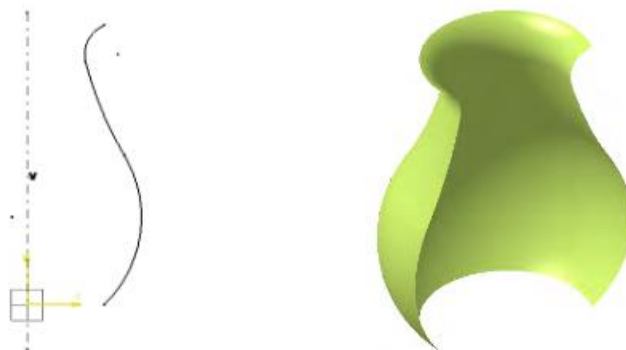


Слика 86. Revolve Surfaces



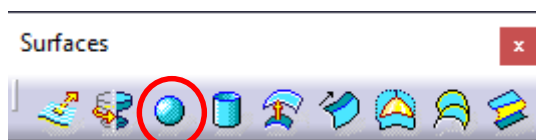
Слика 87. Surface Definiton

Изабрати профил који ће се ротирати. Подразумевана је оса која је нацртана, са профилем у радној табли Sketch , изабрана као оса обртаја. Такође могуће је одабрати неку другу осу ротације. Добијена површина се окреће до угла који је дефинисан. У нашем случају 180 степени.

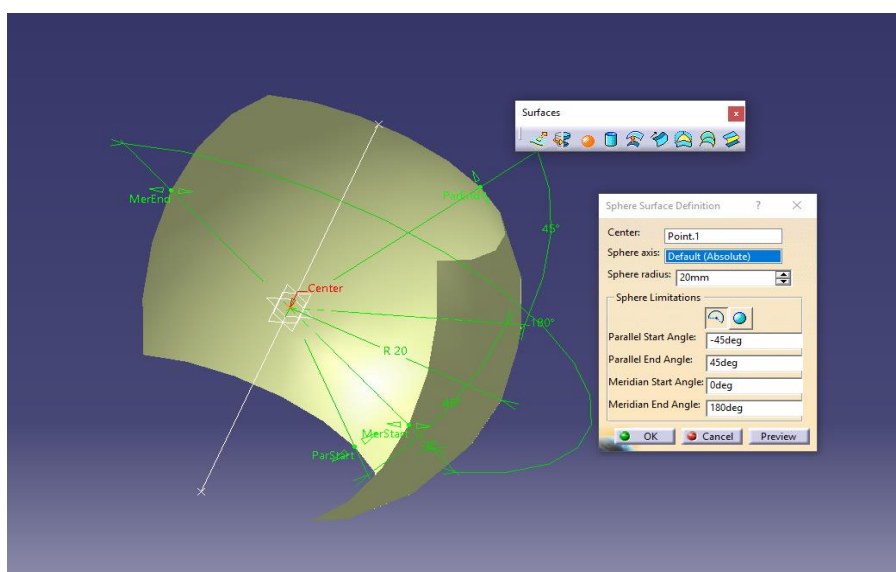


Слика 88. Пример алата Revolved Surfaces [6]

Овај алат се користи за креирање сферних површина. Када се покрене овај алат, појавиће се прозор **Sphere Surface Definition** као што је приказано на слици 90. Обавезно је одабрати средњу тачку и систем оса као осовину сфере. Могуће је одабрати постојећу тачку као средишњу или створити тачку употребом опција из менија, које ће се приказати десним кликом у подручју избора центра. Такође је могуће изабрати било који претходно креиран систем оса. Преглед сферне површине приказан је у подручју геометрије. Могуће је променити вредности угла користећи опције доступне у подручју Sphere Limitations или преусмеравањем повлачења ограничавајућих стрелица у геометријском подручју.

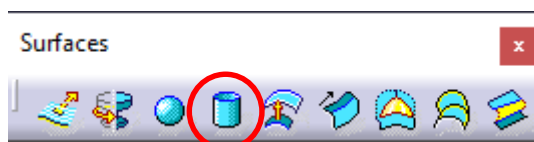


Слика 89. Sphere Surface

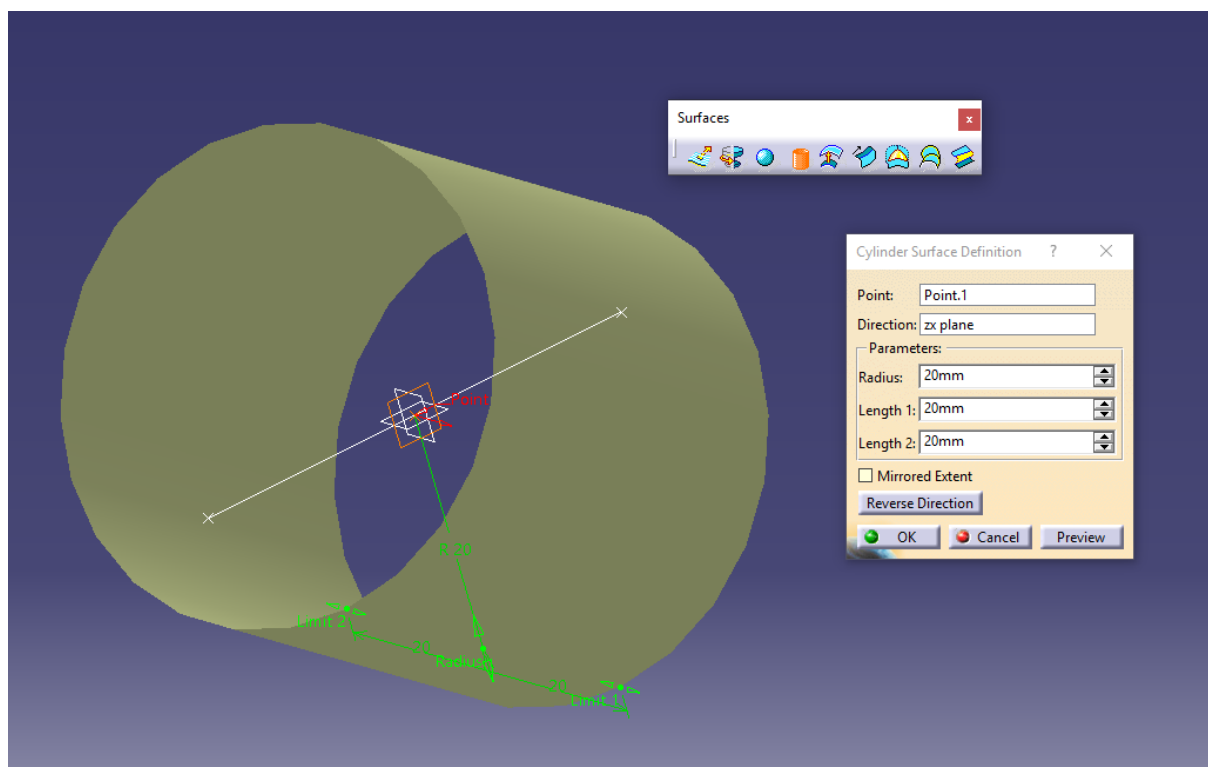


Слика 90. Пример алата Sphere Surface

Овај алат се користи за стварање цилиндричних површина. При одабиру дугмета **Cylinder** на алатној траци Surfaces приказује се прозор алата **Cylinder Surface Definition** и потребно је одабрати средину цилиндра. Могуће је одабрати постојећу средишњу тачку или створити тачку користећи опције из менија, које ће се приказати десним кликом у подручју избора центра. Затим је потребно прецизирати смер цилиндра. Изабрати нормалну раван у којој ће цилиндар лежати. Такође могуће је изабрати смер из менија, на који се можете позвати десним кликом у подручју за одабир смера.

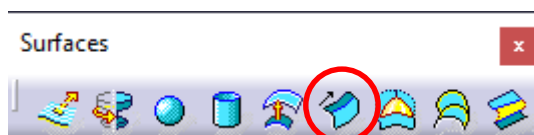


Слика 91. *Cylinder Surface*

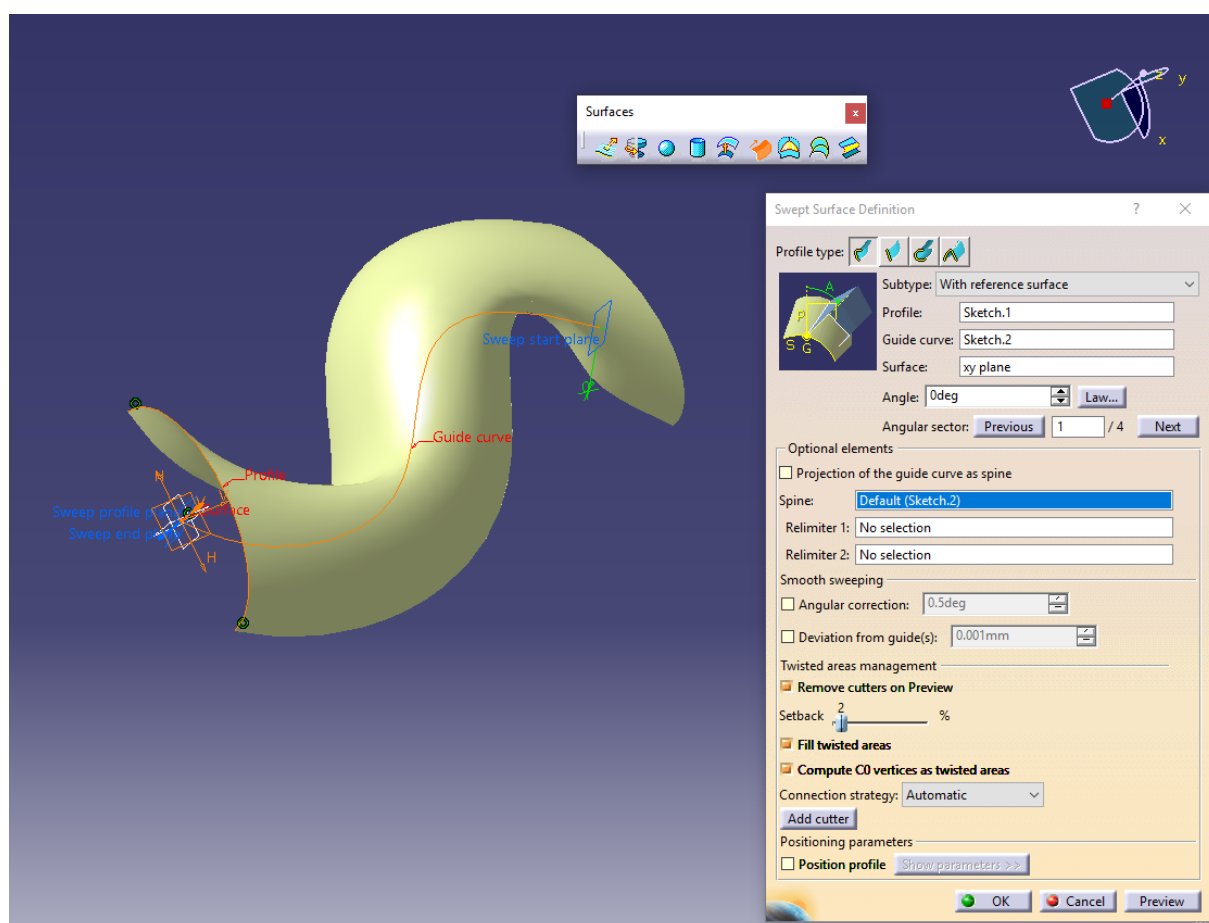


Слика 92. *Пример алата Cylinder Surface*

Алат **Swept** је предвиђен за израду површина померањем профила дуж водеће криве на жичном раму и радној површини. Да би се креирала површина, прво се црта профил и крива водиља као две одвојене скице. Следеће је одабир дугме Sweep на алатној траци Surface. Појавиће се прозор Swept Surface Definition , као што је приказано на слици 92, и биће потребно изабрати профил. При одабиру профила из подручја геометрије биће потребно изабрати криву водиљу.



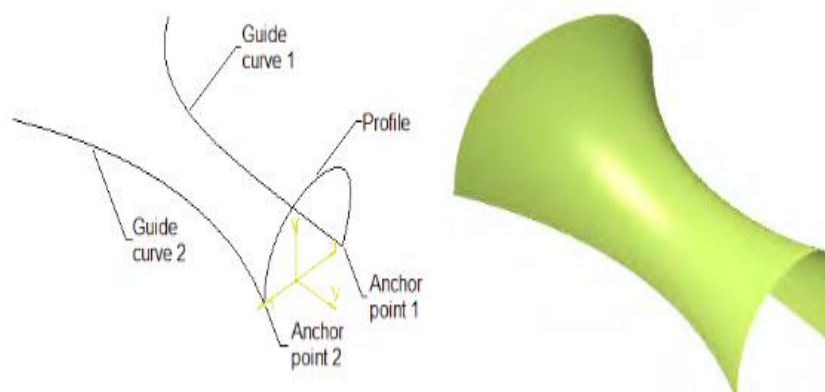
Слика 93. Swept Surface



Слика 94. Пример алата Swept Surface

Swept Surface са две водеће криве

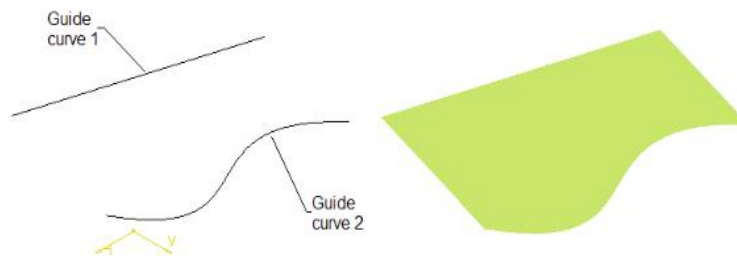
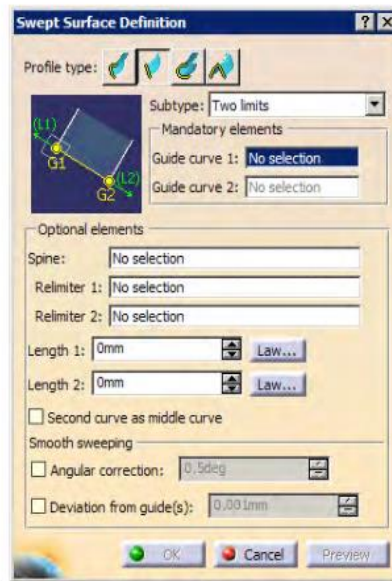
Могуће је створити и површину која се помера помоћу више водећих кривих. Прво нацртати профил и две водеће кривине као засебне скице. После тога одбрати дугме Swept на алатној траци Surface, приказаће се прозор алата Swept Surface Definition . Изабрати With two guide curve на падајућој листи затим је потребно одабрати профил. Након избора профила, биће потребно одаберети криву водиљу. Одаберити прву и другу криву водиљу после тога одабрати одговарајућу тачку за одговарајуће криве вођења.



Слика 95. Пример алата Swept Surface са две криве [6]

Swept Surface са два ограничења

Могуће је креирати површину дефинисањем две граничне криве. Границе могу бити у истим или различитим нивоима. Да би се створила површина са две границе, потребно је да нацртати две граничне криве. Након цртања криве, изаберити дугме Sweep на алатној траци Surface онда ће бити приказан прозор Swept Surface Definition. Изабрати дугме Line из области Profile Type у прозору алата. Параметри у прозору Swept Surface Definition се мењају и појавиће се као што је приказано на слици 94. Одабрати прву криву вођења. Након одабира прве криве водиље, од биће потребно изабрати другу криву водиљу. Изабрати другу криву водиљу и изабрати дугме Preview за приказ површине створене између граничних кривих.



Слика 96. Пример алата *Swept Surface* са два ограничења [6]

6. Моделирање делова

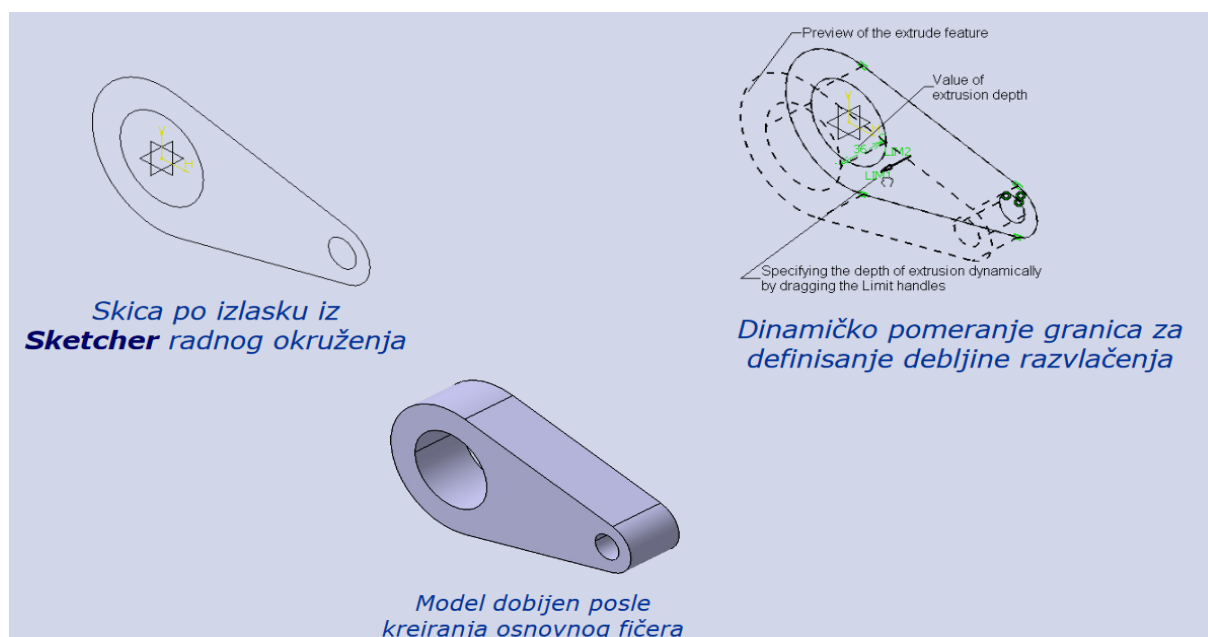
Моделирање делова применом моделских форми представља данас најшире распрострањену CAD технологију. Она је далеко општијег карактера од технологије примене примитива, описане у уводном делу овог поглавља. Без обзира на сложеност геометрије конкретног машинског елемента и категорију конструкције којој припада (стандардни машински елементи, специјални машински елементи, ливени и ковани облици, делови од лима и др.), поступак моделирања има мање или више универзални ток. У основи састоји се од следећих корака:

- формирање скица,
- креирање моделских форми и
- компоновање моделских форми у део.

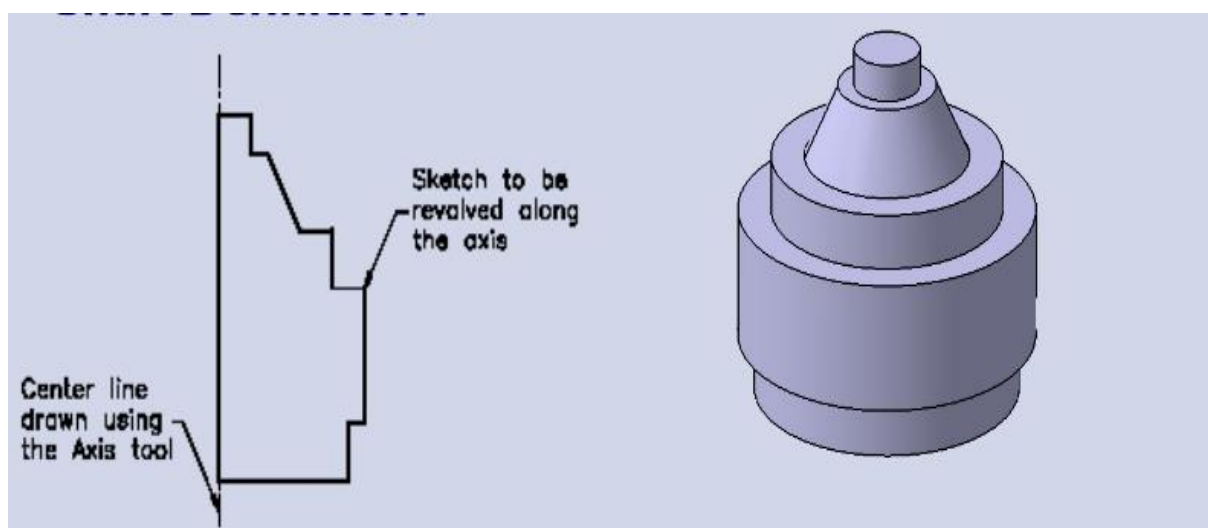
6.1 Креирање моделских форми

Креирање (запреминских) моделских форми настаје применом одговарајуће моделске операције над скицом. Оне моделу могу додати или одузети материјал, док се моделске форме моделу увек додају. Основне моделске операције су:

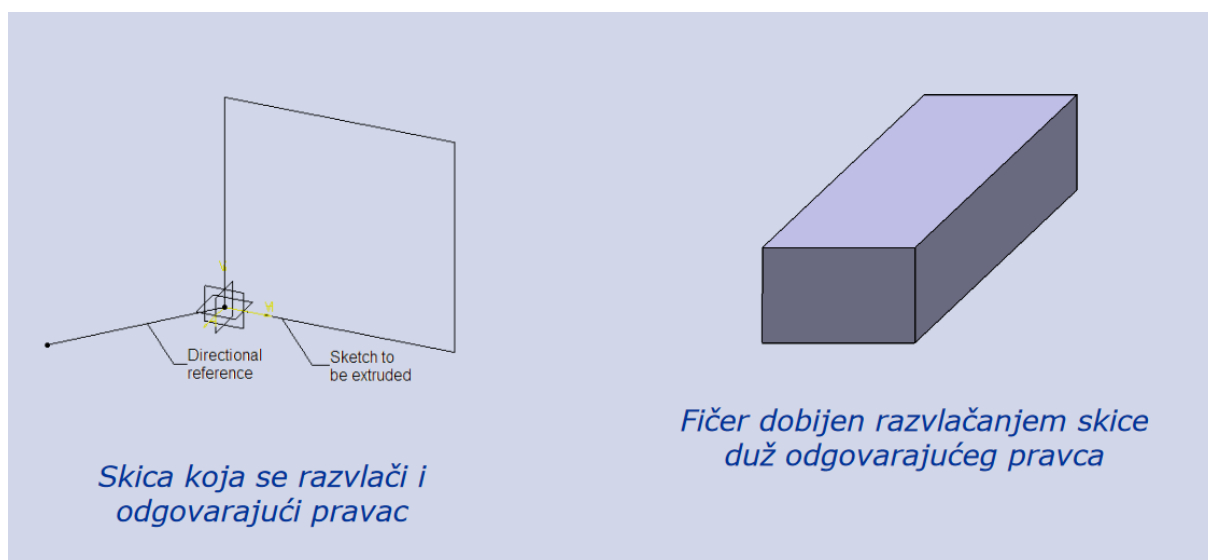
- извлачење (екструдирање)
- ротација
- извлачење по путањи
- извлачење кроз различите пресеке
- израда отвора
- обарање ивица
- заобљавање ивица
- креирање ребара
- креирање нагиба
- креирање кутијастих облика
- пресликавање
- умножавање и
- скалирање



Слика 97. Екструдирање [7]



Слика 98. Ротација [7]



Слика 99. Извлачење по правцу [7]

Поред ових постоји и читав низ других моделских операција које пројектанту олакшавају рад на креирању и модификацијама моделских форми, као и њиховим манипулацијама.

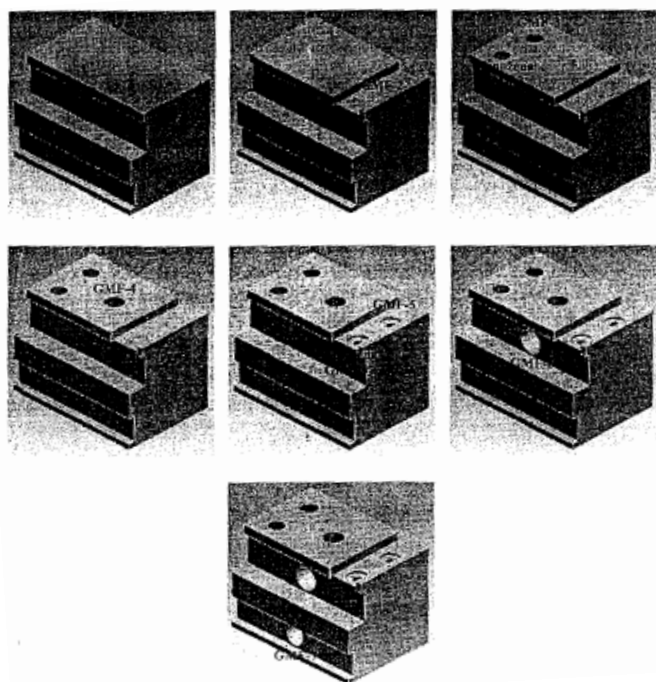
Већ је напоменуто да се над једном скицом могу извести различите моделске операције.

Моделске операције користе се и приликом креирања површинских модела. Поред наведених постоји и читав низ других специфичних за ову намену.

Приликом дефинисања димензионих ограничења и других параметара моделске форме могуће је и упутно користити кориснички дефинисане параметре, као и релационе зависности. На тај начин се још у најранијим фазама развоја производа ствара основа за ширу и конзистентну примену модела и уграденог знања.

6.2 Компоновање моделских форми

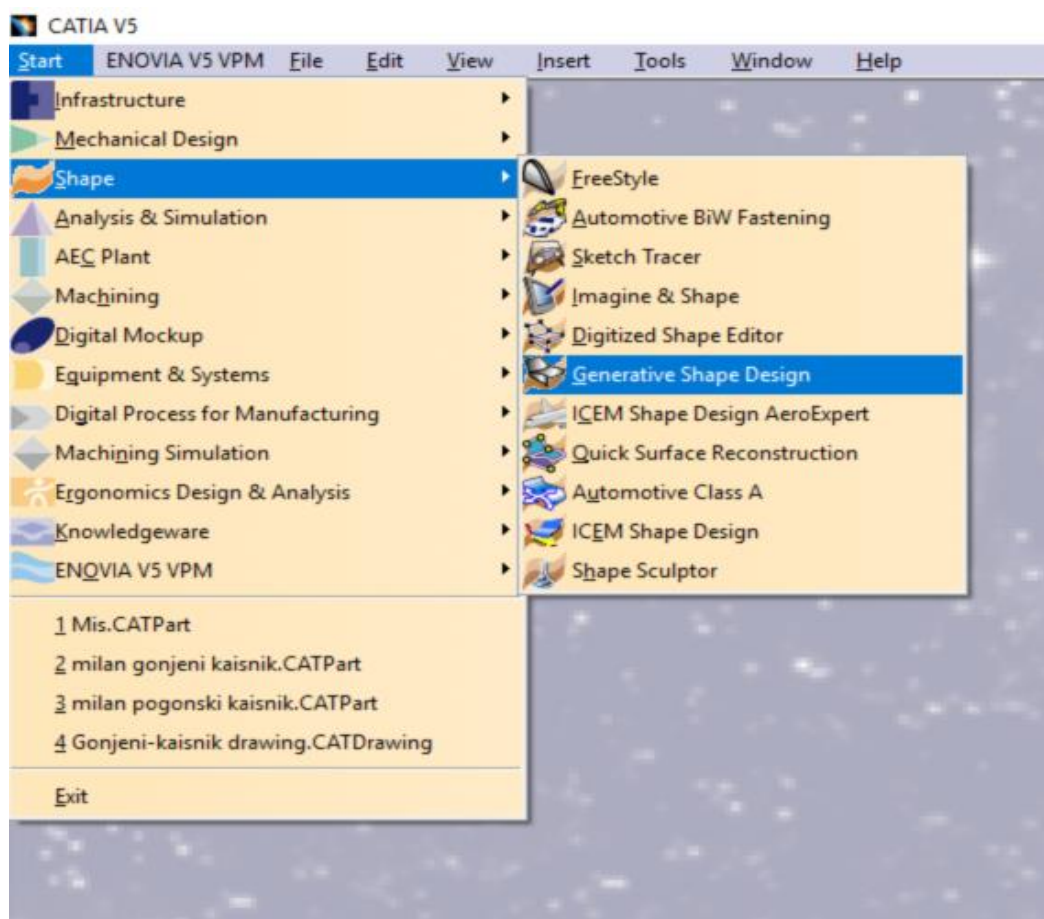
Појединачни делови, тј. машински елементи настају кроз поступак компоновања геометријских моделских форми у модел производа. Тај поступак се изводи додавањем допунских (конструкционих, корисничких) моделских форми базној. Основна геометрија производа одређена је скупом запреминских моделских форми, али њена укупна дефиниција садржи и низ других помоћних, као и моделских форми знања.[3]



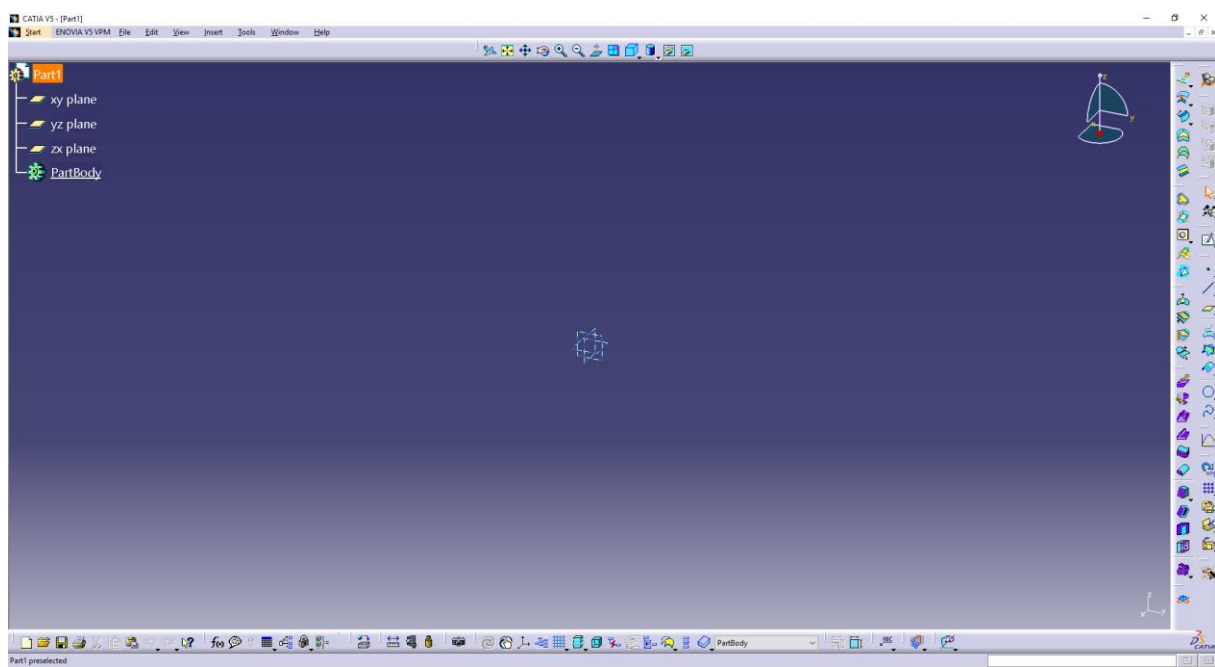
Слика 100. *Компоновање геометријских моделских форми у модел производа [3]*

Начин креирања модела тела стезног прибора са слике 100. само је један од могућих. Број моделских форми од којих је компонован део може бити различит. Са (смишљеним) повећањем броја моделских форми, што се сматра за добру праксу 3D моделирања, повећава се и број параметара који могу бити од користи у даљим поступцима. Тада примена принципа параметарског моделирања, како је то објашњено на примеру из одељка 2.10, долази до пуног изражаја. Укључивањем релационих зависности и разних врста формула, као моделских форми знања, моделу се уграђује "интелигенција" која се посебно испољава током модификација и инжењерско-технолошких примена.

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

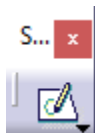


Слика 102. Проналажење модула *Generative Shape Design* у палети модула

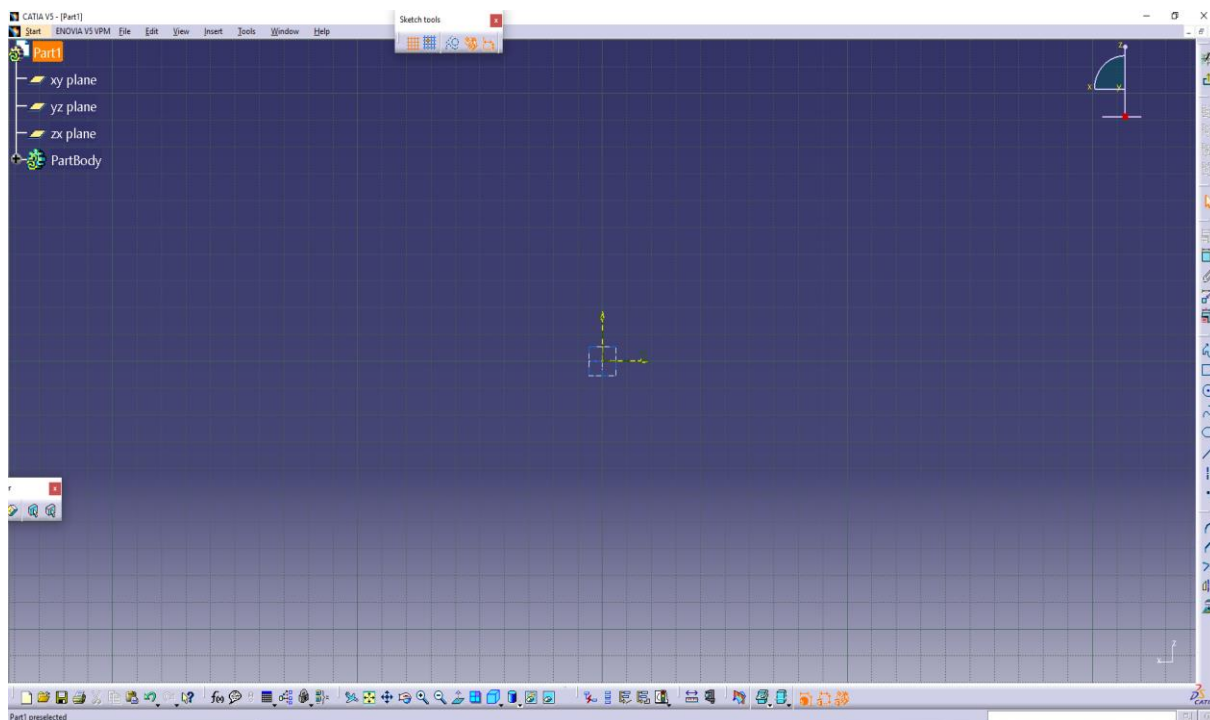


Слика 103. Модул *Generative Shape Design* са његовом палетом алата

Следећи корак је дефинисање скице бочне контуре миша помоћу које се добија 3D модел миша. Скицу се прави помоћу алата Sketch (слика 104), а потом се бира раван у којој се црта и добија се дводимензионални простор у ком се црта скица.

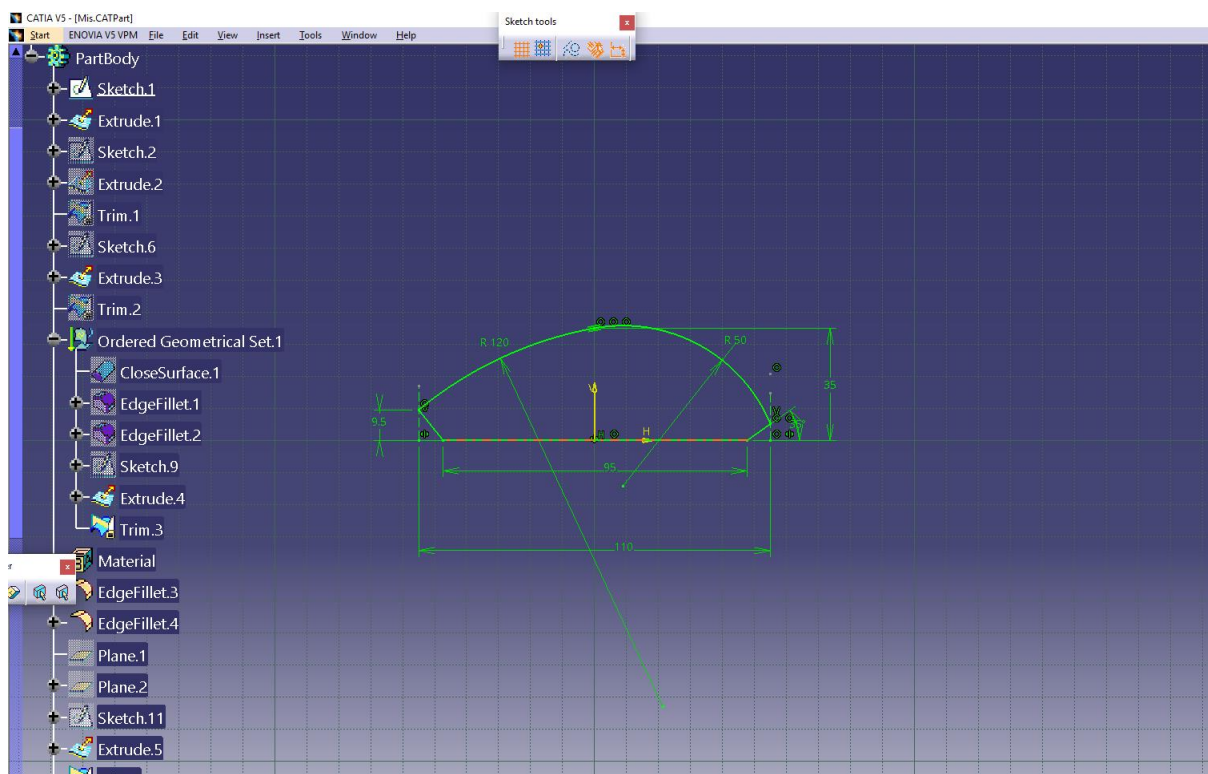


Слика 104. алат Sketch



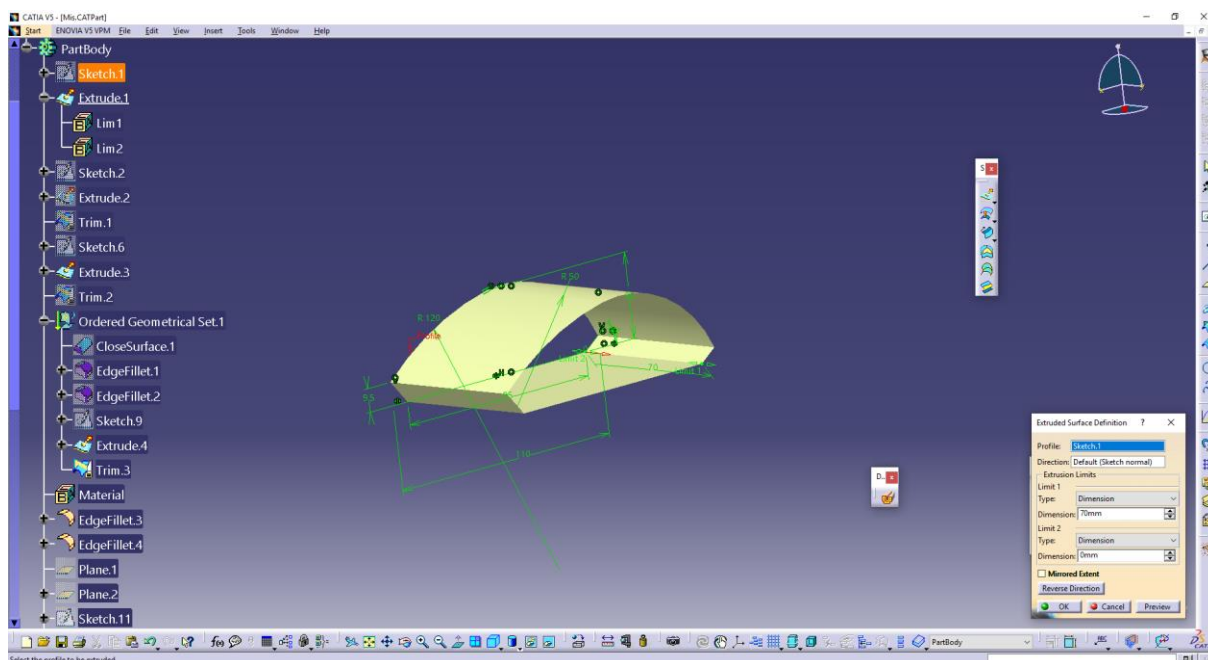
Слика 105. окружење Sketch

У окружењу Sketch започиње израда бочне пројекције рачунарског миша и тако се добијају контуре будућег модела (слика 106). Додавањем димензија и свега осталог што је потребно да би дефинисали габаритне мере модела. Модел се ради у равни ZX.



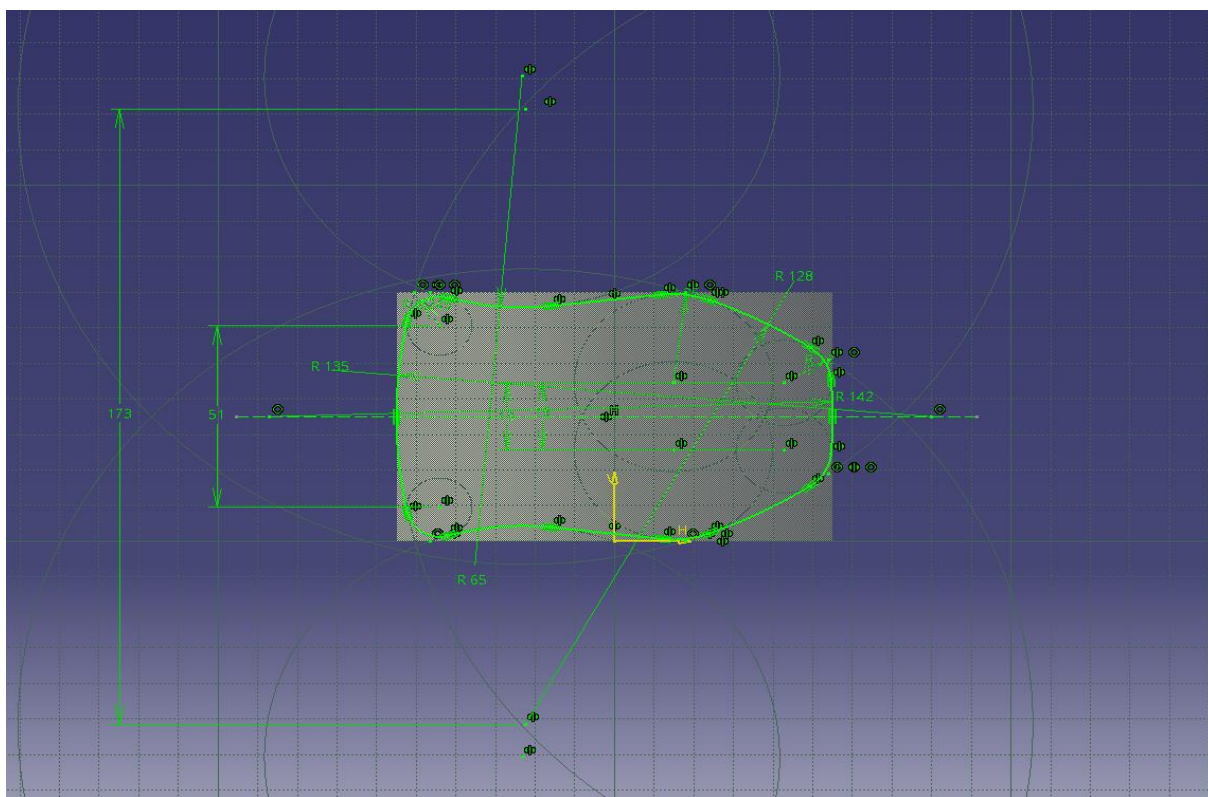
Слика 106. Моделирање бочне контуре рачунарског миша

Коришћењем команде Extrude(слика 107) се формира љуска која дефинише висинску спољашњу контуру миша. Део се екстудира по већ одређеној контури која је дефинисана Sketch-ом за 70мм.



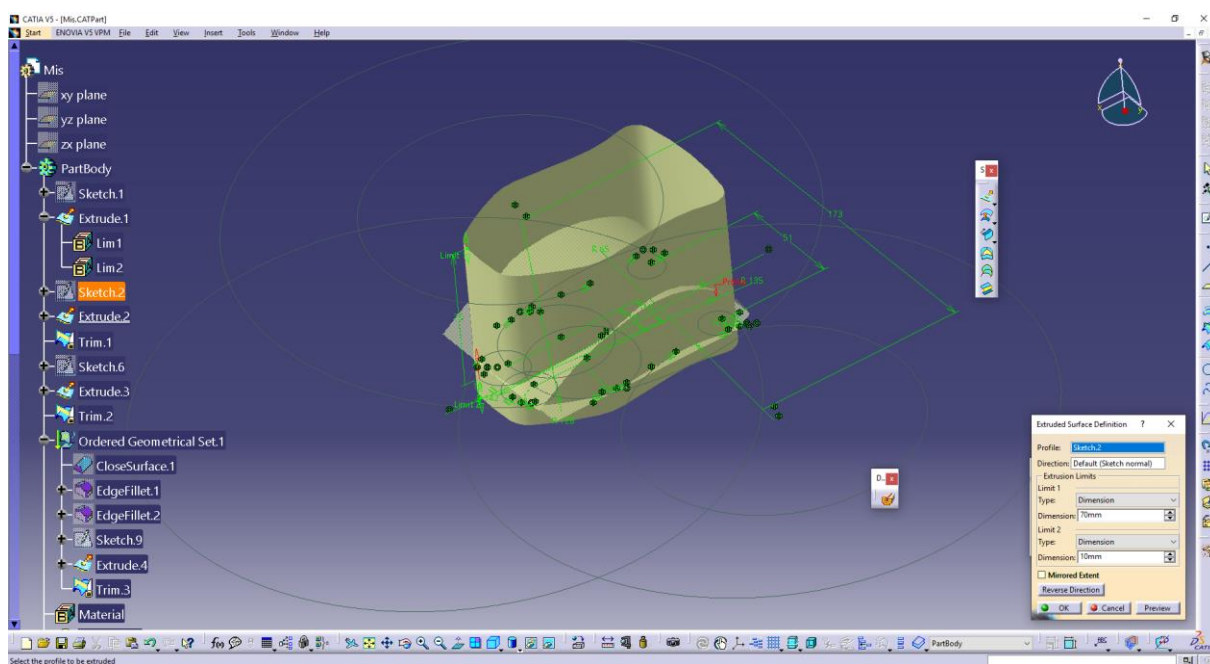
Слика 107. примена алата Extrude

Поновним уласком у окружење Sketch бира се раван XY и црта се скица бочних контура модела.(слика 108)



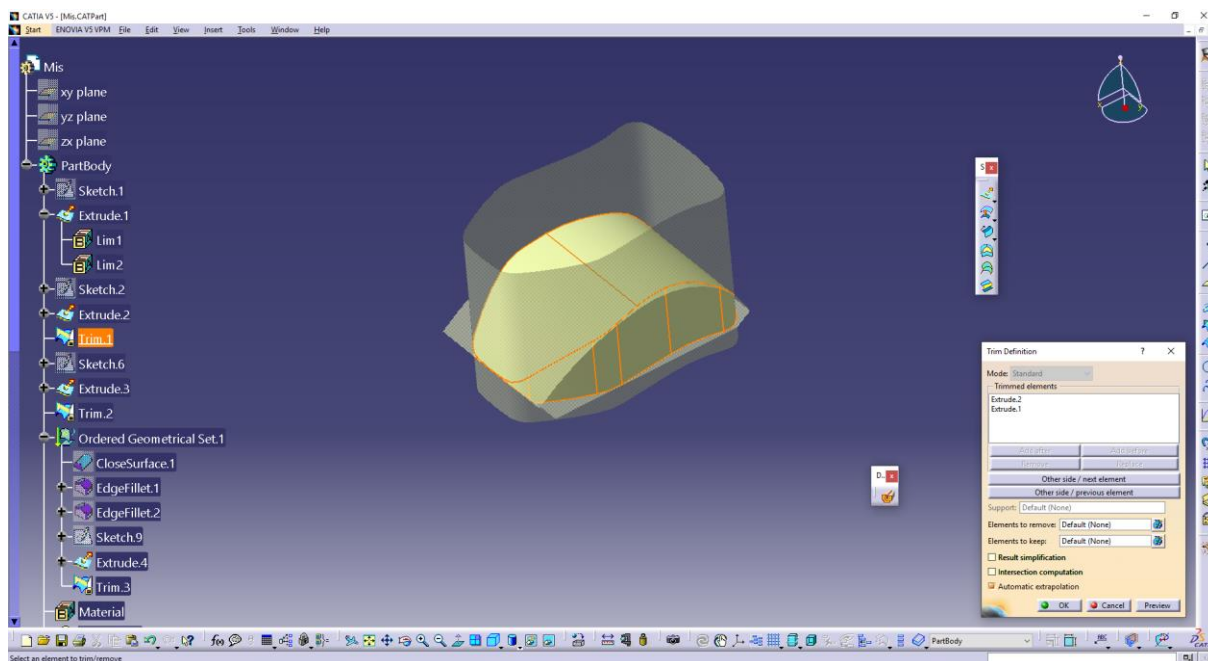
Слика 108. Sketch у XY равни

Командом Extrude добијају се две контуре које се секу а њихов пресек представља запремину миша. (слика 109)



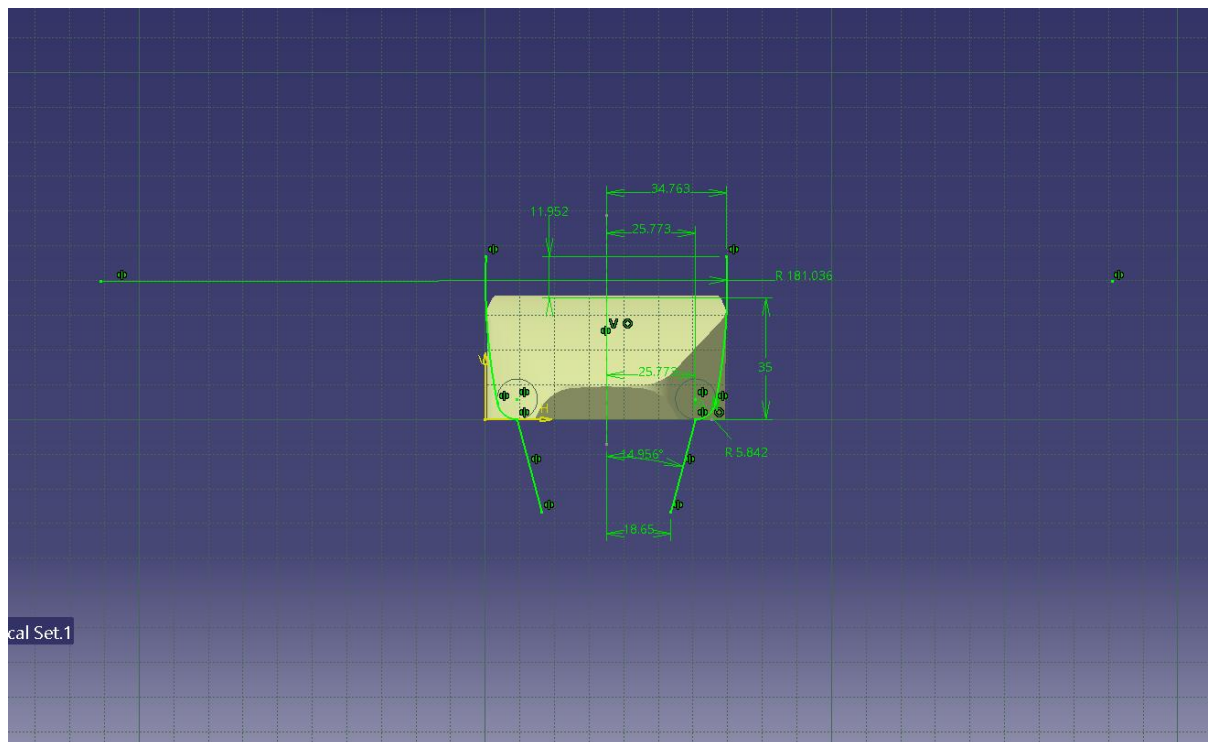
Слика 109. пресек две контуре које обликују модел

Избором команде Trim отклања се сав вишак материјала који се налази ван већ утврђене запремине миша и добија се затворен модел.(слика 110.)



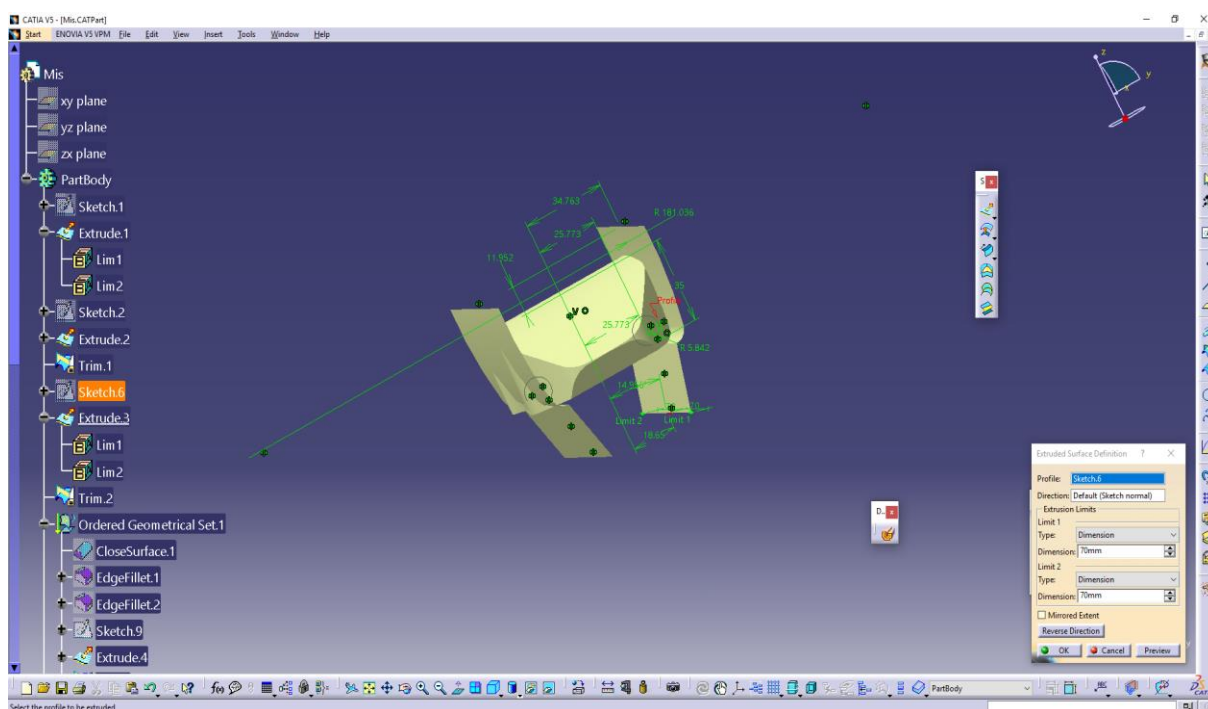
Слика 110. Алат Trim

Поновним уласком у Sketch окружење бира се раван YZ и цртају се линије које дефинишу контуру миша којом добијамо бољу ергономију миша. Овим Sketch-ом је дефинисана потпуна 3D контура модела рачунаског миша. (слика 111)



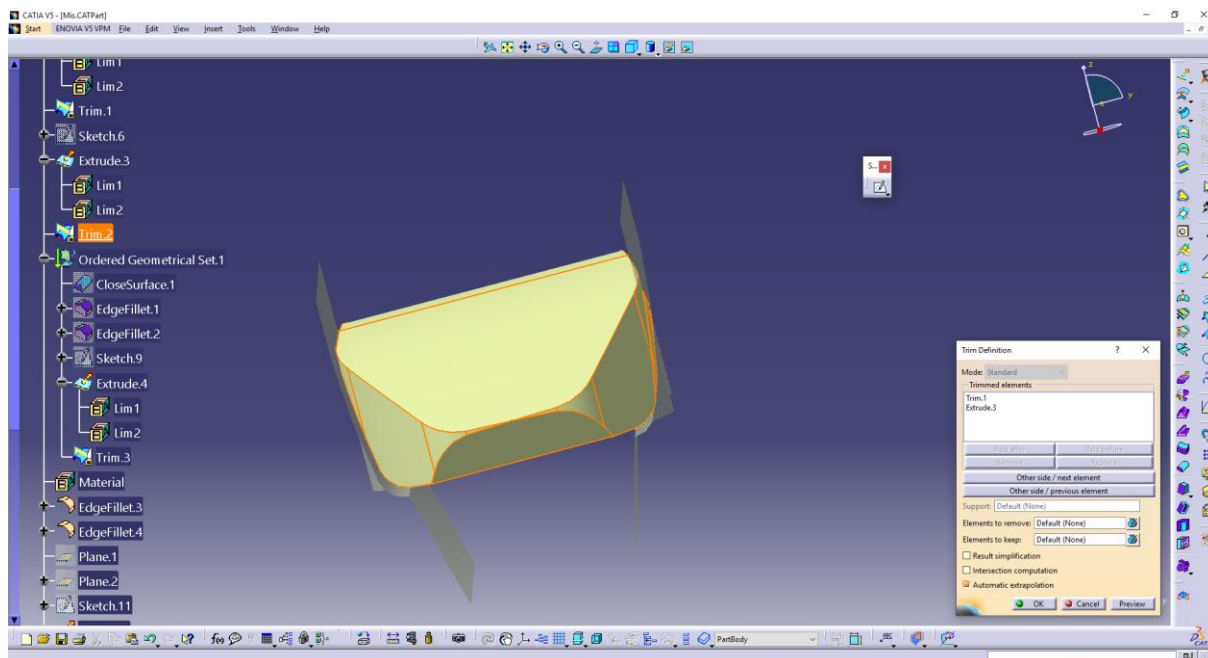
Слика 111. Sketch YZ

Поновним коришћењем алата Extrude која прати Sketch у равни YZ добија се коначна контура миша. (слика 112)



Слика 112. Extrude у YZ равни

Поновним коришћењем алата Trim отклања се вишак материјала. (слика 113)



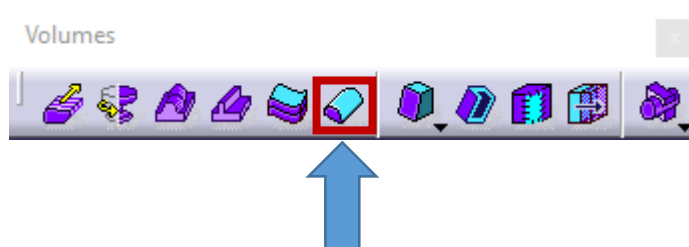
Слика 113. Отклањање вишка материјала алатом Trim

Пошто је добијен коначан 3D модел рачунарског миша, потребно је заоблити оштре ивице да би био ергономичан у току употребе и за то се користи палета алата Volumes. (слика 114)

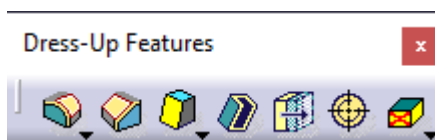


Слика 114. Палата алата Volumes

Из ове палете алата се користи алат Close Surface (Слика 115) одређују се границе контуре и одређује се запремина фигуре, после додавања материјала, прелази се у област Part Design и сада то окржење препознаје фигуру као попуњену коначну запремину. То омогућује да командама из ове области даље формира модел нпр. помоћу палете алата Dress Up (слика 116).

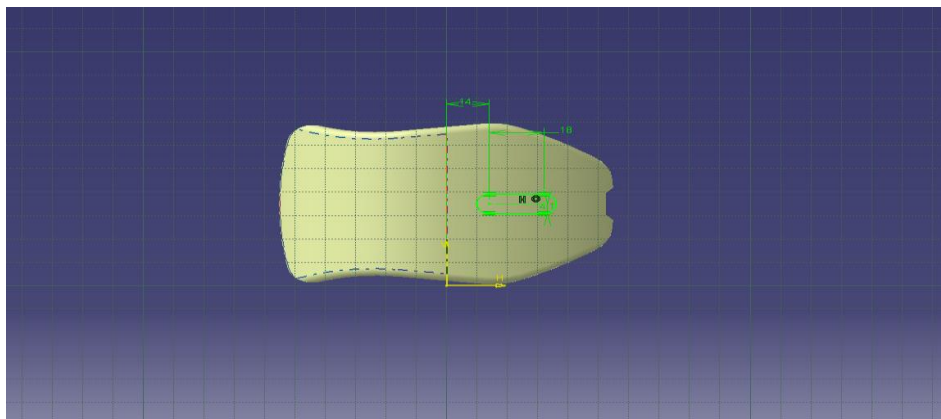


Слика 115. Алат Close Surface



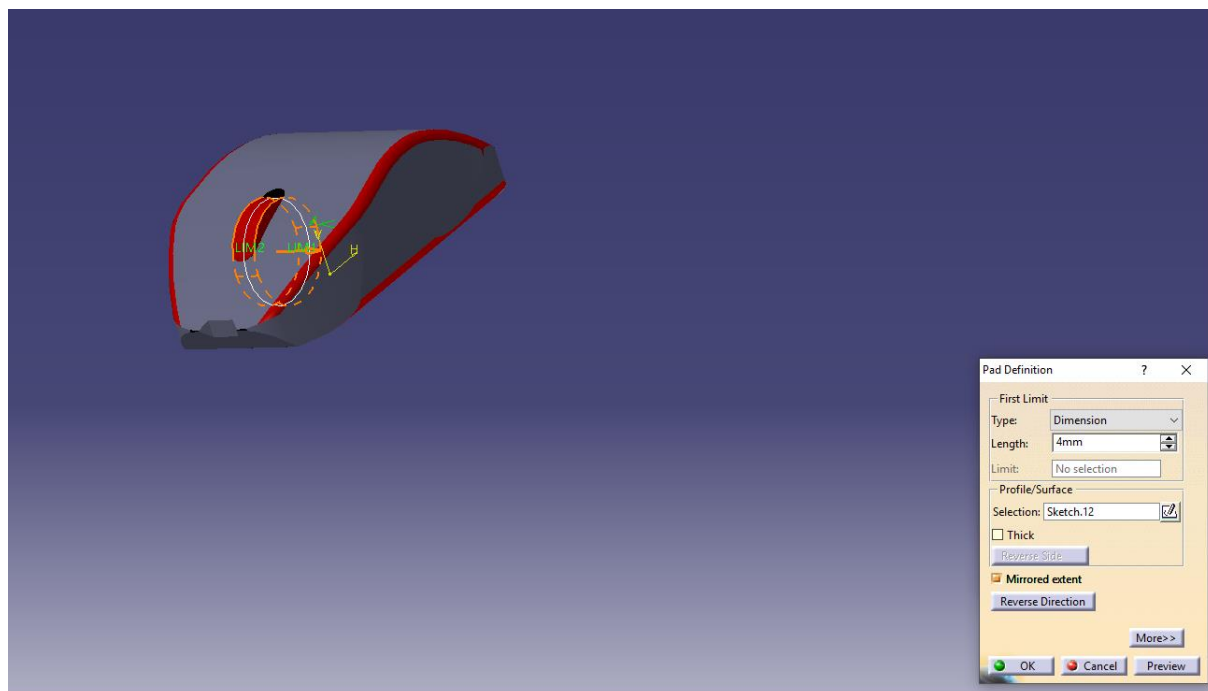
Слика 116. Dress Up алат

У наставку рада на моделу прелази се у Sketch окружење и у XY равни се црта лежиште за точкић за Scroll дугме, а потом унутар лежишта се скицира кружић. (слика 117)



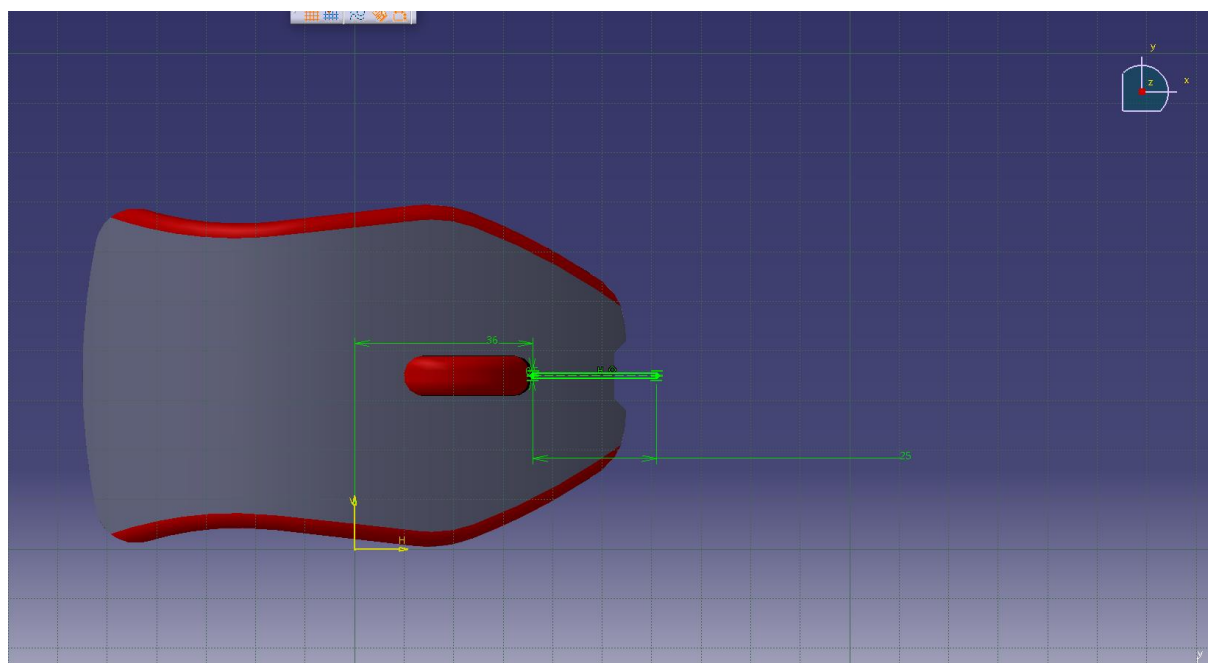
Слика 117. Позиционирање лежишта

Унутар лежишта се исцртава круг који предстаља основу Scroll дугмета у XZ равни и онда помоћу функција Pad и Mirror Extend добија се коначни облик Scroll дугмета. (слика 118)



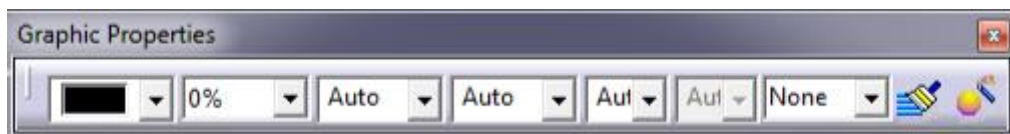
Слика 118. *Израда Scroll дугмета*

На крају је само преостало да се формира размак између дугмета левог и десног клика у XY равни што је приказано на (слици 119) и одрађено помоћу функције Pad.



Слика 119. *Моделирање размака између дугмета левог и десног клика*

На крају, боја рачунарског миша бира се из палете боја која се налази у палети алата Graphic Properties (слика 120)

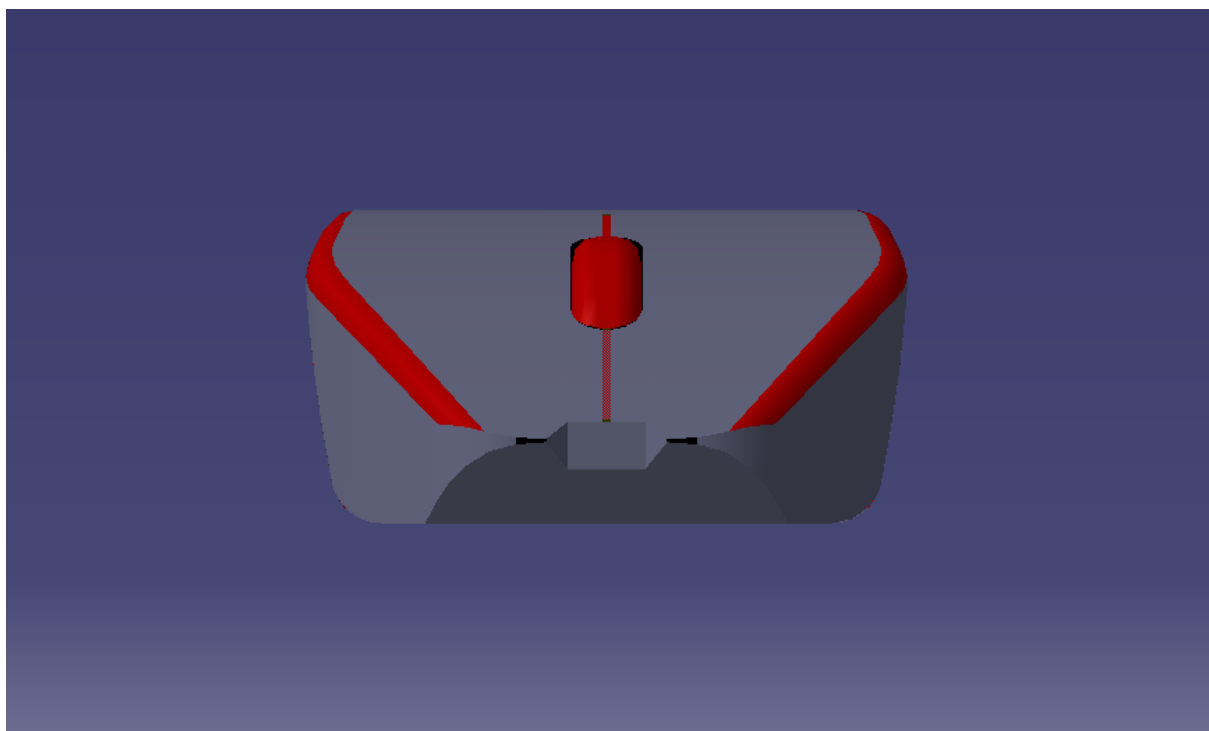


Слика 120. Палета алата *Graphic Properties*

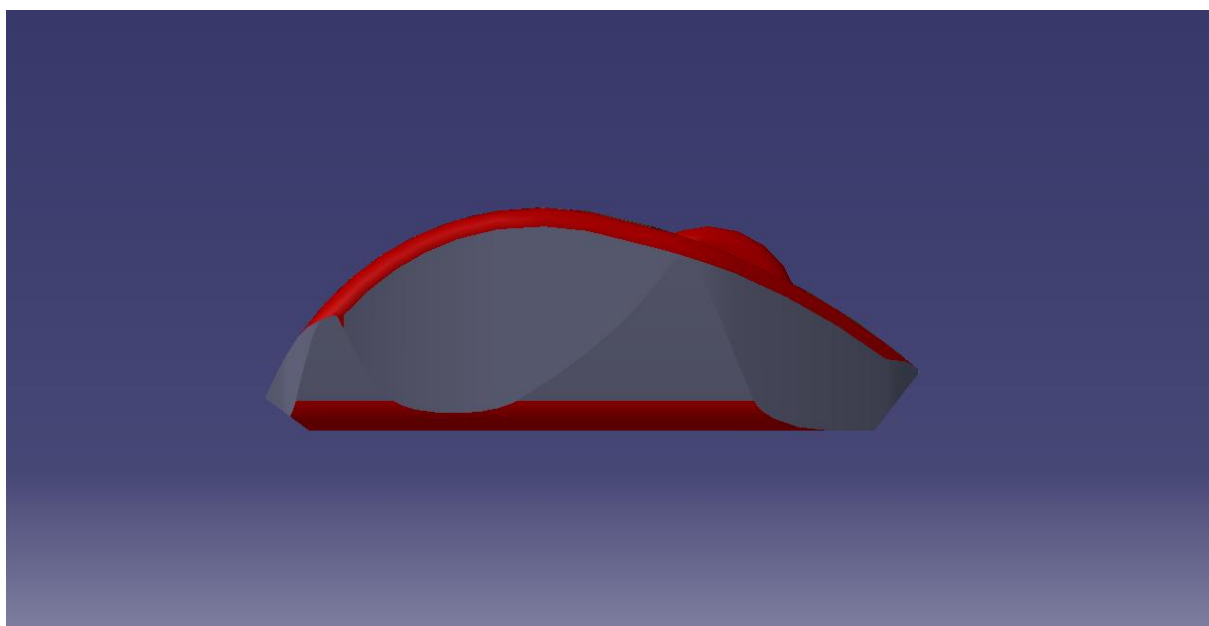
Коначан изглед рачунарског миша представљен је на следећим сликама.



Слика 121. Поглед у изометрији



Слика 122. *Поглед од напред*

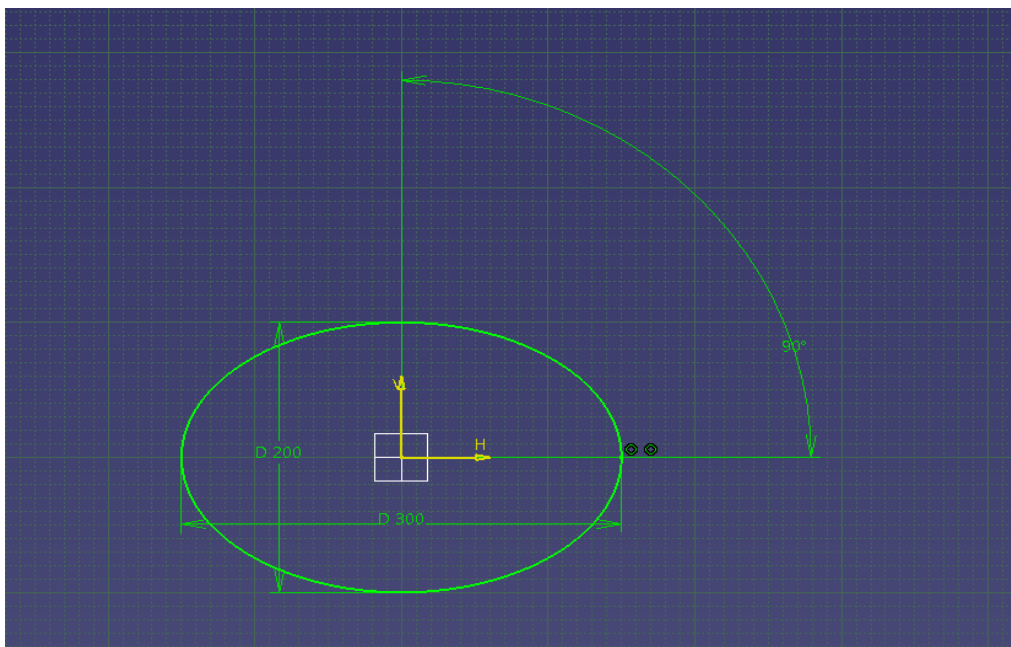


Слика 123. *Поглед са стране*

7.2 Рам рекета

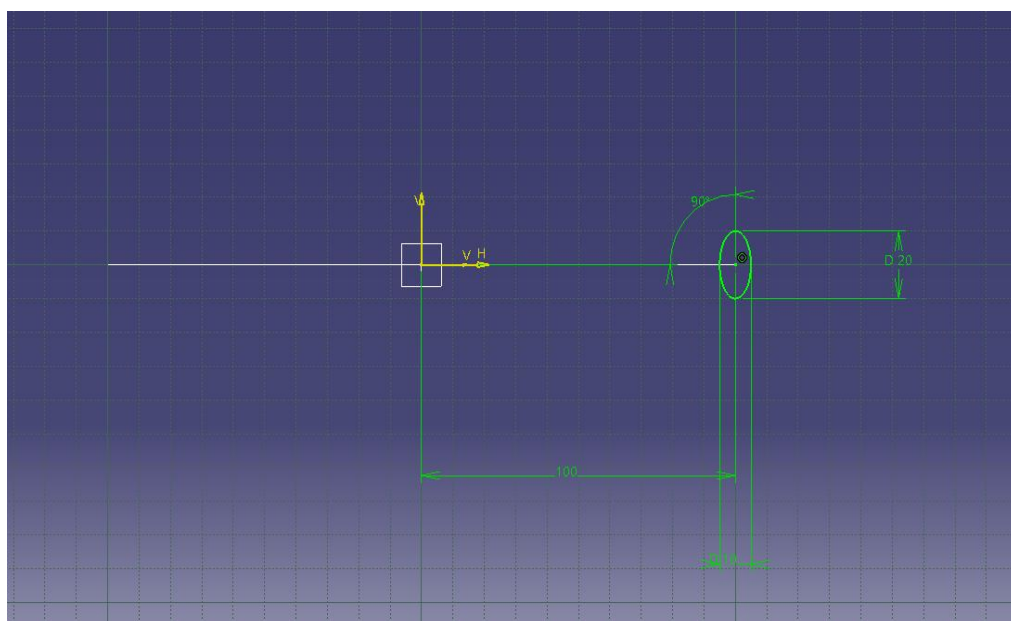
Други модел који је обрађен је рам тениског рекета, он је урађен такође у окружењу Generative Shape Design са неком другом палетом алата.

Уласком у окружење Sketch у раван XY где се црта крива рама дела рекета који служи да ударање. (Слика 124.)



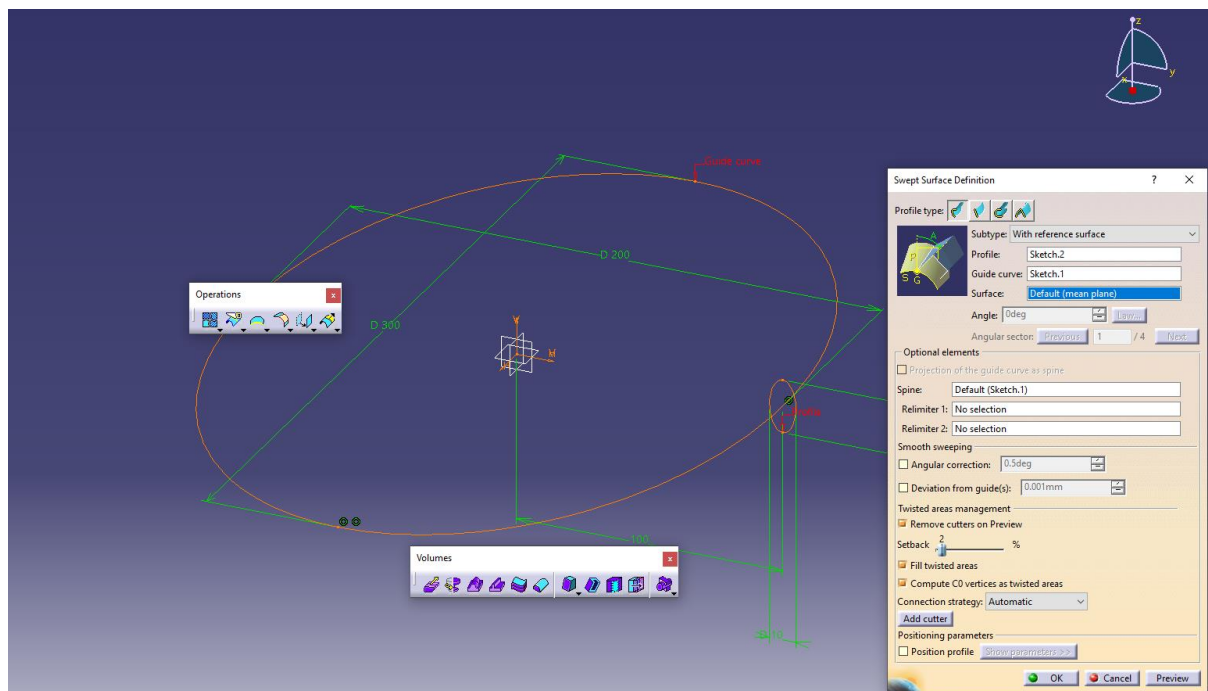
Слика 124. Почетни Sketch

Следеће што се ради је поновно улажење у окружење Sketcher у YZ раван и цртање другог прстена помоћу ког ћемо добити контуру дела за ударање на рекету.



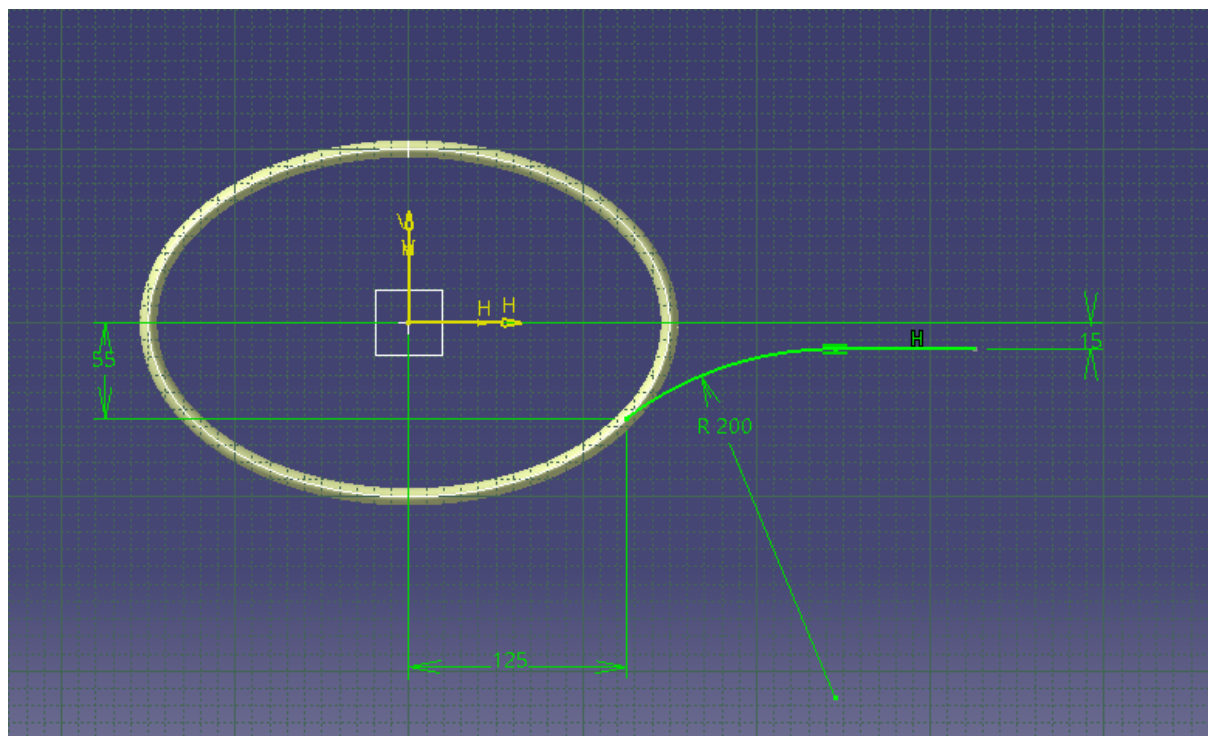
Слика 125. Sketch оквира рама

Наредни корак је коришћење алата Swept Surface Definition. Ову радњу се извршава на следећи начин, у поље Profile додаје се Sketch прстена, а у друго поље назива Guide curve додаје се Sketch криве линије. (Слика 126).



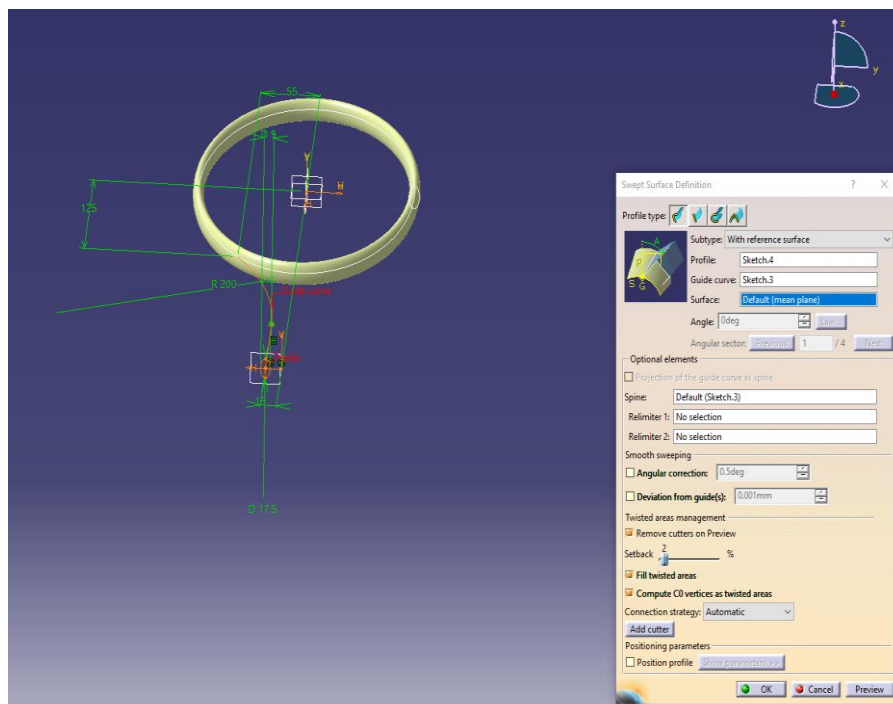
Слика 126. Swept Surface Definition

Наредни корак који се вршима је поновно улажење у окружење Sketch у XY раван и цртање криве која представља основу дршке рекета. (Слика 127.)



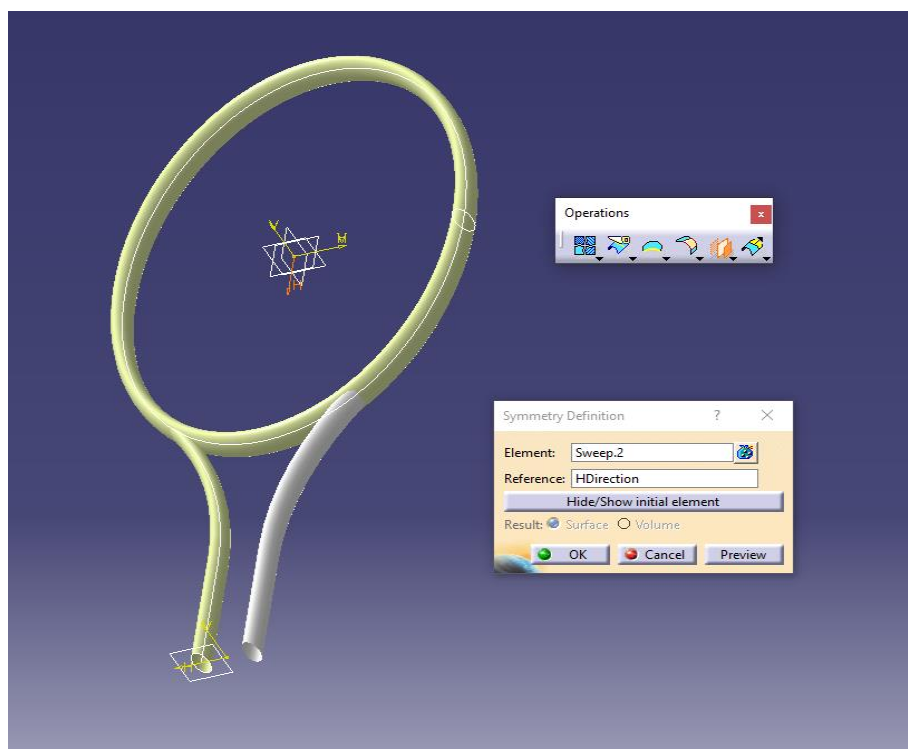
Слика 127. Почетна скица дршке рекета

Поновним цртањем прстена на крају криве као у претходном случају и коришћењем алата Swept Surface Definition добијамо први сегмент дршке рекета. (Слика 128.)



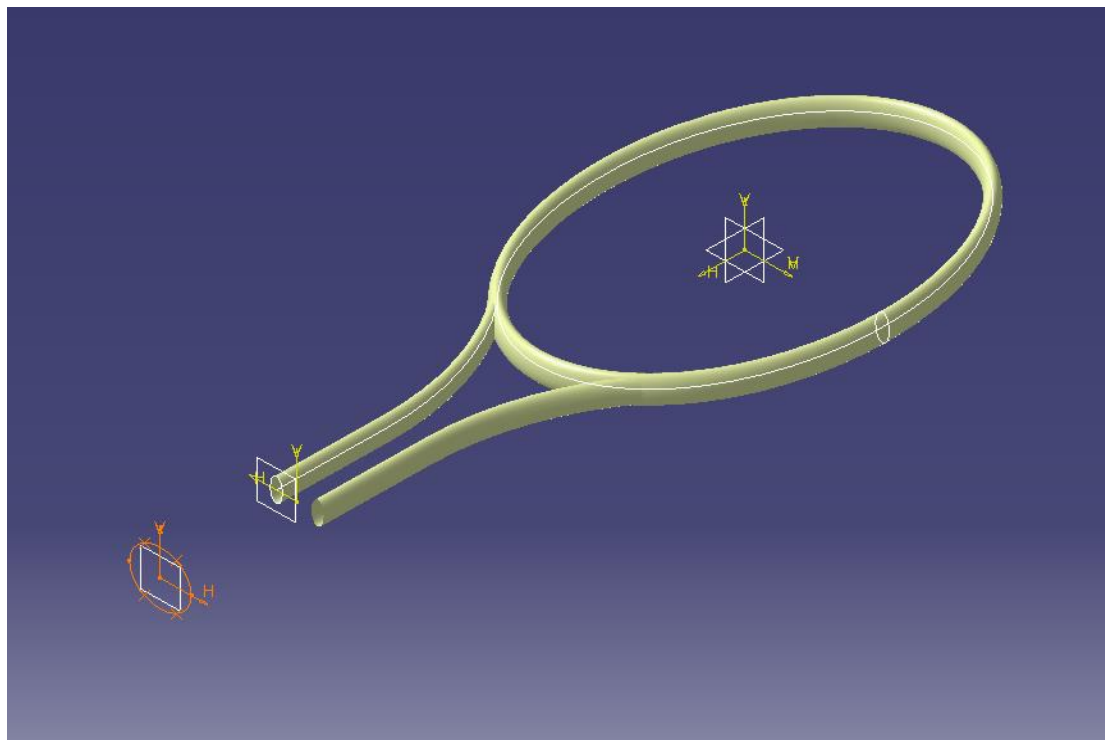
Слика 128. Swept Surface Definition

Коришћењем алата Symmetry Definition копира се први сегмент дршке рекета на исту раздаљину у односу на Y раван. (Слика 129.)



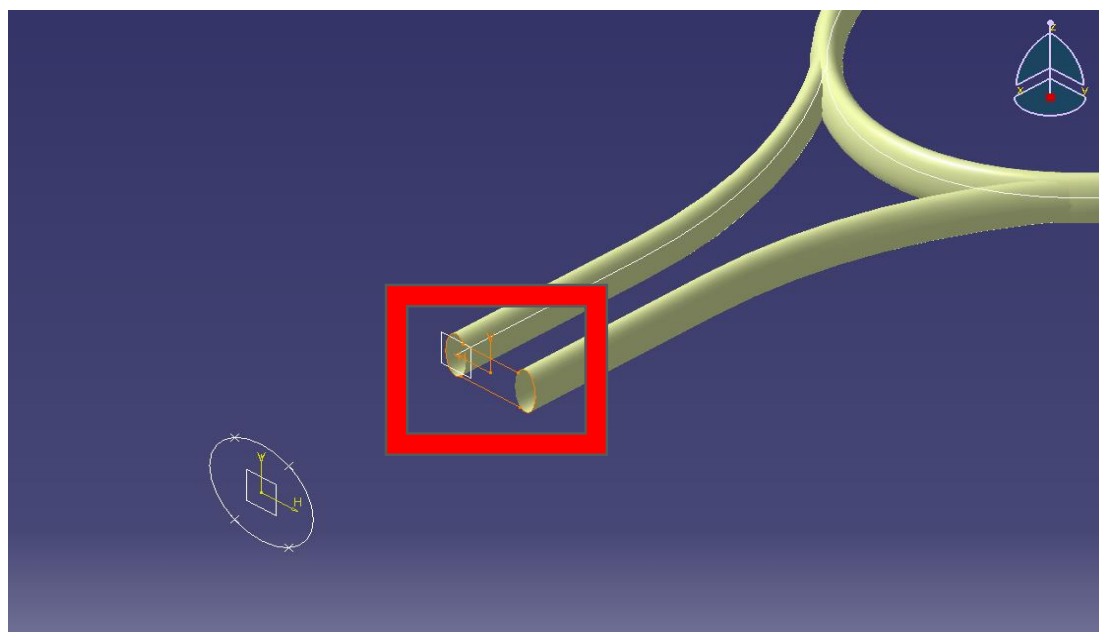
Слика 129. Symmetry Definition

Следећи корак је цртање равни на раздаљини од 425 mm у односу на координатни почетак у правцу Y нормале и цртање круга са четири тачке у тој равни који ће бити потребан за наставак израде дршке рекета. (Слика 130.)



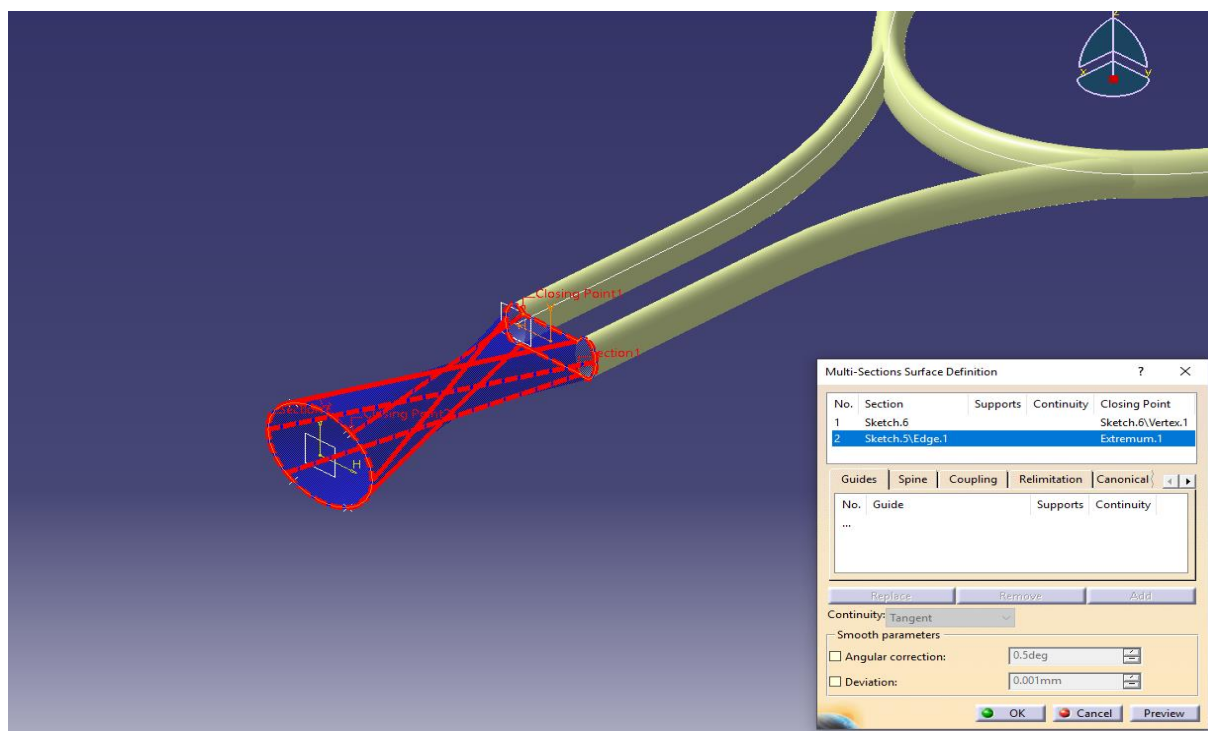
Слика 130. Додавање равни

Ствар која је следећа потребна је да се нацрта контура са друге стране миша да би могао да се уради други сегмент дршке рекета. Правилно праћење контуре постиже се уз помоћ алата Project 3D Elements. (Слика 131.)



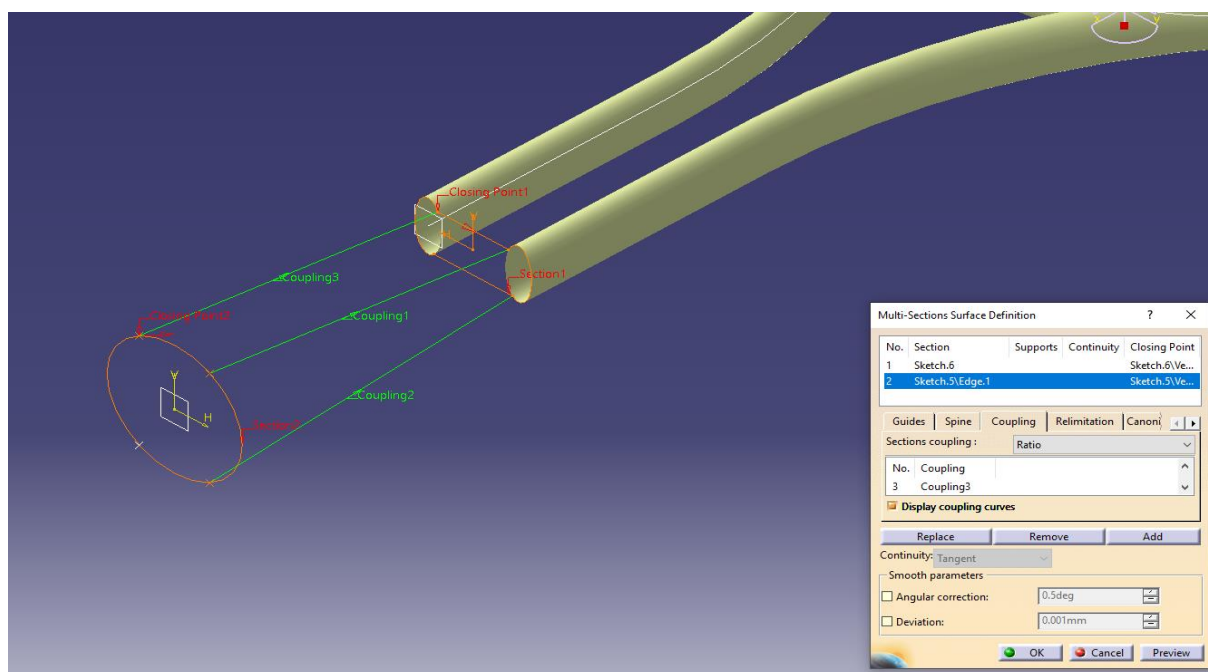
Слика 131. Project 3D Elements

Корак који следи је коришћење алата Multi-Sections Surface Definition. Овај алат служи да помоћу само неких одговарајућих тачака формира површину. На првој слици су приказане неправилно спојене тачке и самим тим програм то региструје као грешку. (Слика 132.)



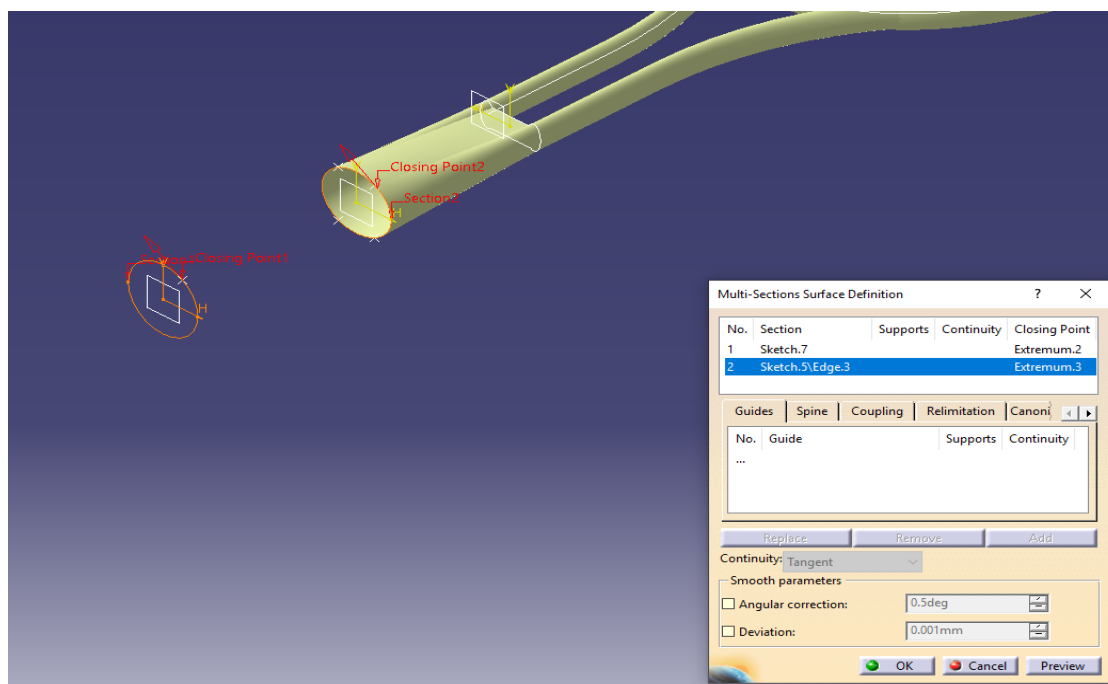
Слика 132. Грешка у коришћењу алата *Multi-Sections Surface Definition*

Оно што је потребно је да се споје 3 тачке на оба краја сегмента које су најближе једна другој и да се изабере правац деловања алата, након тога тек је могуће добити следећи сегмент дршке рекета. (Слика 133.)



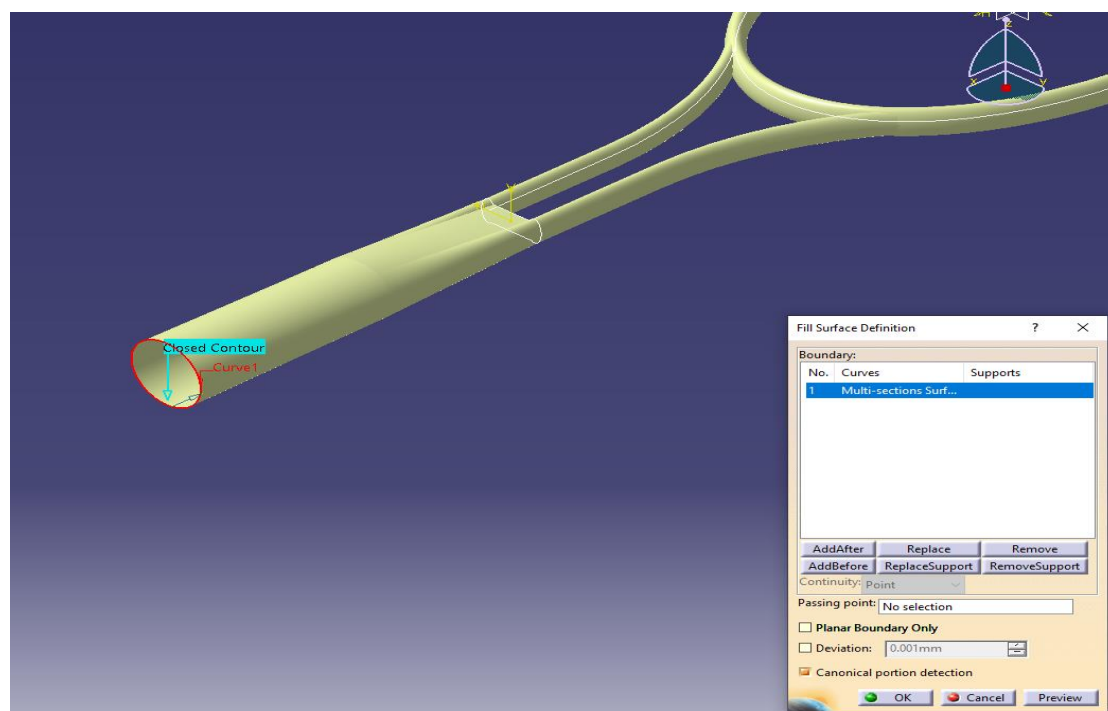
Слика 133. Правилно коришћење алата *Multi-Sections Surface Definition*

Корак који следи је цртање равни на раздаљини од 550 mm од центра координатног сисема у правцу Y осе. У тој равни се црта круг који представља крајњу тачку на дршци рекета и онда уз поновно коришћење алата Multi-Sections Surface Definition добија се дршка рекета у њеној пуној величини. (Слика 134.)



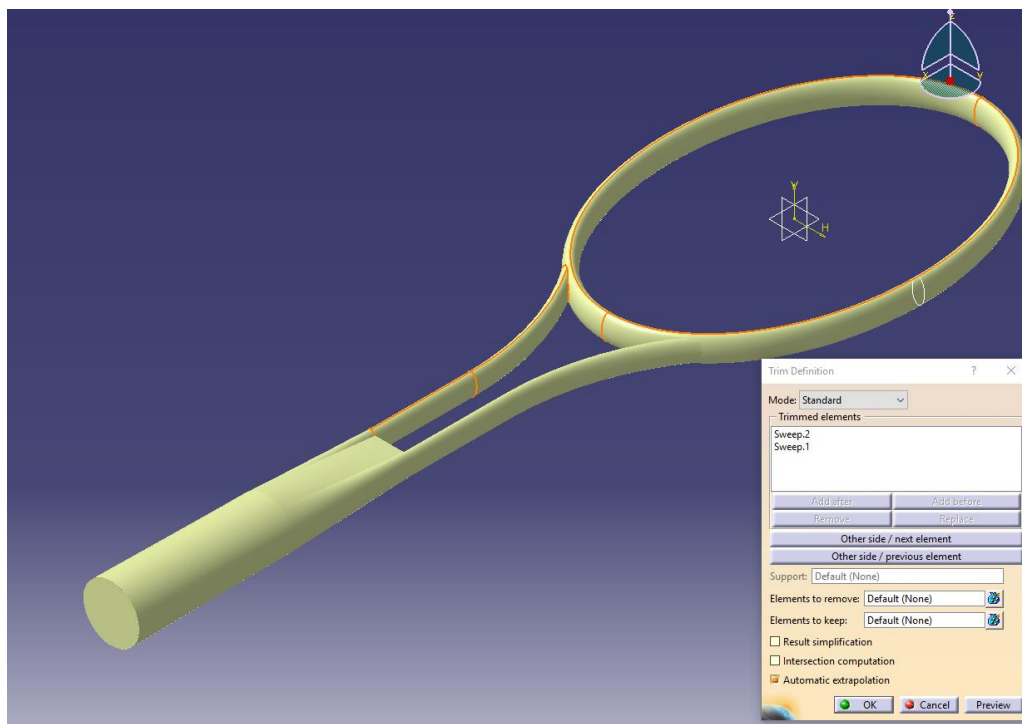
Слика 134. *Multi-Sections Surface Definition*

Следећи корак је затварање правилног кружног доњег дела рекета уз помоћ алата Fill Surface Definition, све што је потребно је да се означи контурна линија круга. (Слика 135)



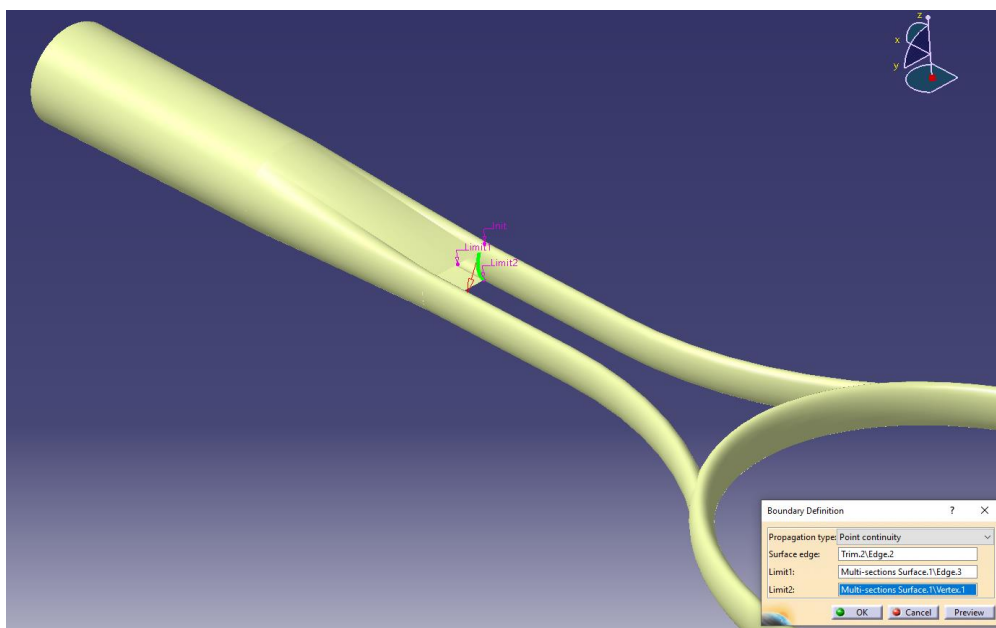
Слика 135. *Fill Surface Definition*

Следећи корак који се ради је скривање видљивих ивица и стварање визуелне слике једноделног дела ,а то се постиже уз помоћ алата Trim. (Слика 136.)



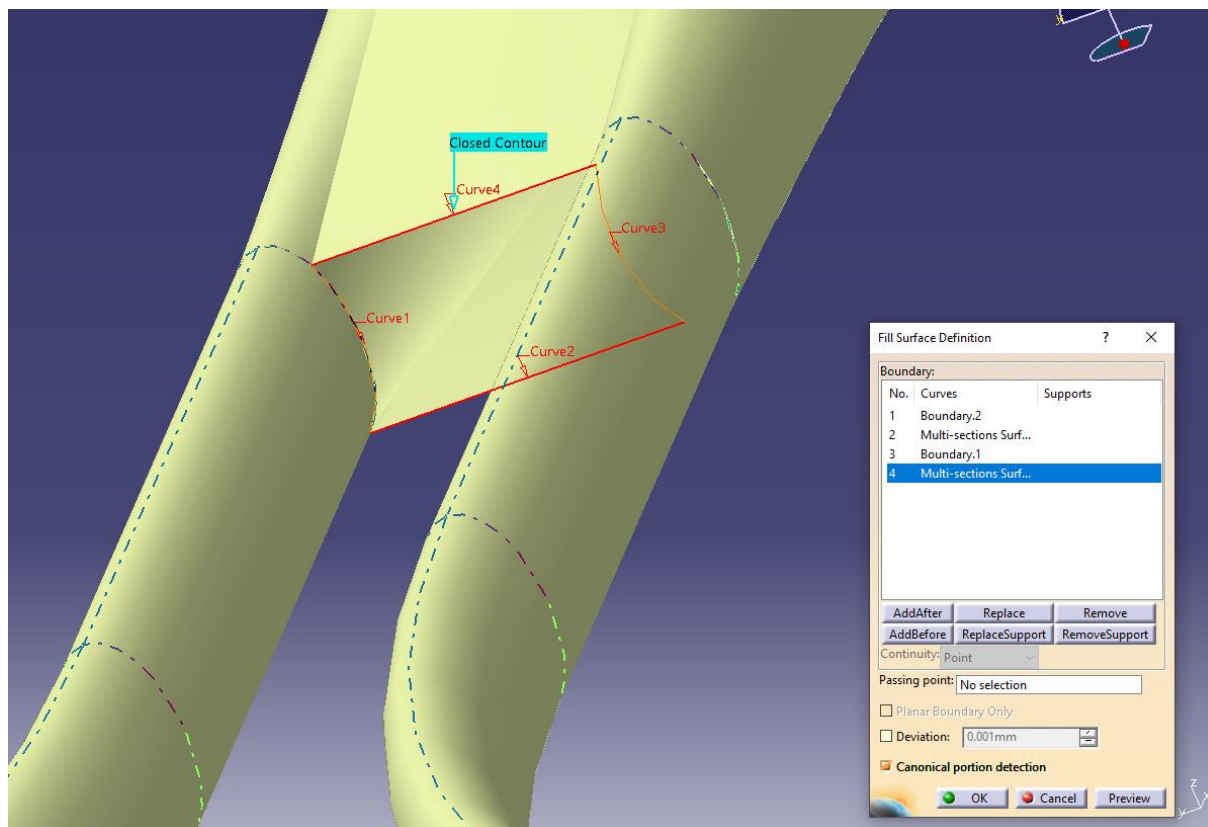
Слика 136. *Trim*

Наредни корак који треба да се уради је попуњавање горњег дела дршке рекета који је неправилног облика и у том случају се користи алат који се зове Boundary Definition. Овај алат служи да испрати све криве линије које су потребне за затварање контуре. (Слика 137.)



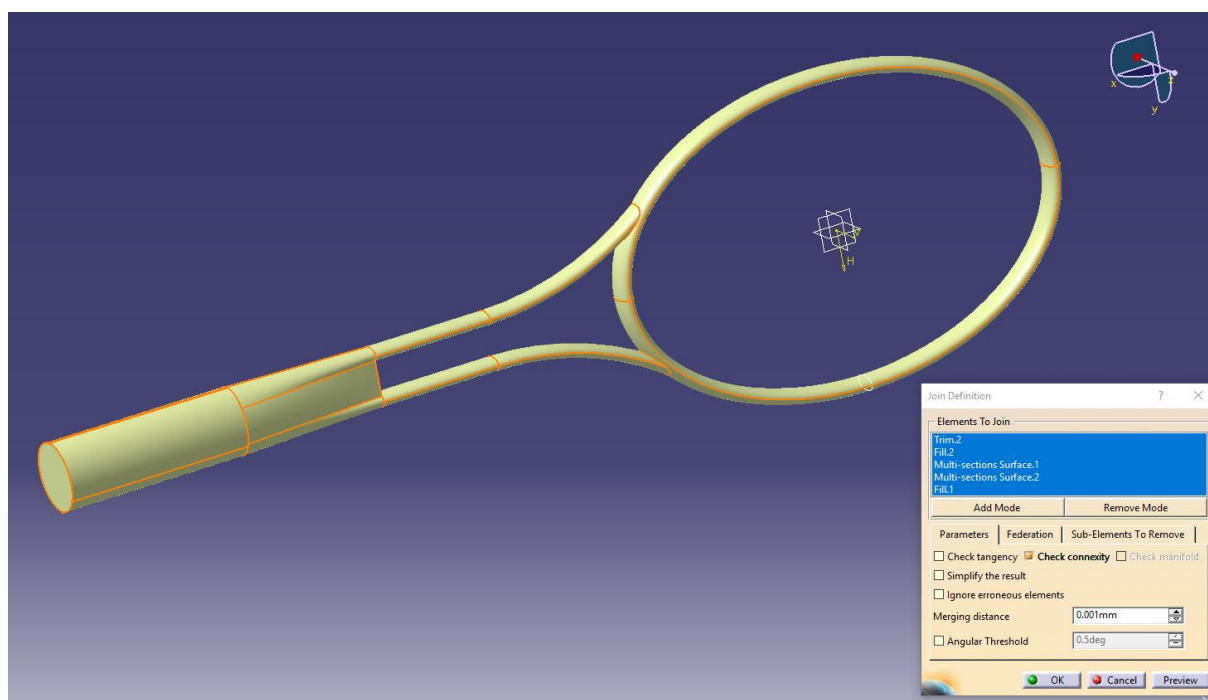
Слика 137. *Boundary Definition*

Све што је преостало је попуњавање неправилног отвора на врху дршке од рекета помоћу функције Full Surface Definition. (Слика 138.)



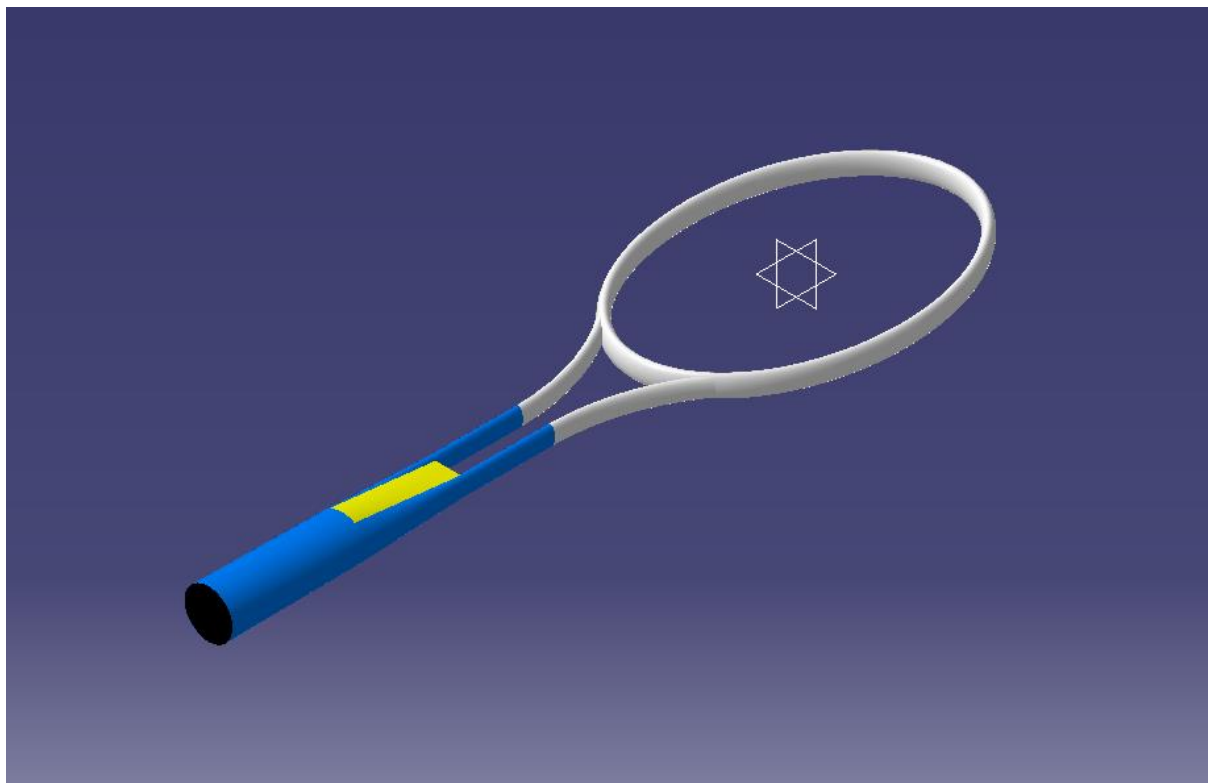
Слика 138. Full Surface Definition

Последњи корак је уклањање свих преосталих ивица између сегмената дела и добијање једноделног дела ,а то се постиже уз помоћ команде Join. (Слика 139.)

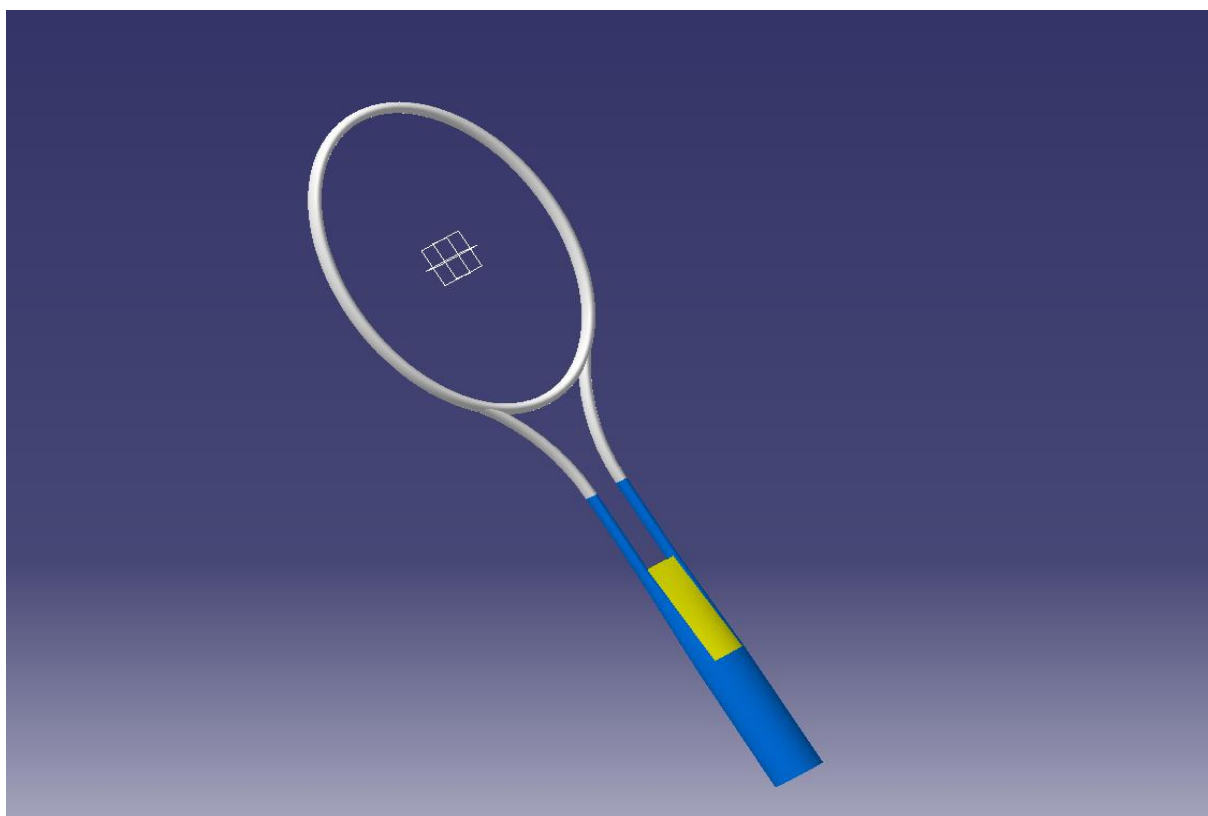


Слика 139. Join

Коначан изглед рама рекета уз коришћење палате алата Graphic Properties. (Слика 140.)



Слика 140. *Коначан изглед миша у изометрији*



Слика 141. *Изглед рама рекета*

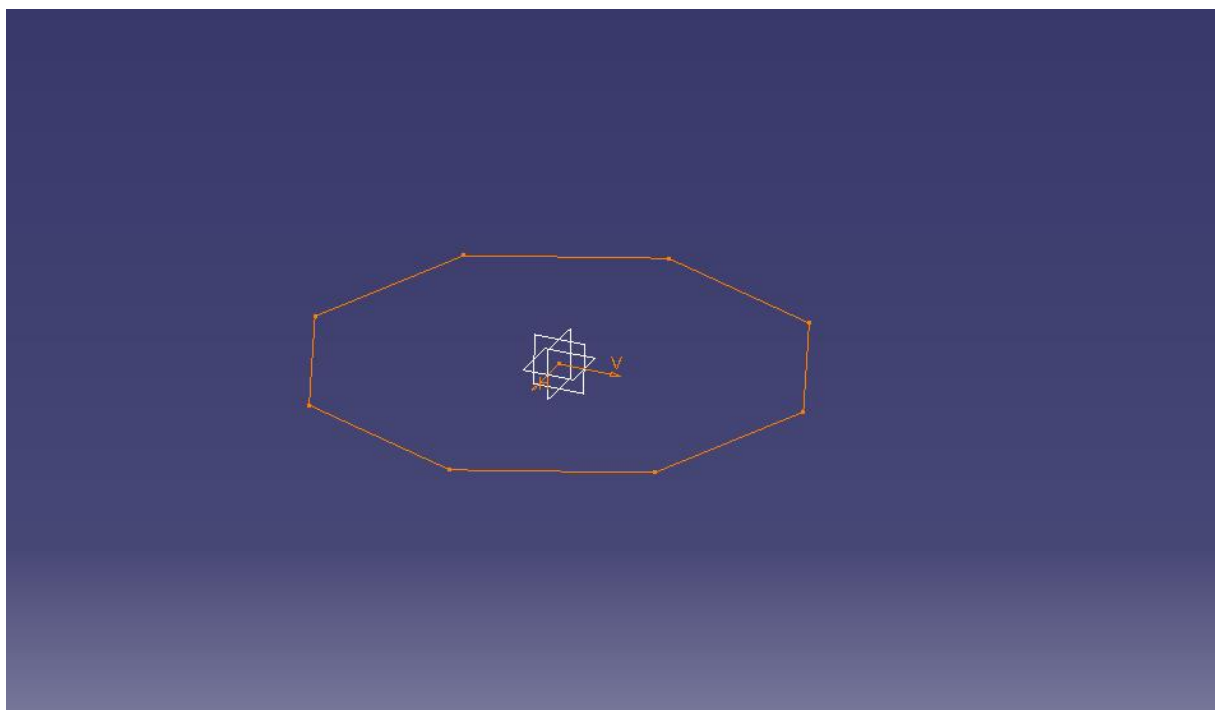
7.3 Машински део

Овај део се ради у окружењу Generative Shape Design. Улази се у окружење Sketch у раван XY.



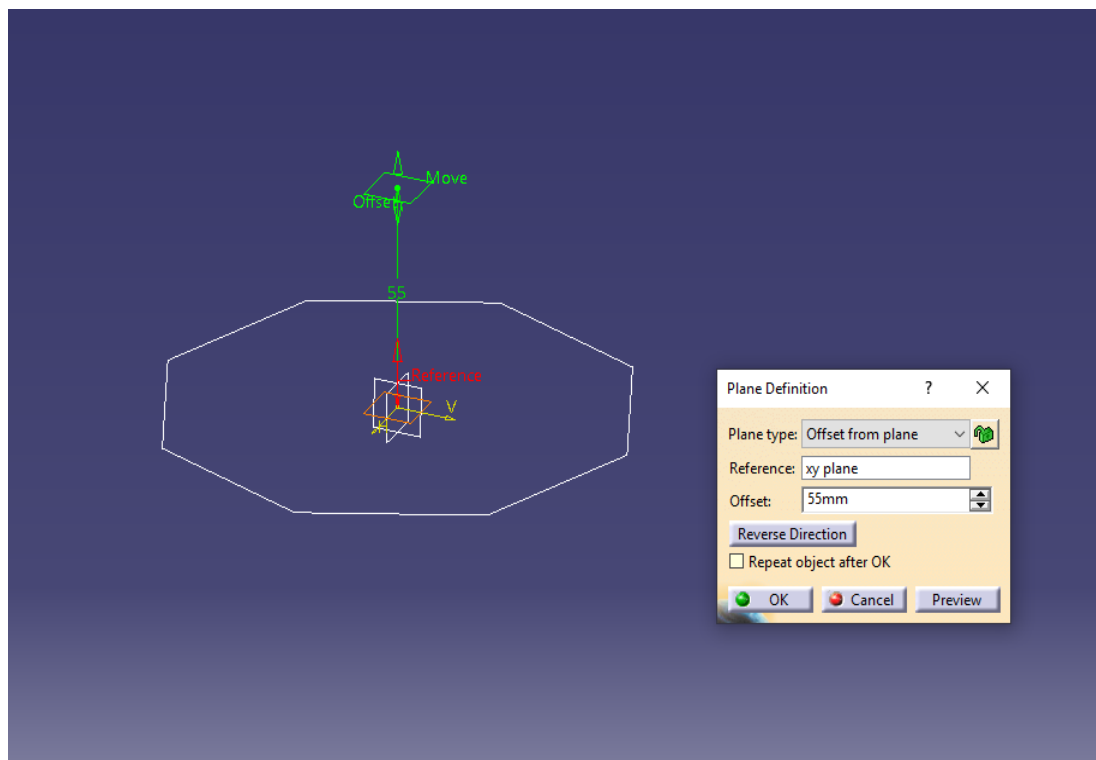
Слика 142. Почетни екран

Следећи корак је цртање доњег дела профила.



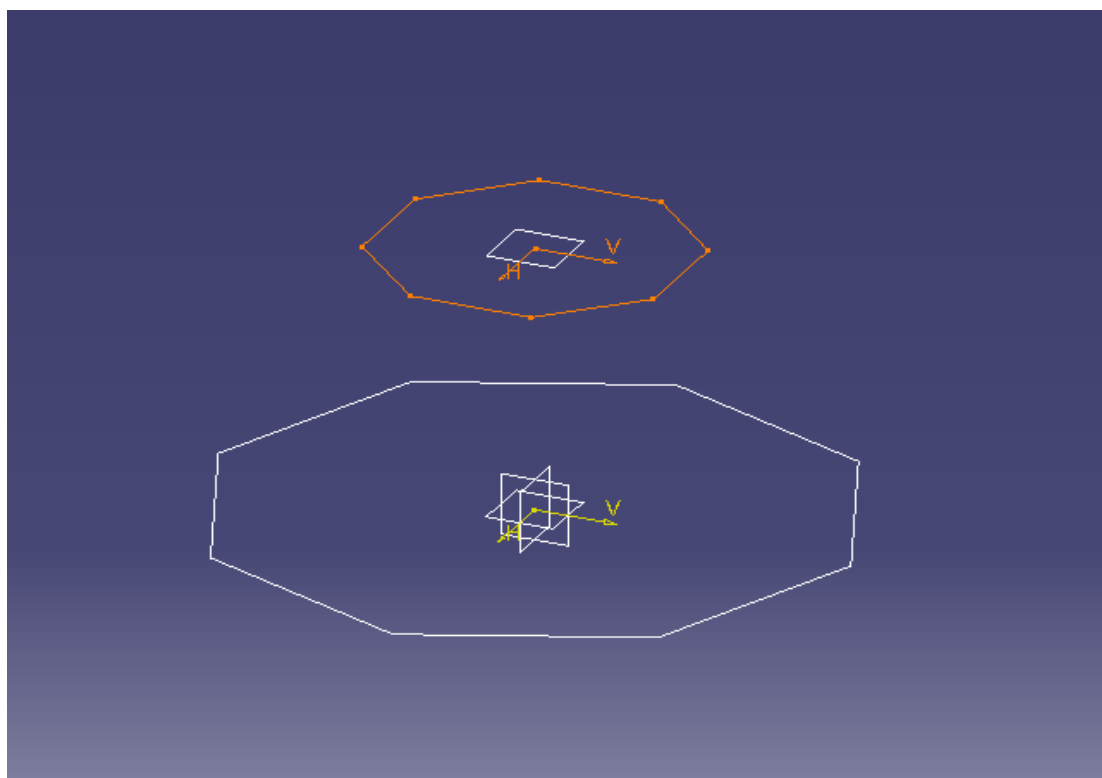
Слика 143. Цртање почетног профила

Наредни корак је прављење равни на раздаљини од 55 mm



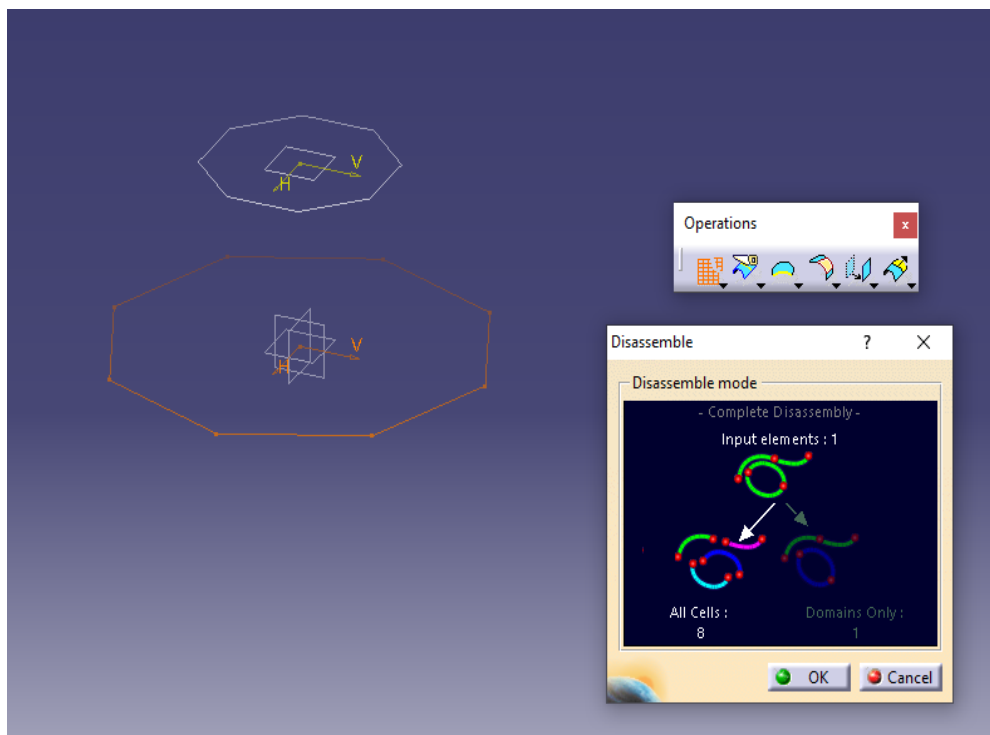
Слика 144. Цртање равни

У новој равни цртамо горњи осмоугаони профил.



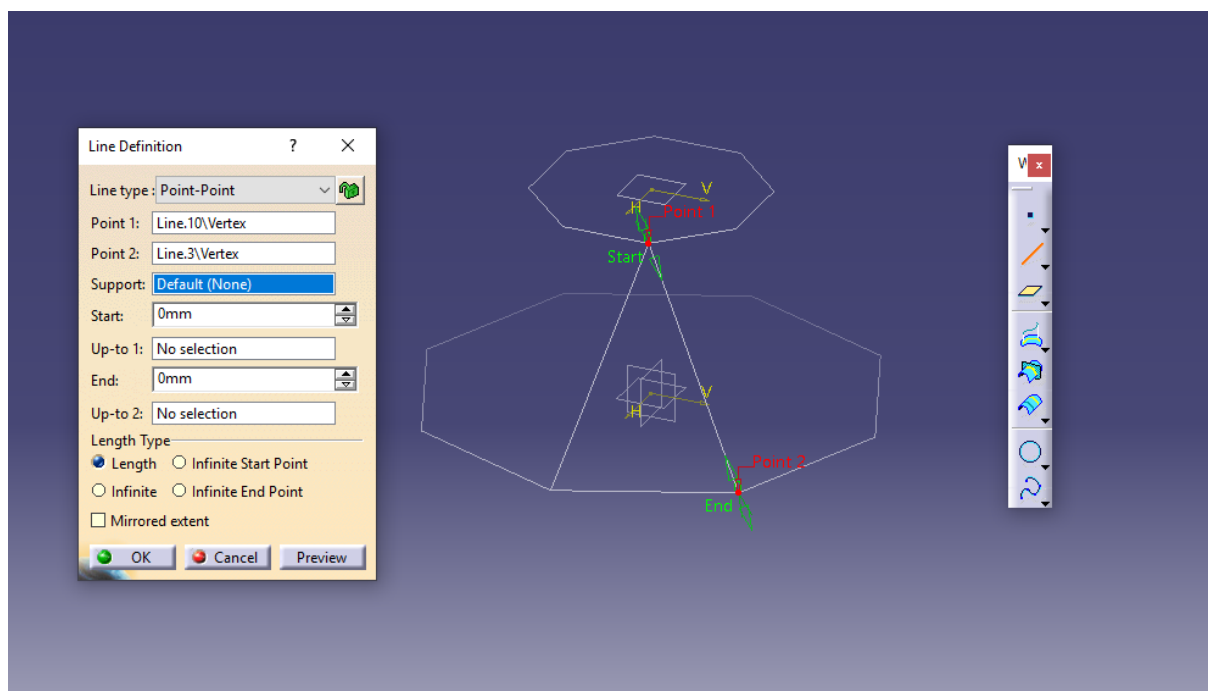
Слика 145. Цртање другог осмоугла

Затим помоћу алата Disassemble се означавају тачке које представљају темена профила, а онда помоћу тих тачака лакше се спајају бочни профили. Ова радња се понавља за оба профила.



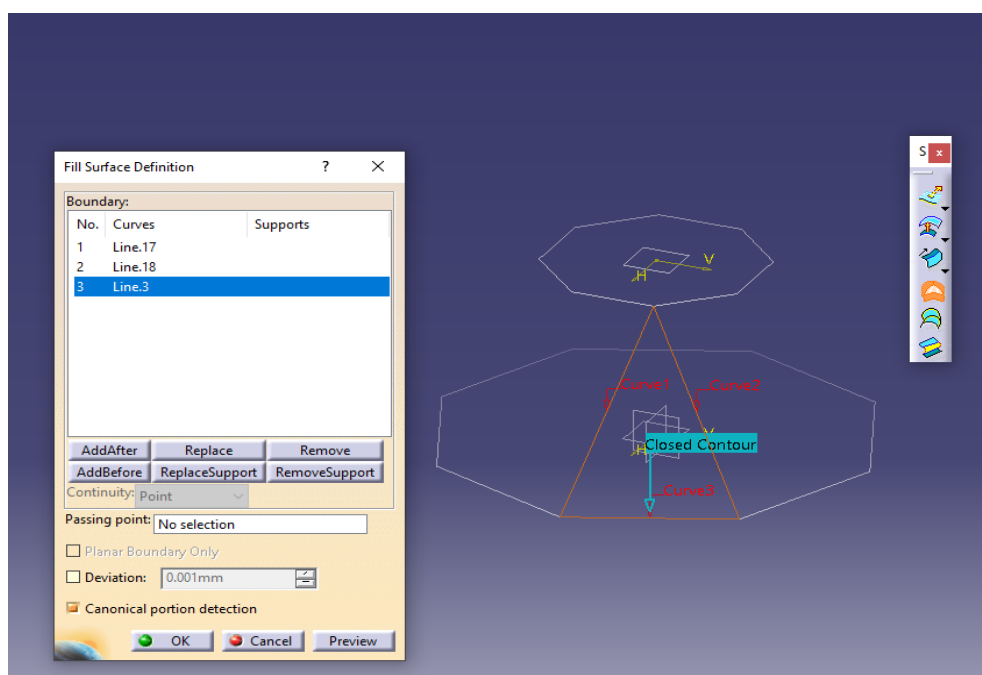
Слика 146. Disassemble

Наредни корак који се ради је спајање тачака помоћу команде Line Definition и прављење бочног троугаоног профила.



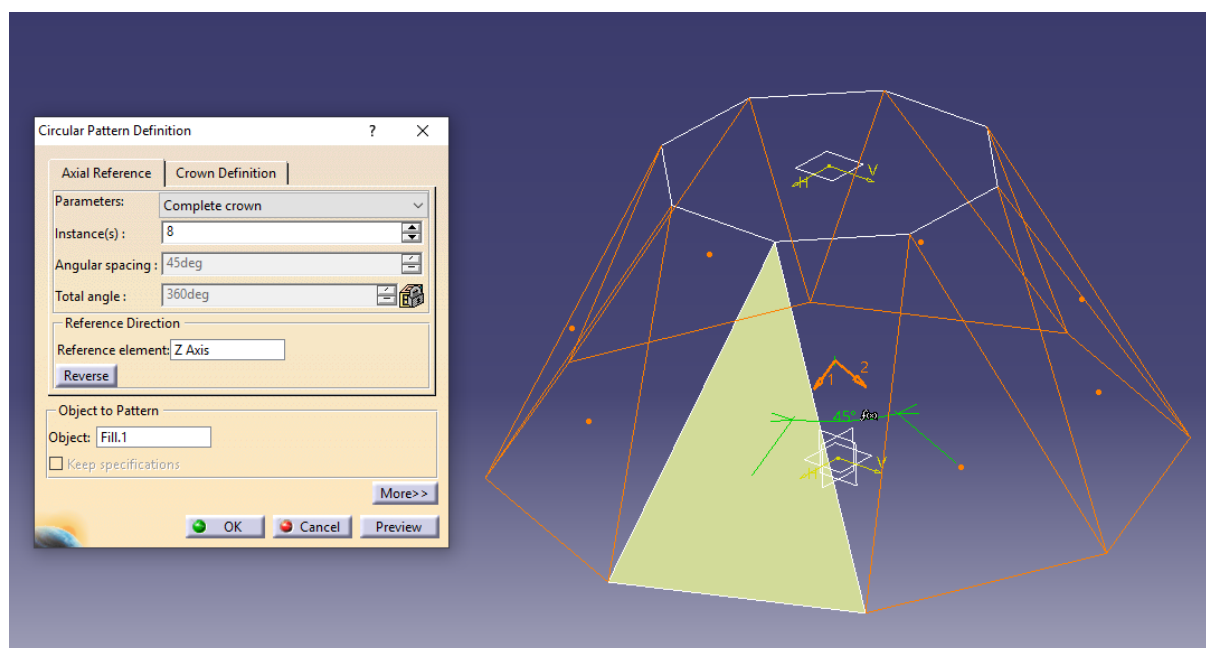
Слика 147. Line Definiton

Следеће што се ради је попуњавање профила помоћу алата Fill.



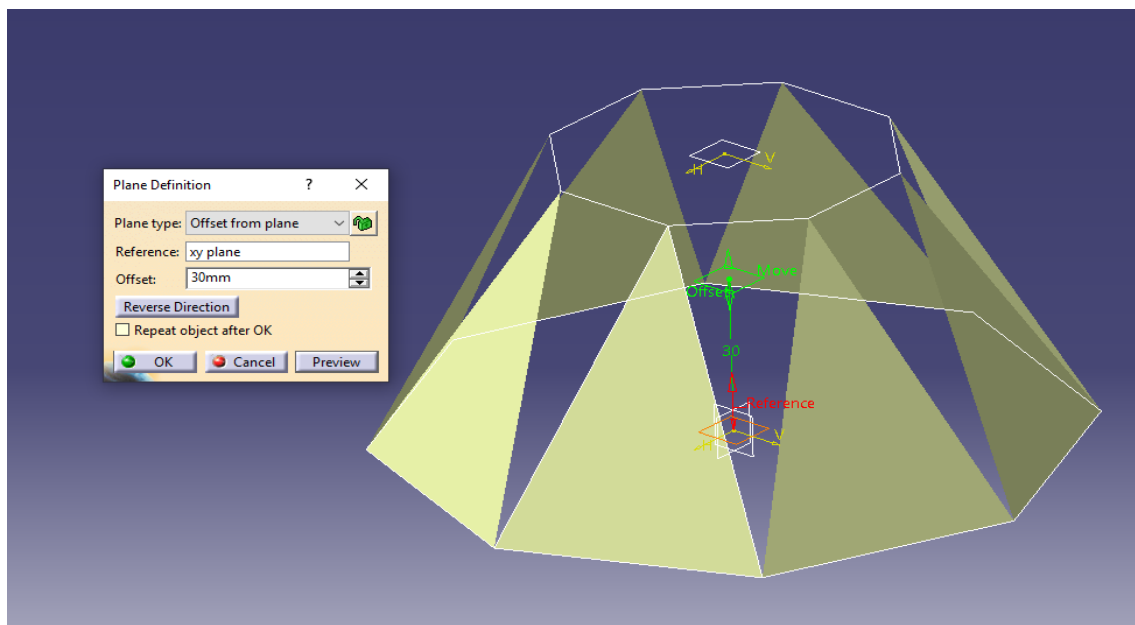
Слика 148. Fill

Овако добијени профил онда помоћу опције Circular Pattern Definition се умножава на 8 профила распоређених на референтну Z осу ,а растојање између средишта ових профила је на раздаљини од 45 степени.



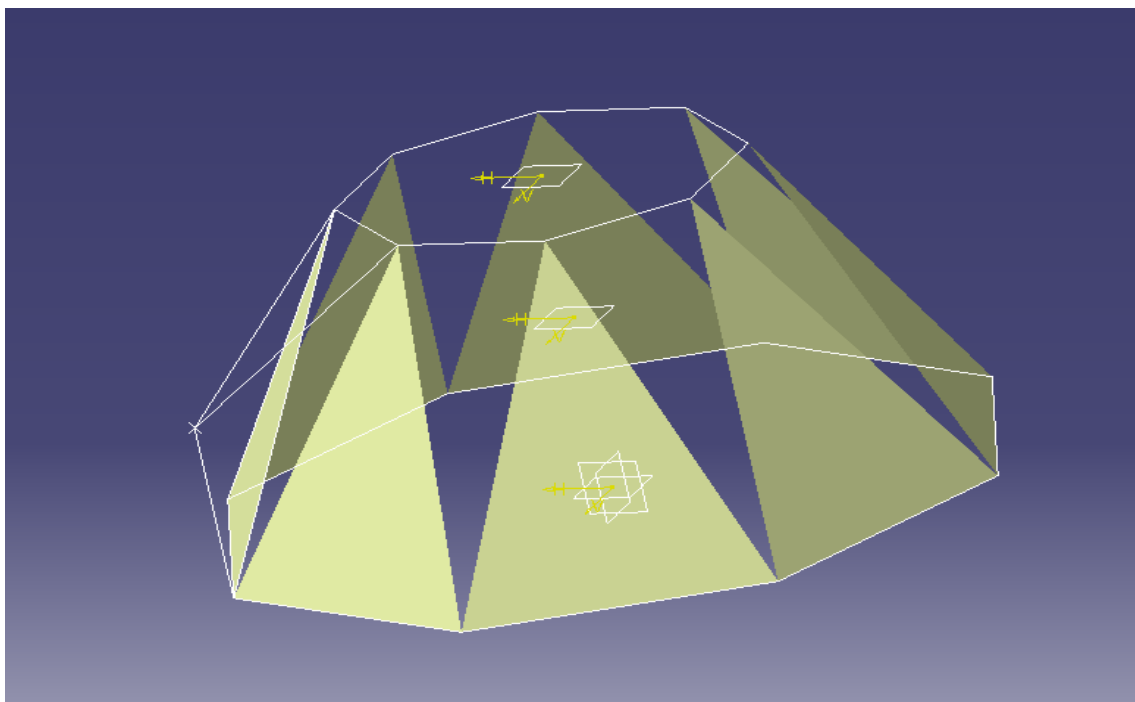
Слика 149. Circular Pattern Definition

Наредни корак је прављење нове референтне равни на растојању од 35mm од XY равни да би било могуће одредити тачку помоћу које се црта следећи сегмент бочног дела профила.



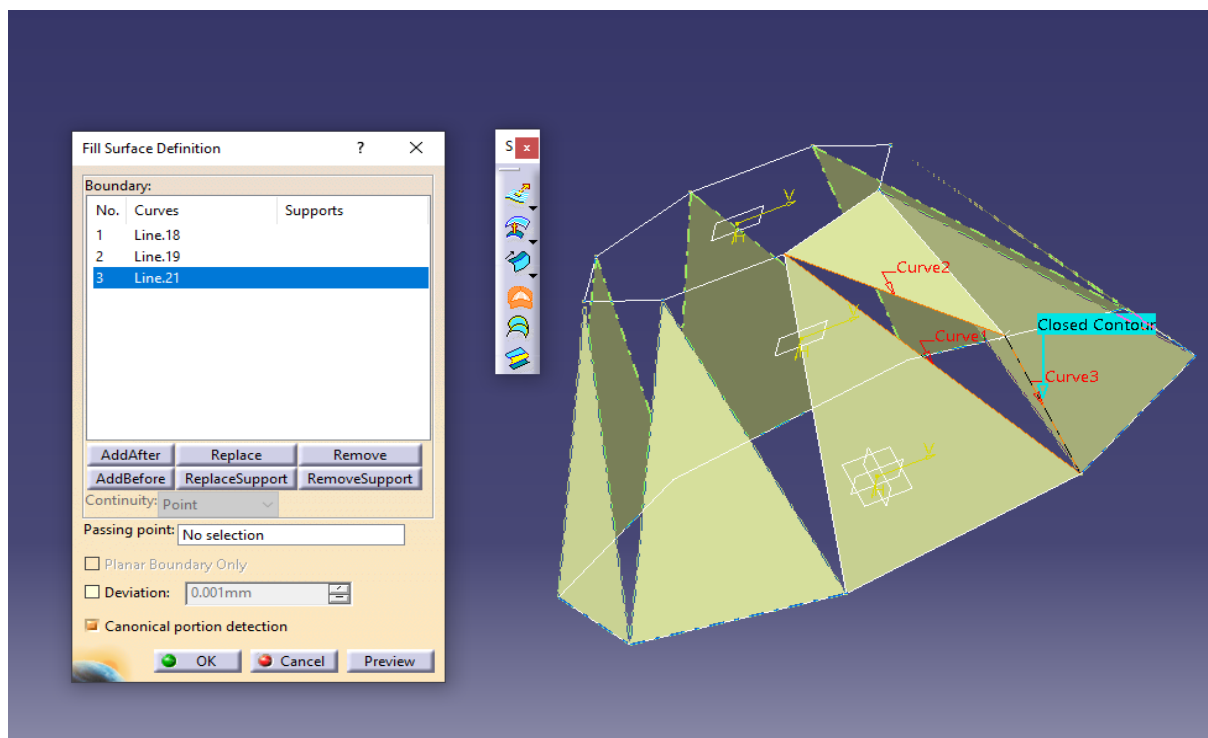
Слика 150. *Нова раван*

Када се одреди тачна позиција тачке на основу ње се врши спајање тачке са теменима профила и тако се формира други бочни сегмент, то се ради помоћу функције Line Definitor.



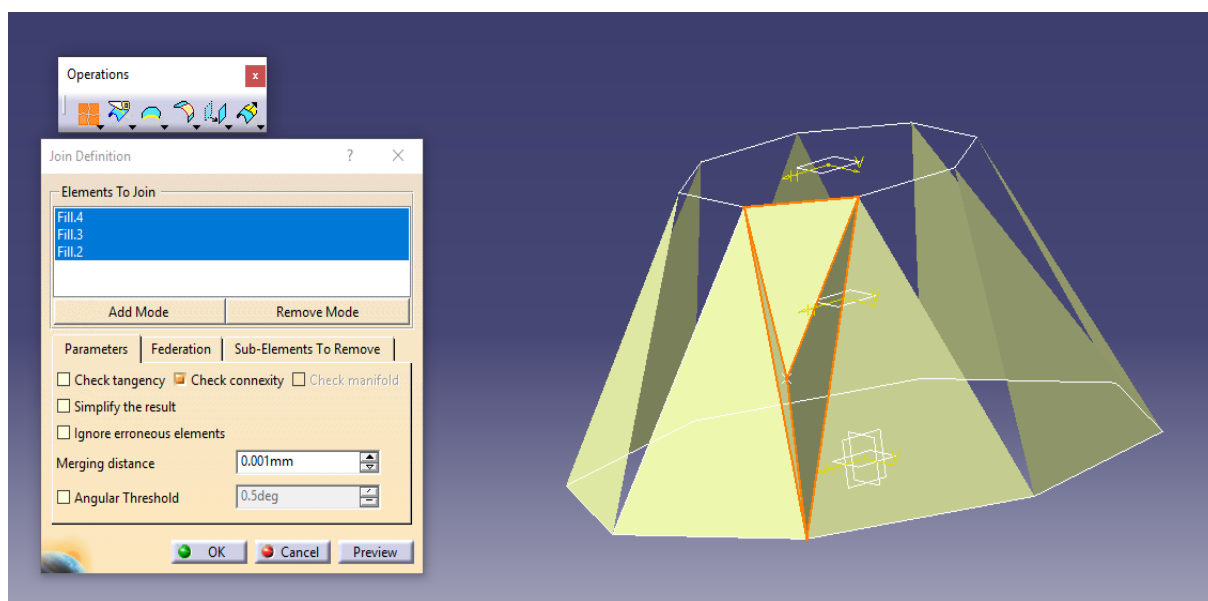
Слика 151. *Дефинисање бочних страница дела*

Поново помоћу опције Fill се попуњава профил и добија затворен бочни део.



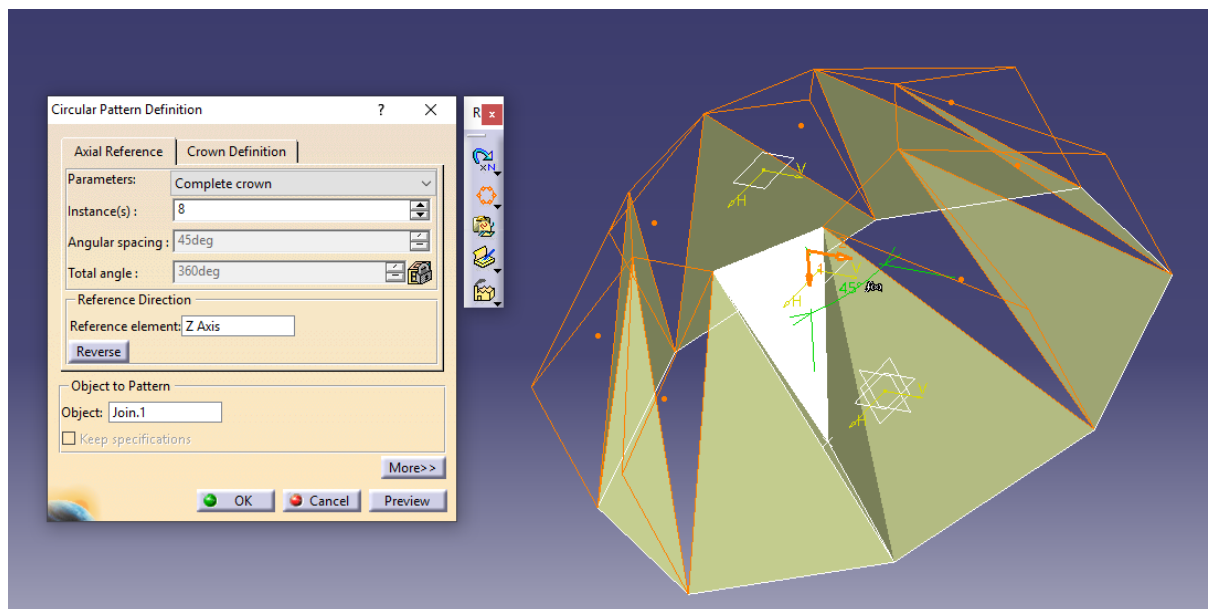
Слика 152. Fill

Затим помоћу алата Join се спајају све бочне површине у једну.



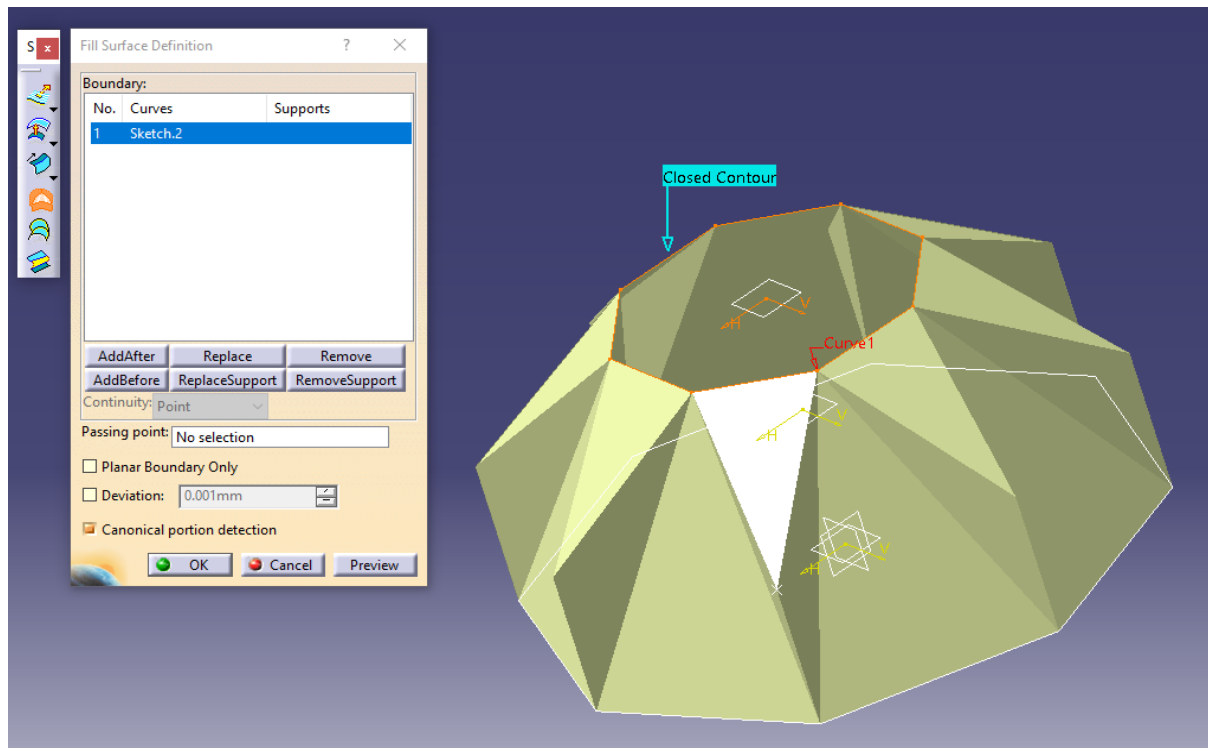
Слика 153. Join

Потом поново уз помоћ алата Circular Pattern Definiton се умножава на 8 профила распоређених на референтну Z осу ,а растојање између средишта ових профила је на раздаљини од 45 степени и са тим завршавамо бочни део профила.



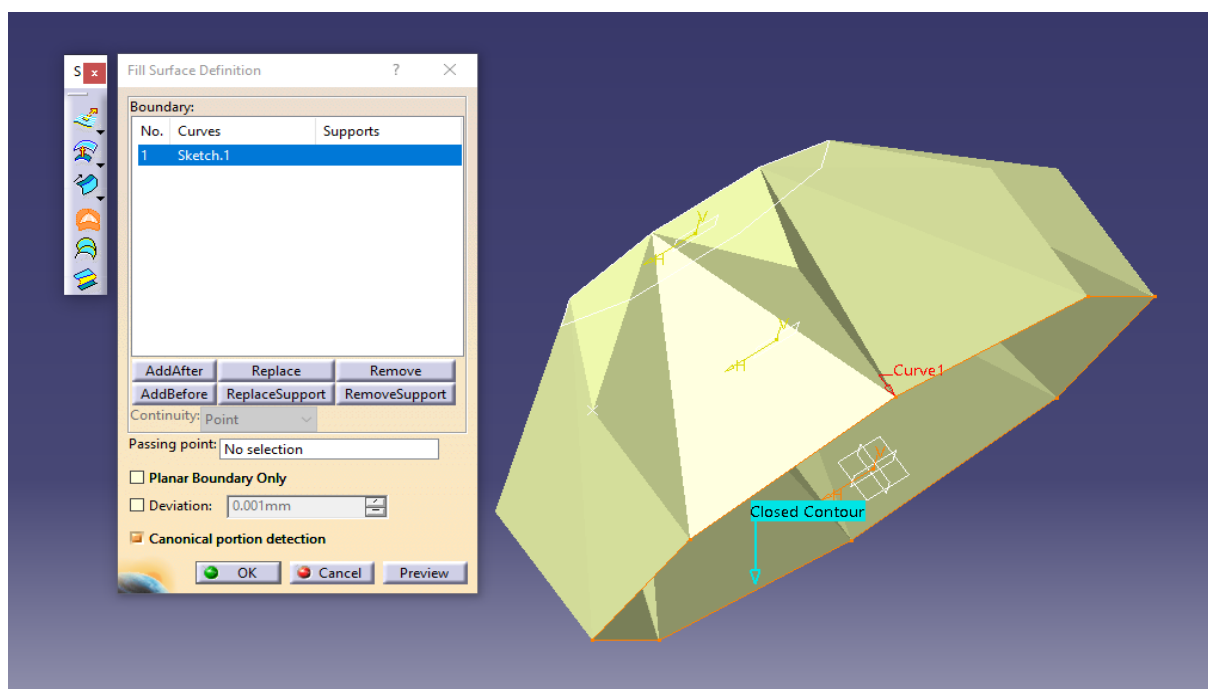
Слика 154. Circular Pattern Definiton

Корак који следи је попуњавање горње и доње површине помоћу функције Fill Surfaces. Означавају се све спољашње ивице и коришћењем ове команде се попуњава део.



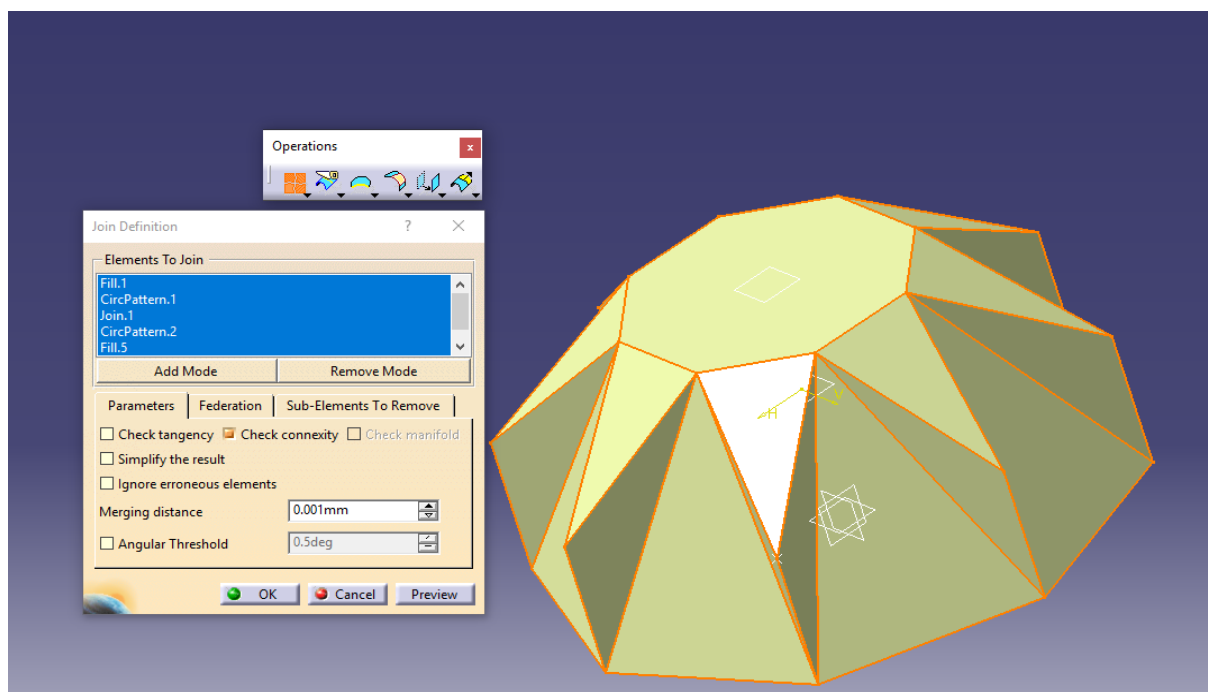
Слика 155. Попуњавање горње површине

Идентичан поступак се понавља са доњим делом.



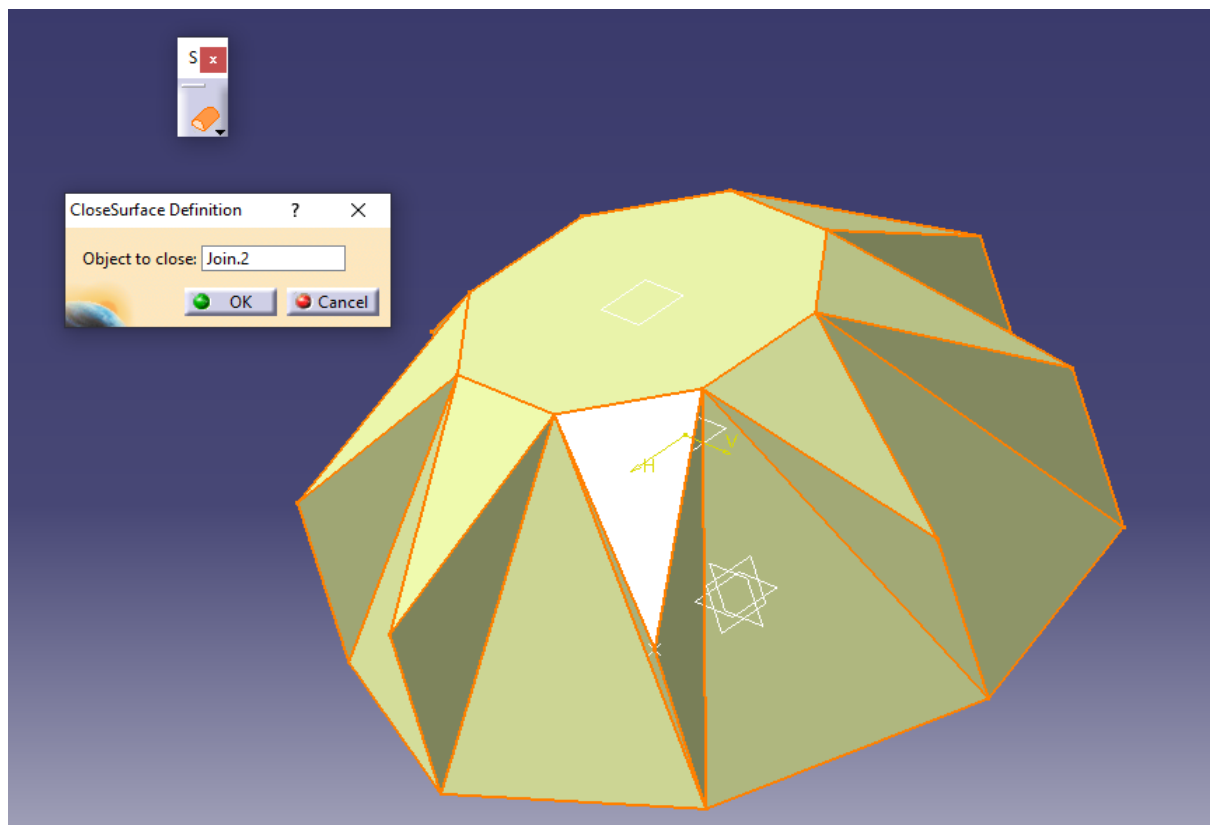
Слика 156. Попуњавање доње површине

Наредна операција која се врши је обједињавање свих страница делова и уклањање ивица ,а то се ради помоћу опције Join.



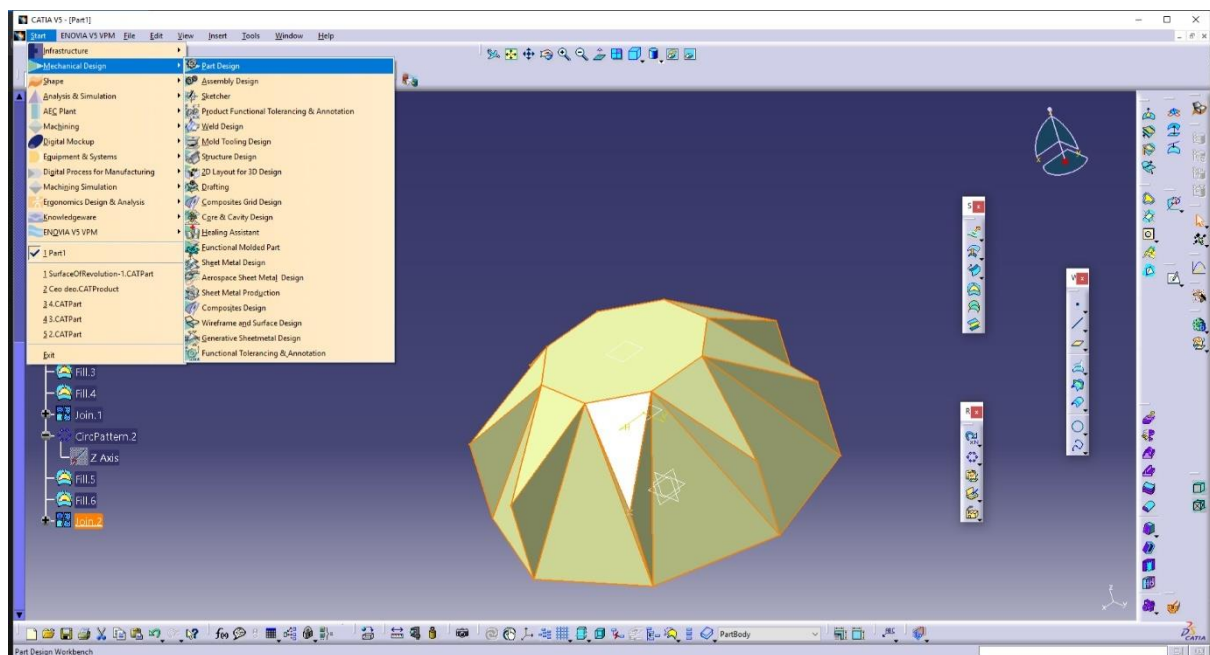
Слика 157. Join

Close Surface је алат који се користи следећи он служи за затварање свих контура и обједињавање дела у једну целину.



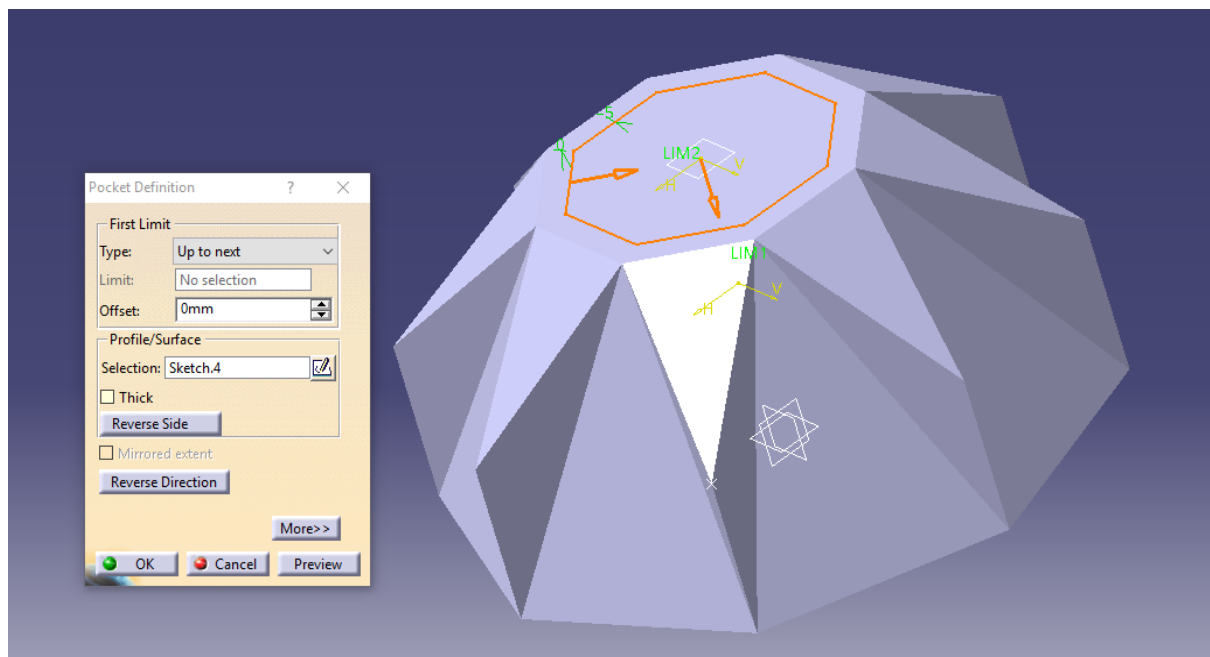
Слика 158. Close Surface

За даљи наставак рада на овом делу прелази се у окружење Part Design.



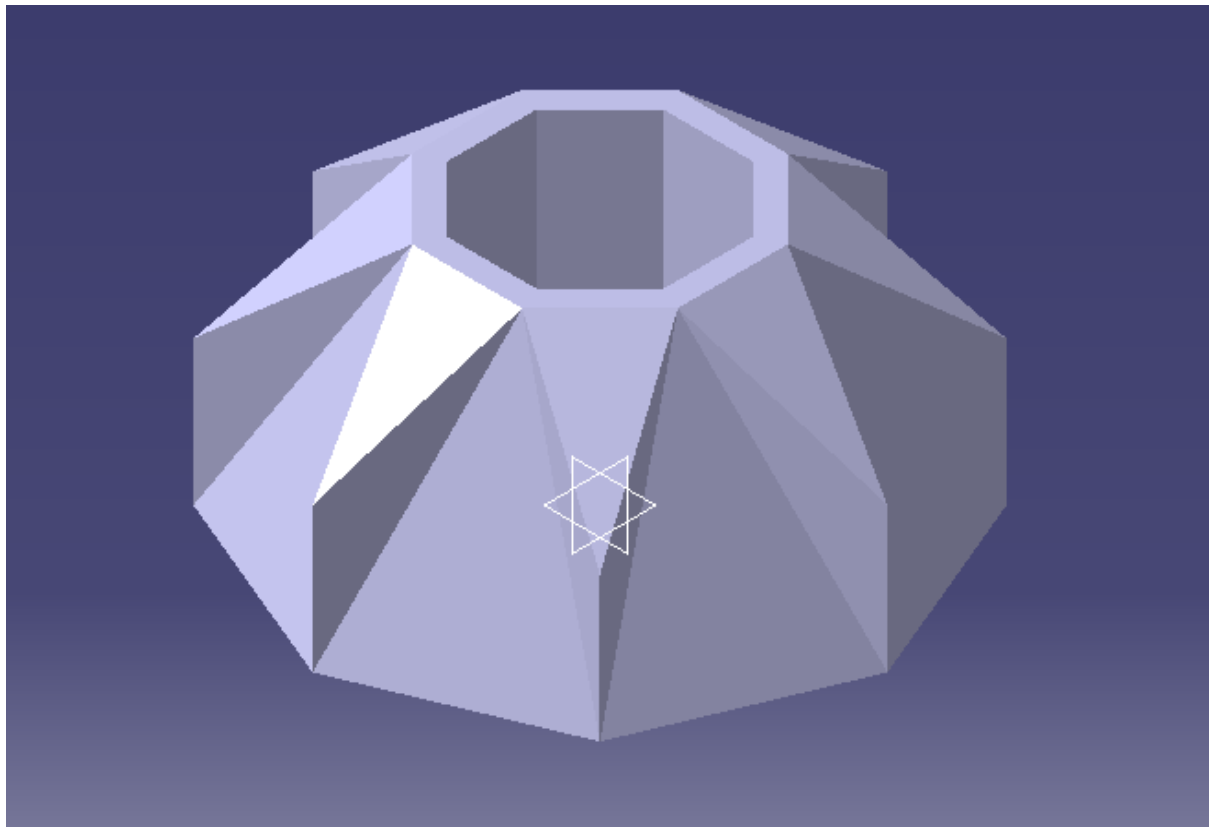
Слика 159. Отварање окружења Part Design

Следеће шта се ради је да се црта осмоугао чије се ивице налазе на 5 mm од спољашње ивице који даље помоћу функције Pocket Definition се буши до дна и добија се финални облик дела.

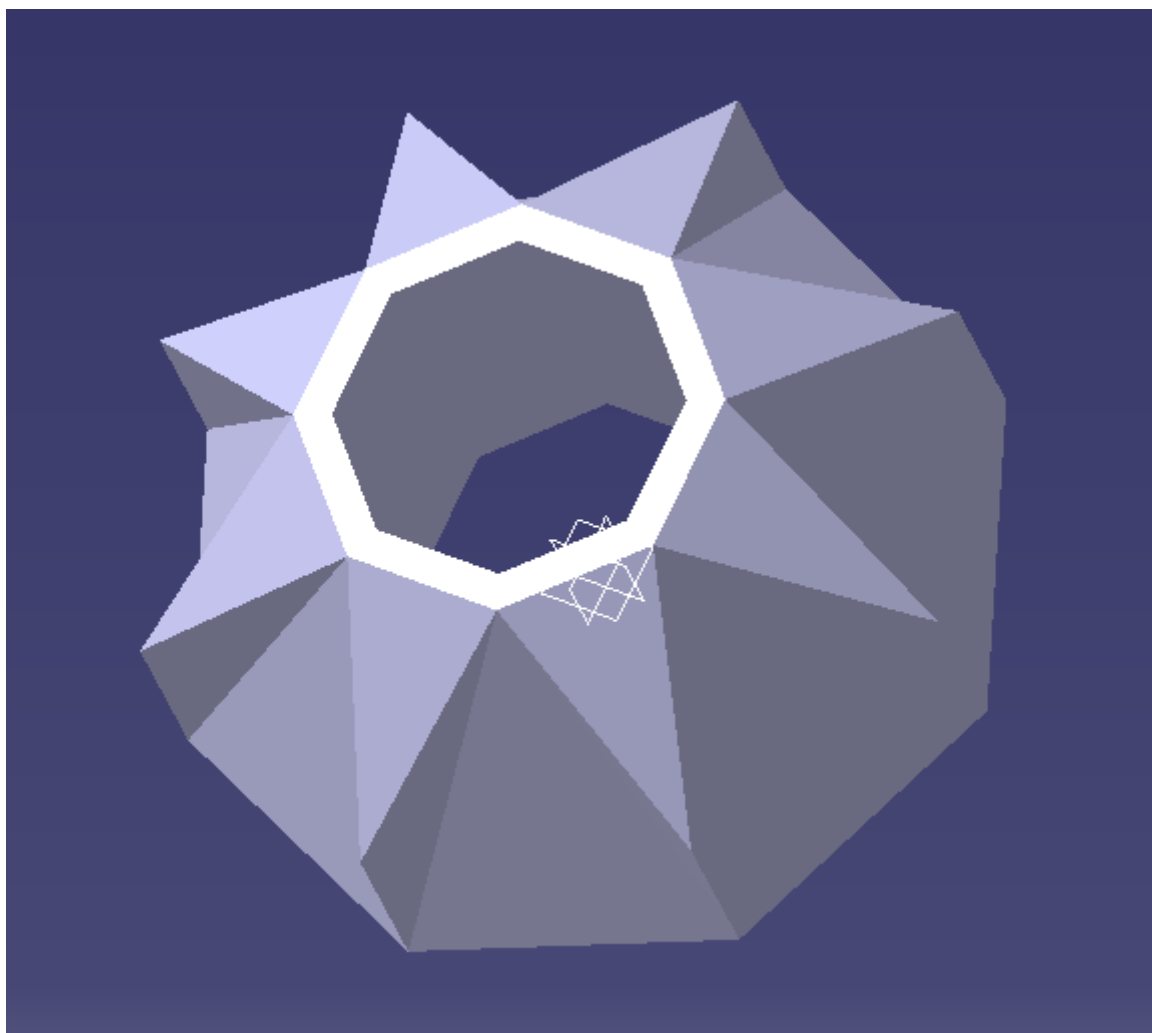


Слика 160. *Pocket Definition*

Коначни облик машинског дела.



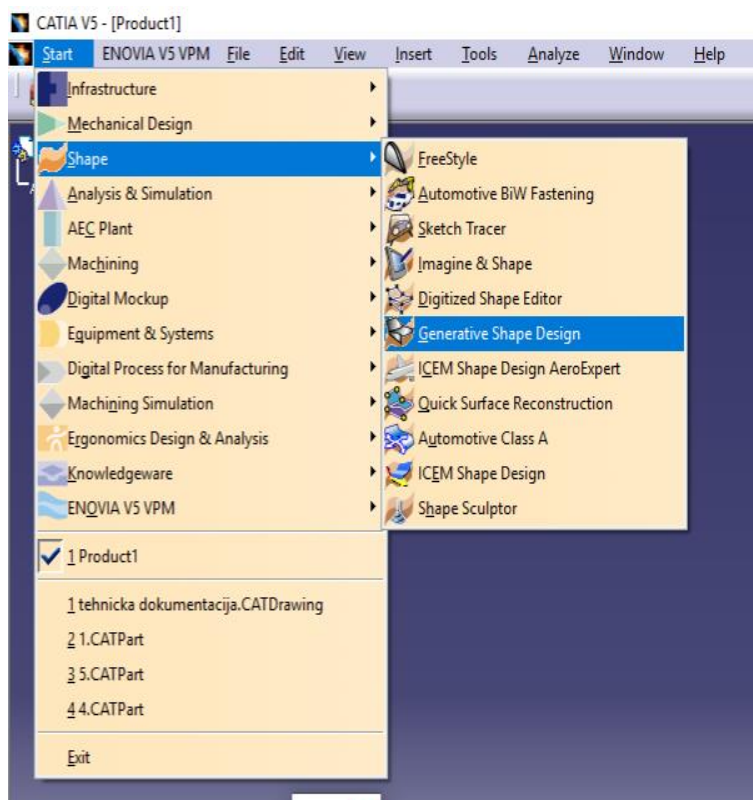
Слика 161. *Машински део*



Слика 162. *Машински део*

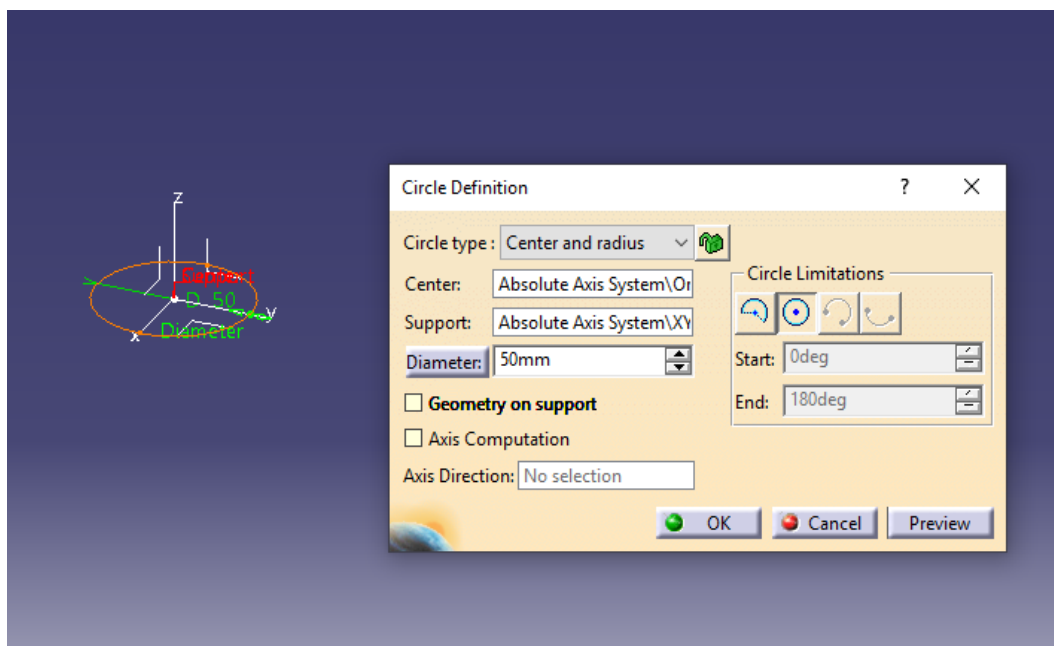
7.4 Штедљива сијалица

Штедљива сијалица се црта у радном окружењу Generative Shape Design као што је приказано на слици 163.



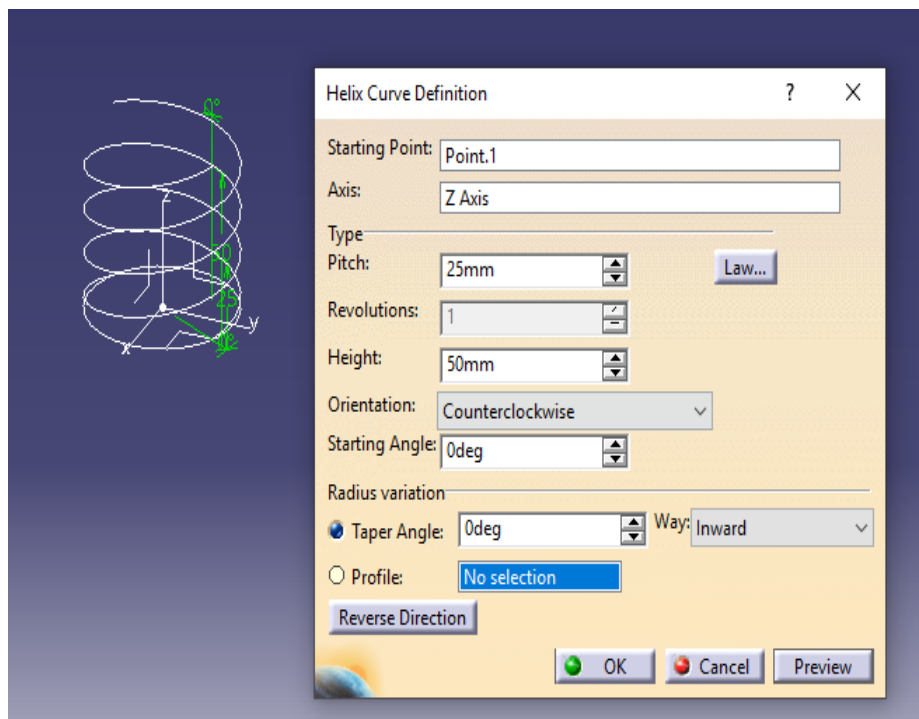
Слика 163. Радно окружење Generative Shape Design

Креће се са кругом који представља основу дела.



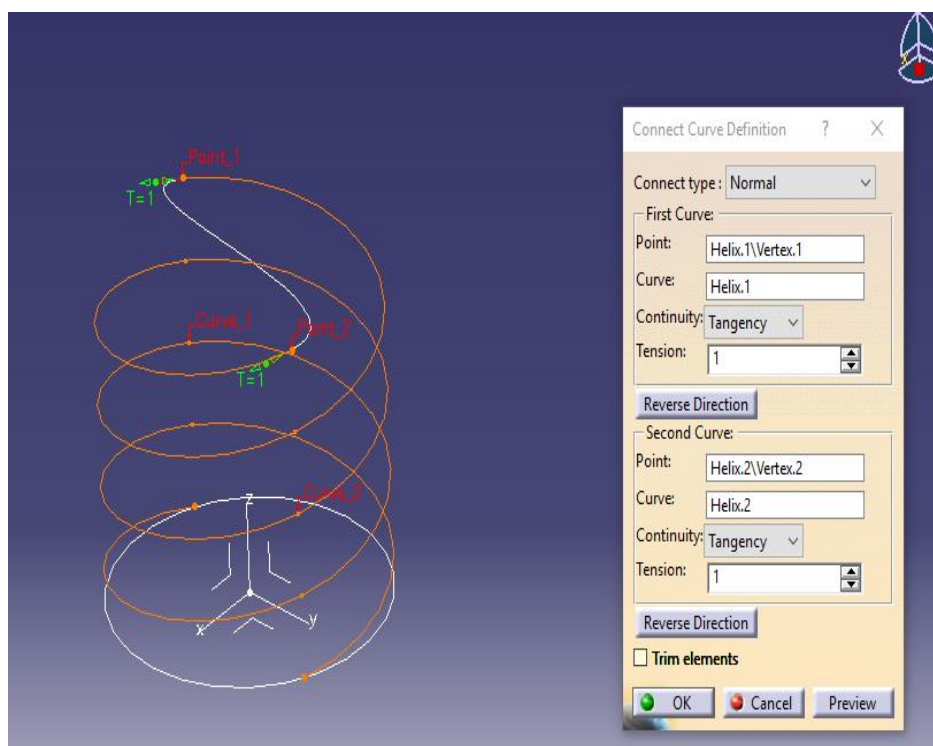
Слика 164. Circle Definition

Помоћу функције Helix добија се крива која представља основу ужареног влакна сијалице.



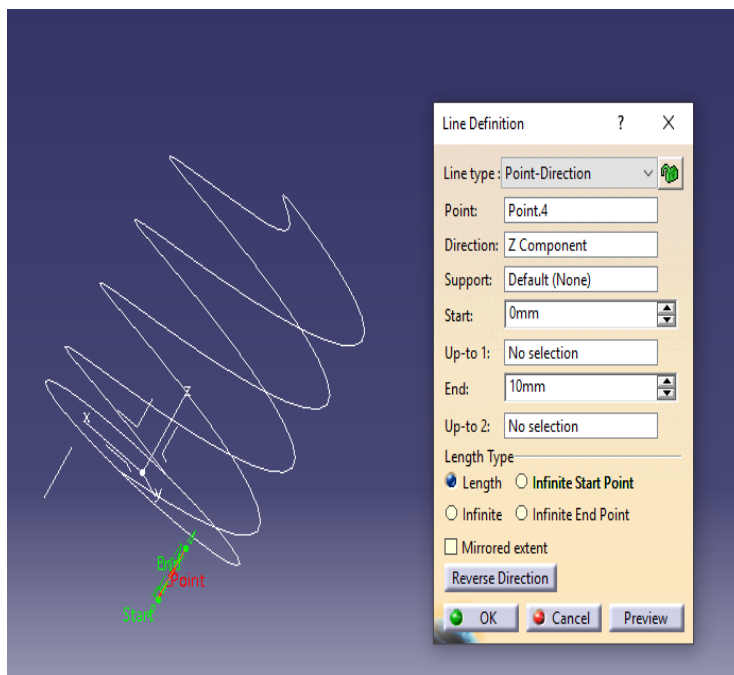
Слика 165. Helix

Функција Connect Curve у овом случају помаже да споји две криве и створи од њих целину.



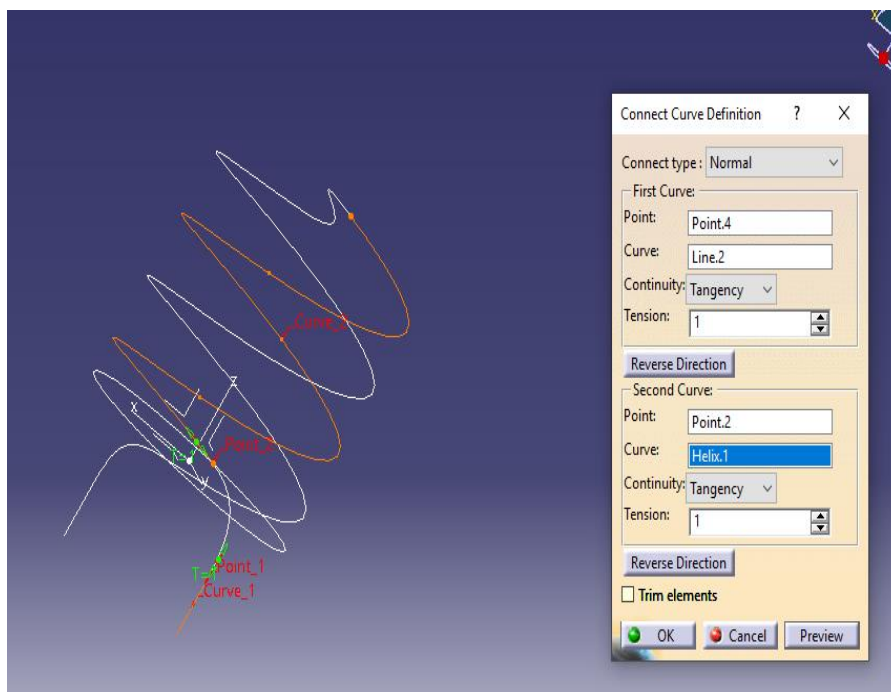
Слика 166. Connect Curve

Помоћу функције Line цртају се две паралелне линије које представљају везу између спирала и тела сијалице.



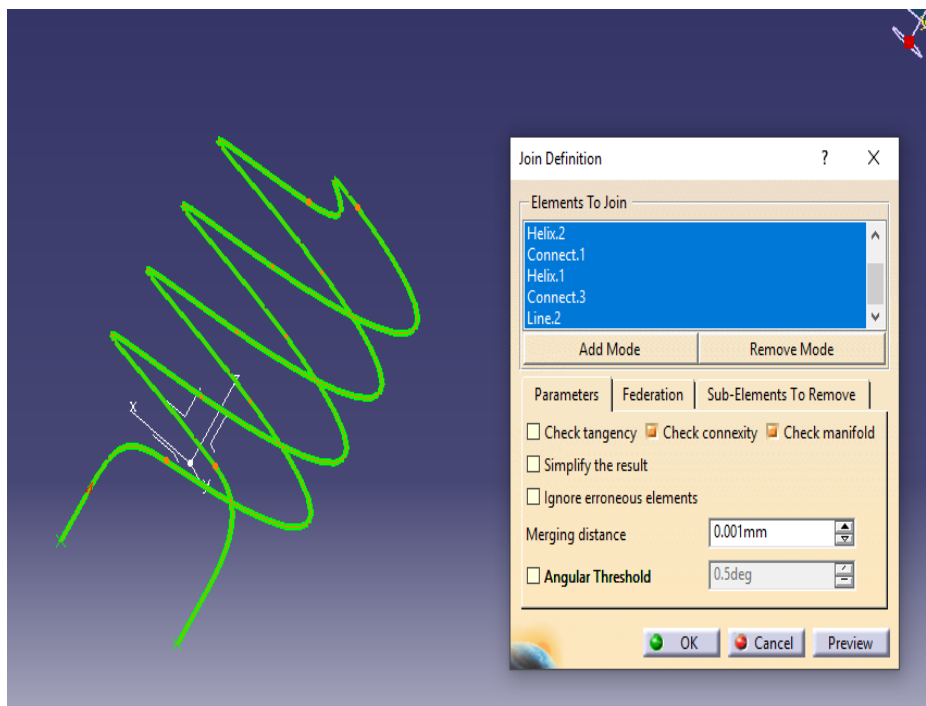
Слика 167. *Line Definition*

Функција Connect Curve у овом случају помаже да споји спиралу и две паралелне линије и створи од њих целину.



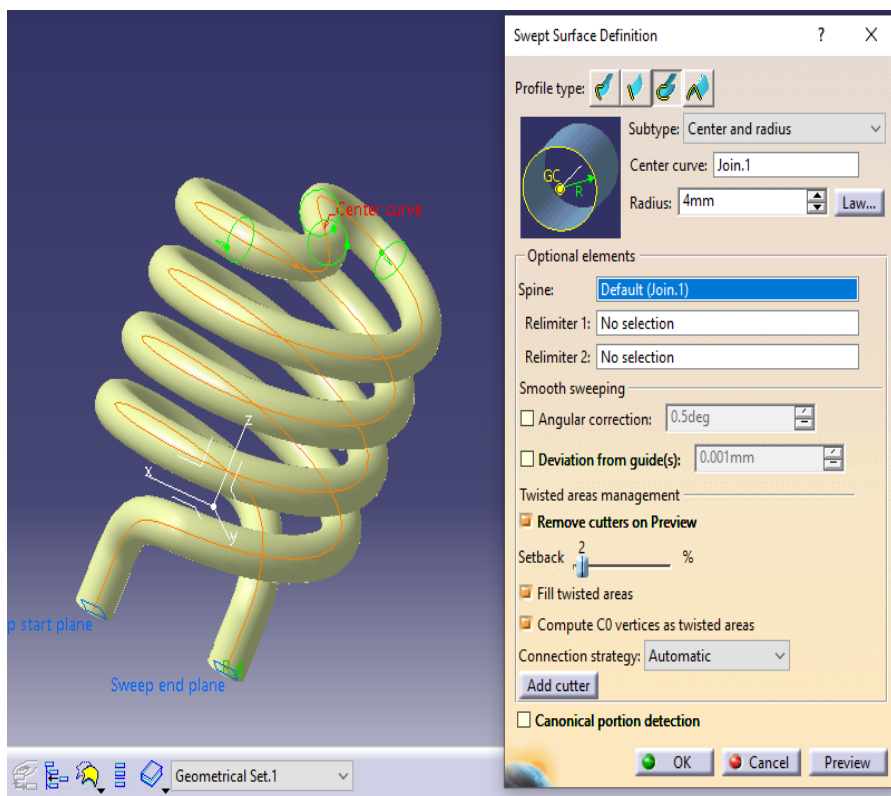
Слика 168. *Connect Curve*

Наредни корак који је потребан је опција Join. Помоћу ове функције спајају се сви сегменти спирале у један.



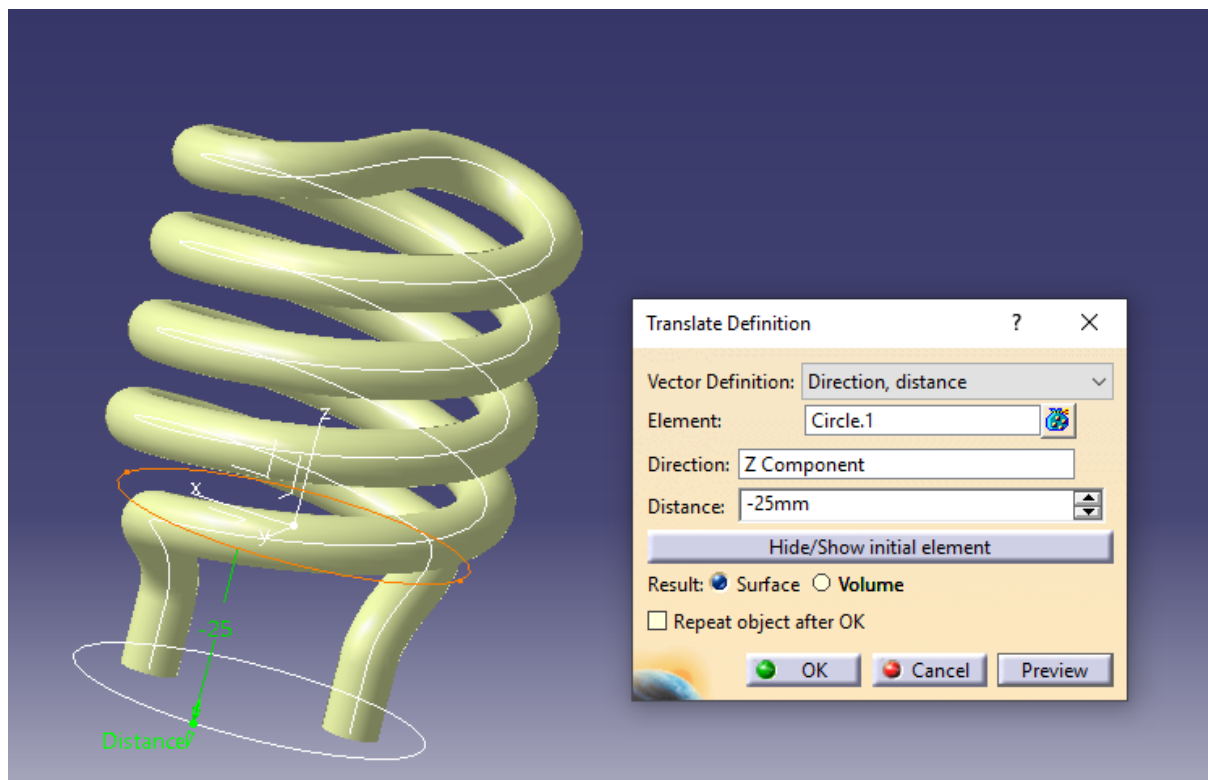
Слика 169. Join

Опција која се следећа користи је Swept Surface помоћу које спирала добија дебљину цеви и поприма финални изглед.



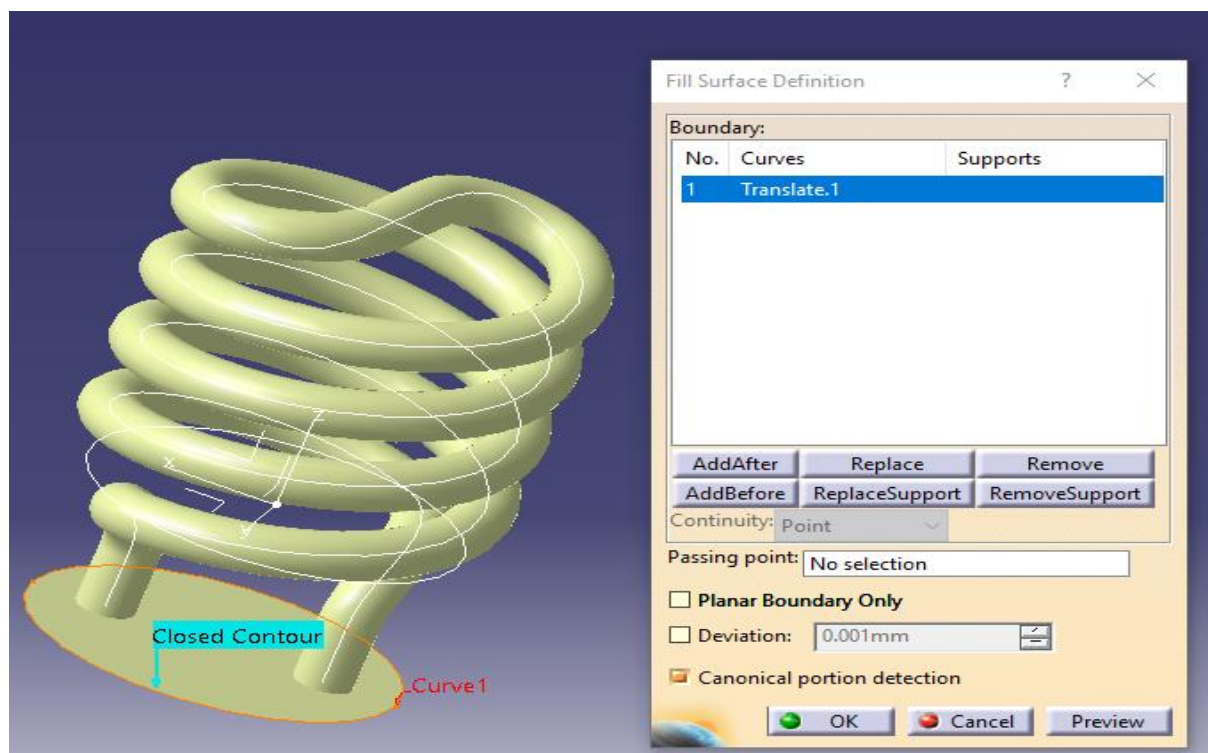
Слика 170. Swept Surface

Базични круг са којим је отпочет модел се помера уз помоћ функције Translate Circle и помоћу њега креће формирање тела сијалице.



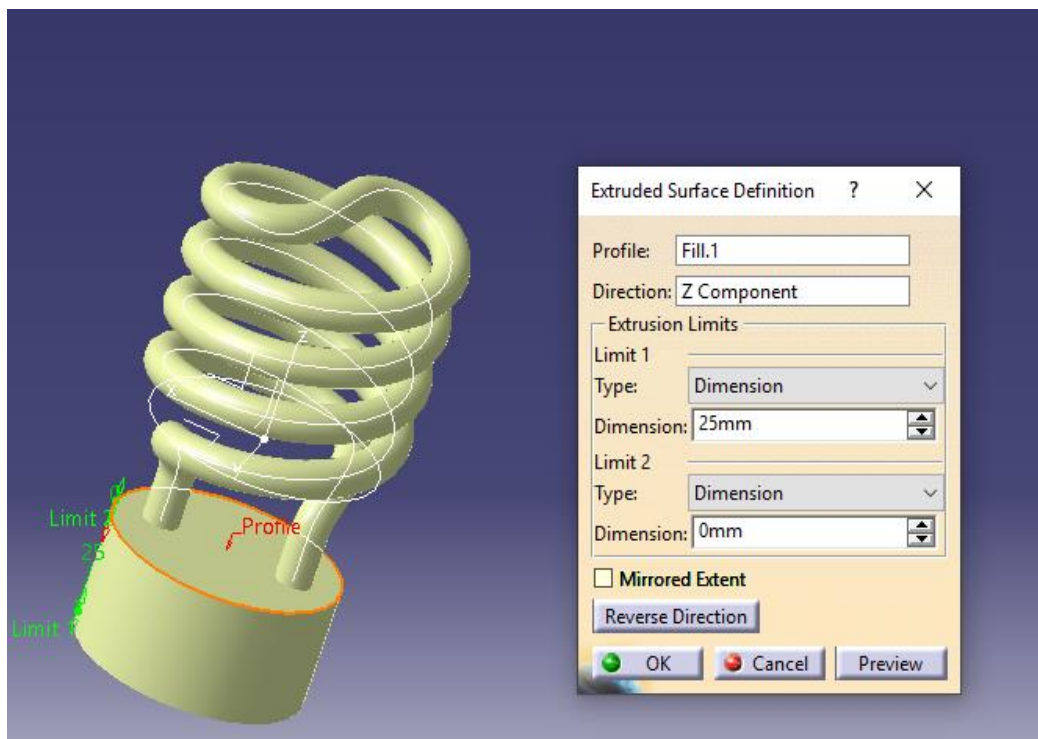
Слика 171. *Translate Circle*

Да би се добио пупуњен и затворен круг користи се опција Fill Surface.



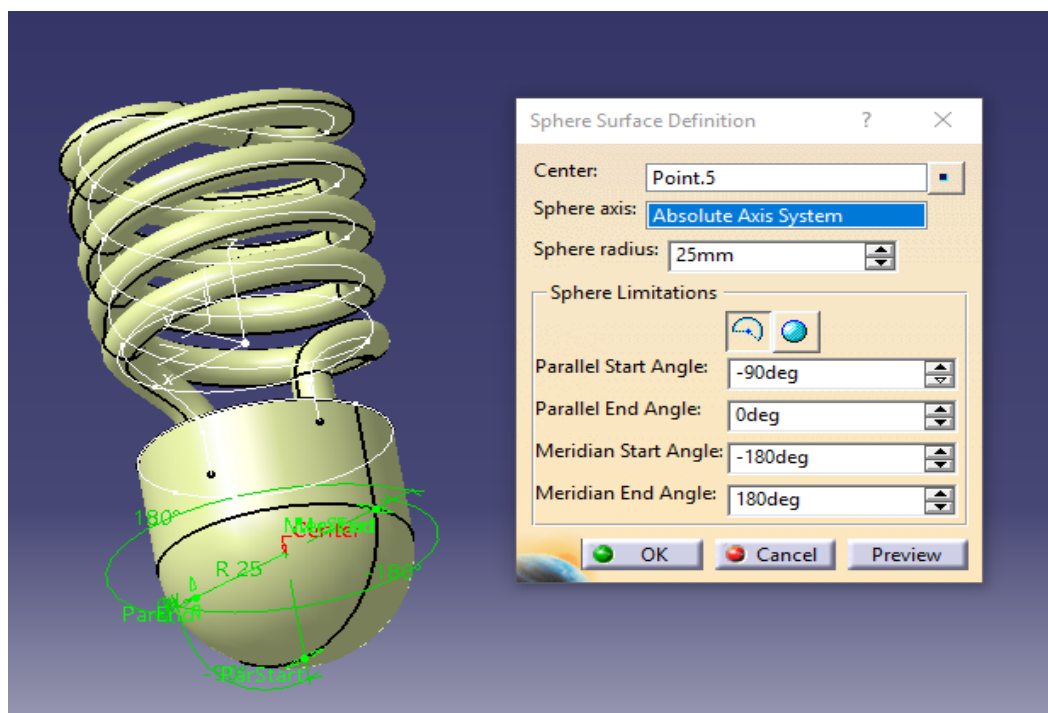
Слика 172. *Fill Surface*

Тело сијалице се добија помоћу опције Extrude Surface. У овом случају то је одрађено по Z координати у негативном смеру у дужини од 25 mm.



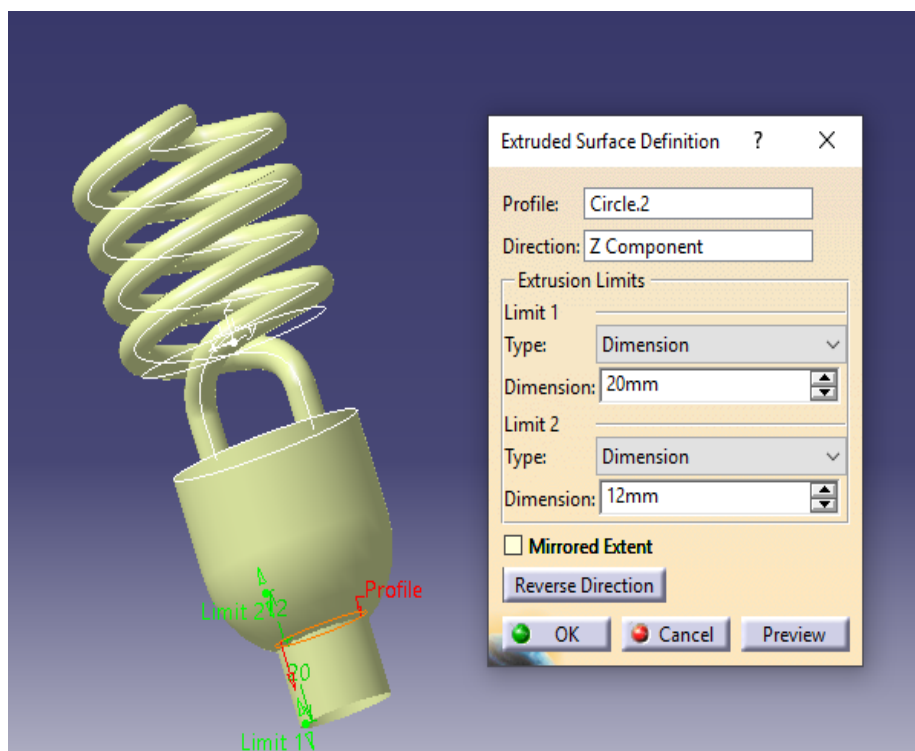
Слика 173. Extrude Surface

Остатак тела сијалице представља сфера са радијусом од 25 mm и она се ради помоћу функције Sphere Surface.



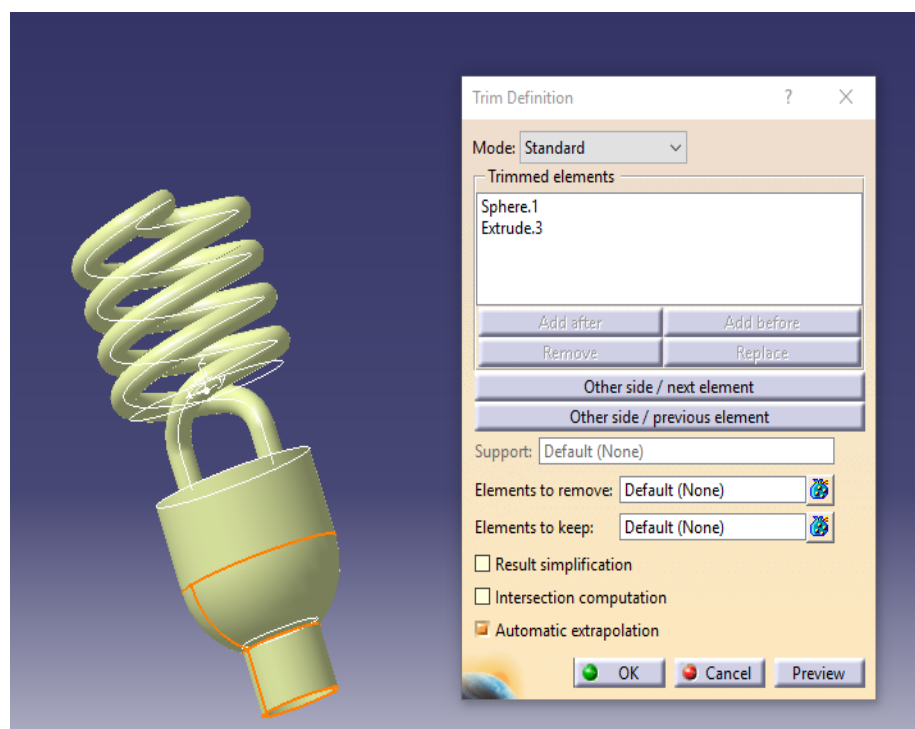
Слика 174. Sphere Surface

Наредни корак је опет транслација базичног круга и његово димензионисање на вредност од 25 mm, а потом се помоћу опције Extrude Surface додаје материјал у дужини од 20 mm по Z оси.



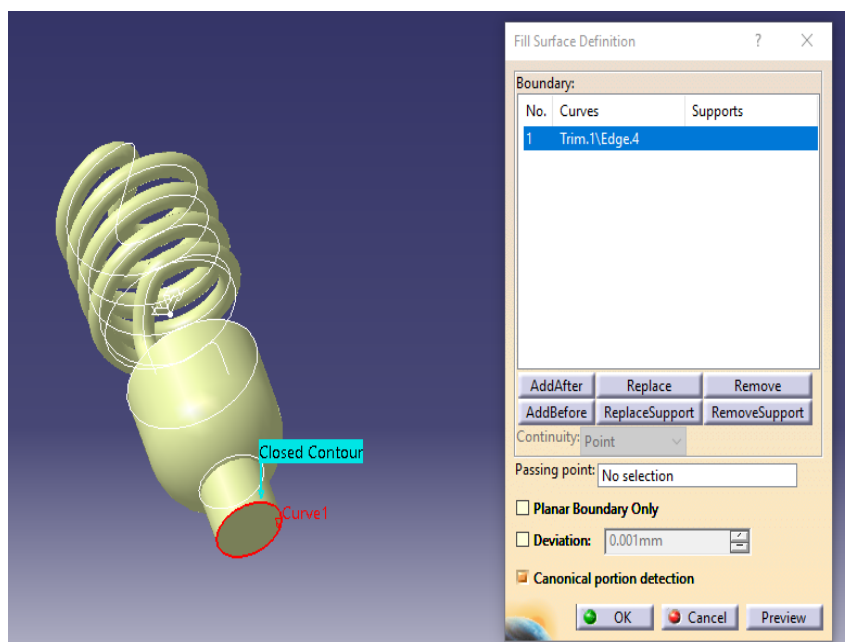
Слика 175. *Extrude Surface*

Опција Trim је следећа опција која следи и помоћу ње се уклања вишак материјала који се налази унутар тела сијалице.



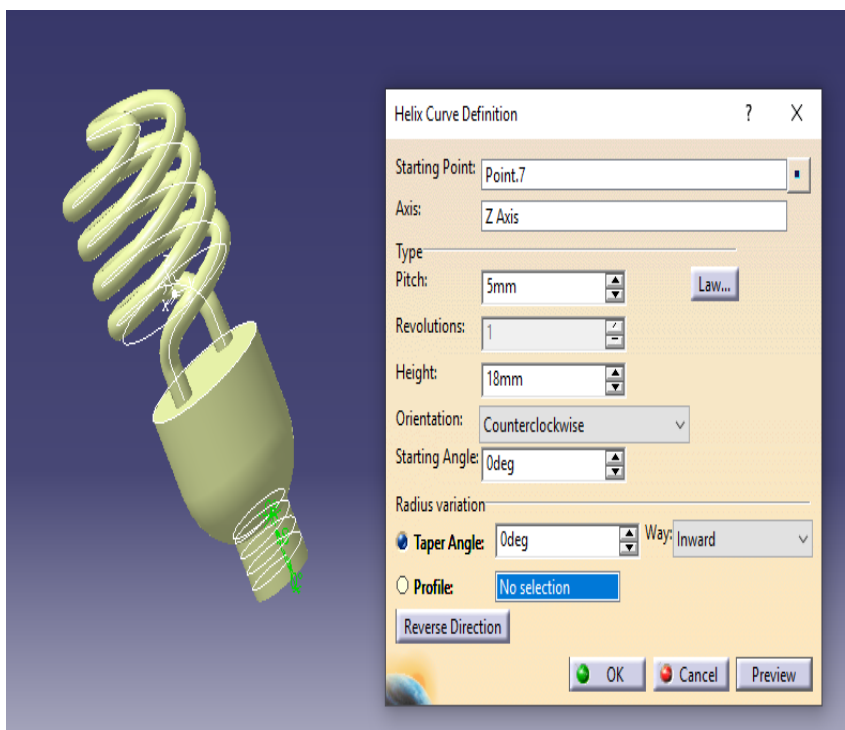
Слика 176. *Trim*

Fill Surface је функција којом се попуњава доњи део тела и затвара контура.



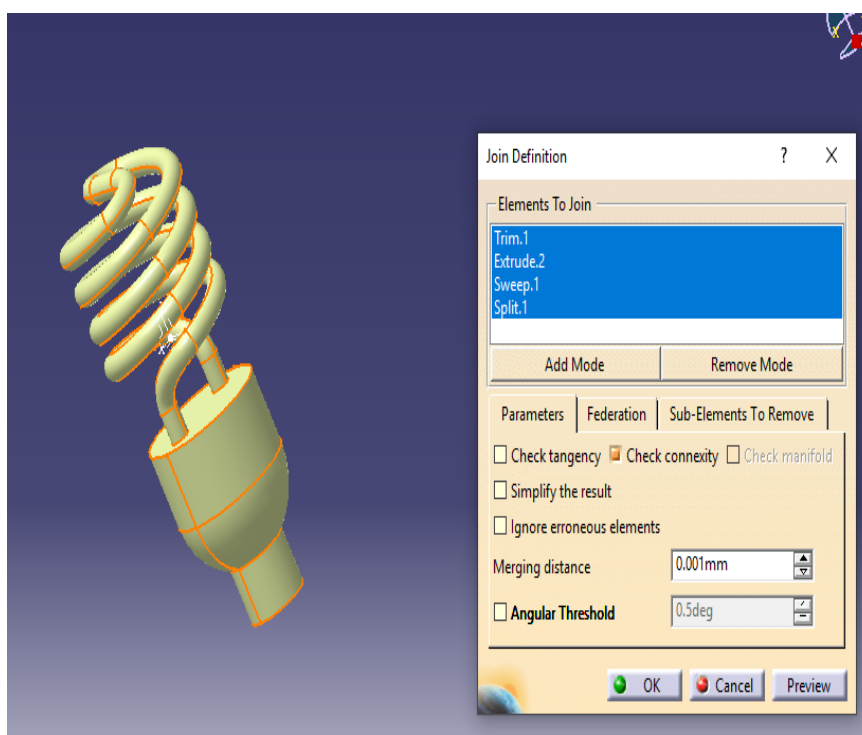
Слика 177. Fill Surface

Да би креирали навој за грло сијалице опет се користи функција Helix са следећим параметрима.



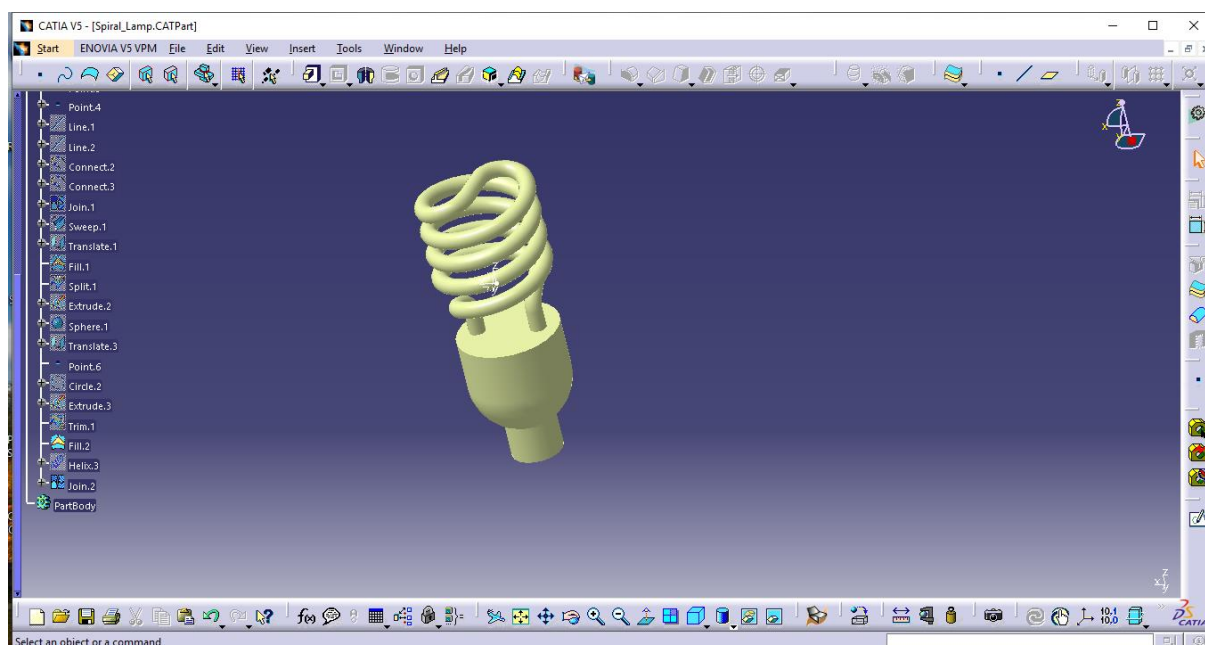
Слика 178. Helix

Наредни корак је функција Join и обједињавање свих делова у једну целину.



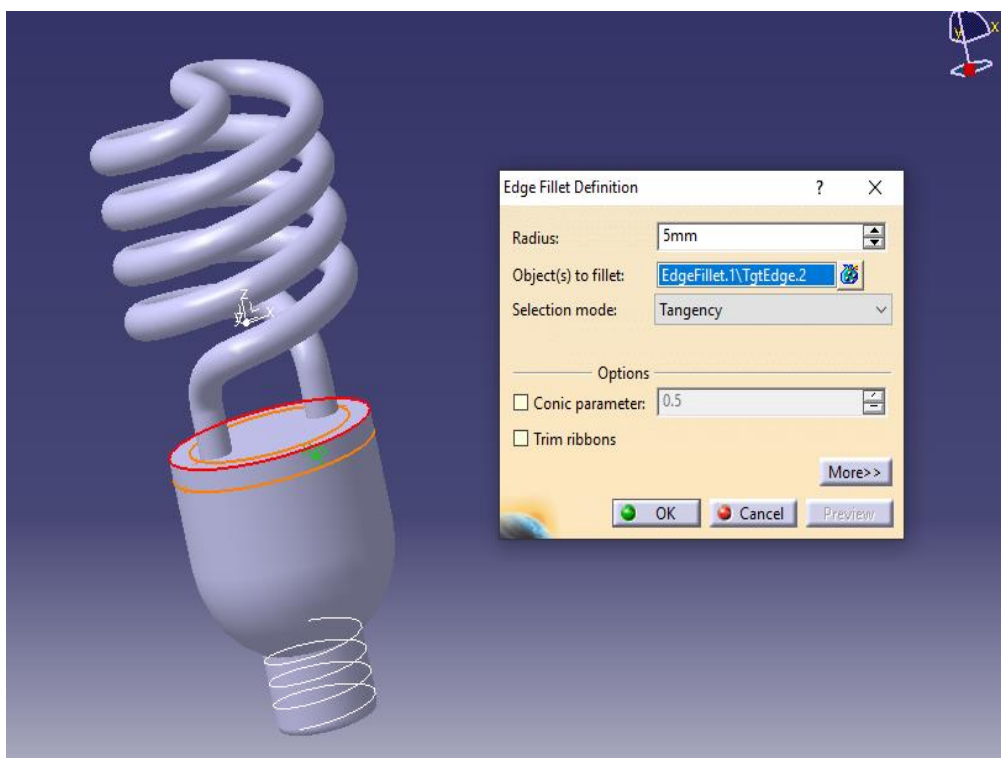
Слика 179. Join

Овом функцијом се завршава са радним окружењем Generative Shape Design и прелази се на радно окружење Part Design где се наставља даље моделирање дела.



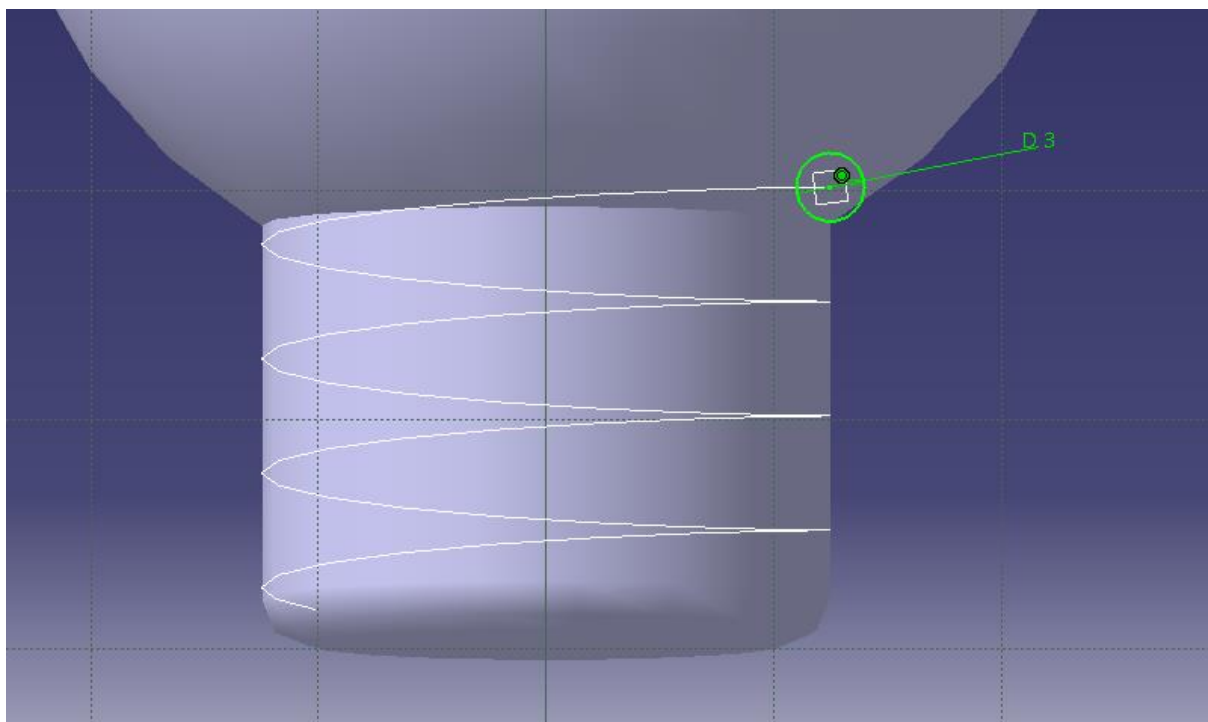
Слика 180. Окружење Part Design

Заобљење ивица је корак који следи то се ради помоћу опције Edge Fillet.



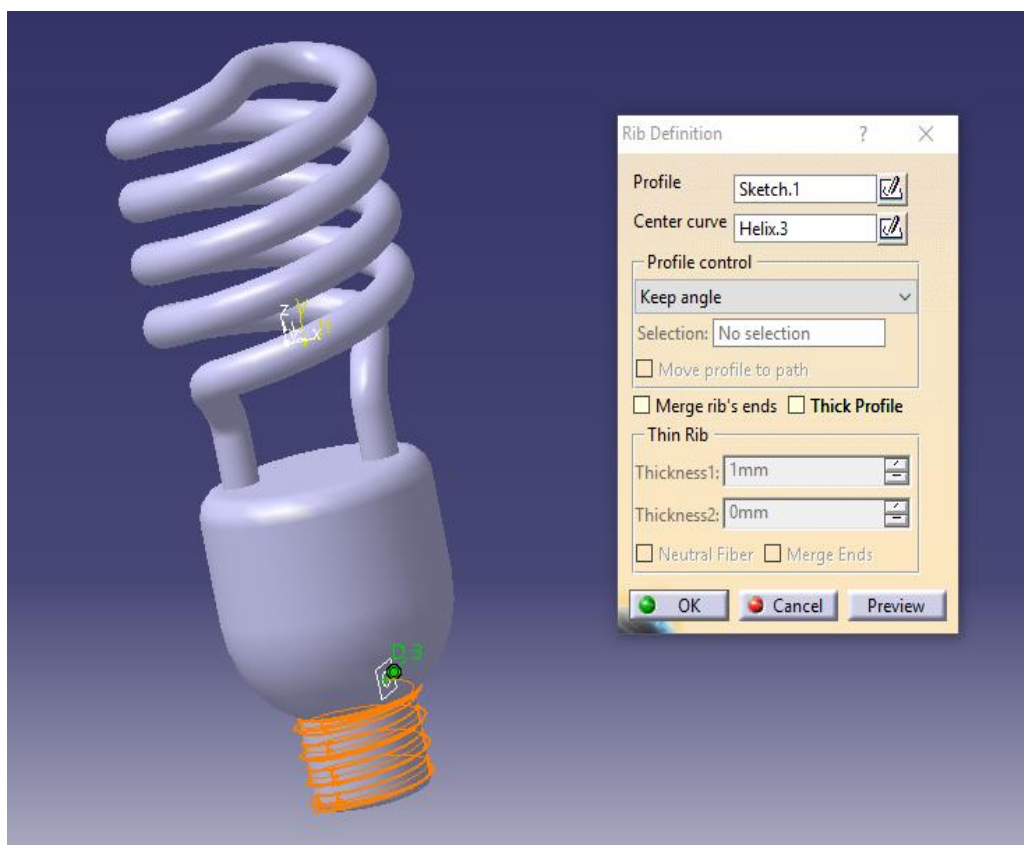
Слика 181. *Edge Fillet*

Наредни корак је цртање круга у равни која је нормална на ху оцу и центар круга је концентричан са почетком спиралне криве.



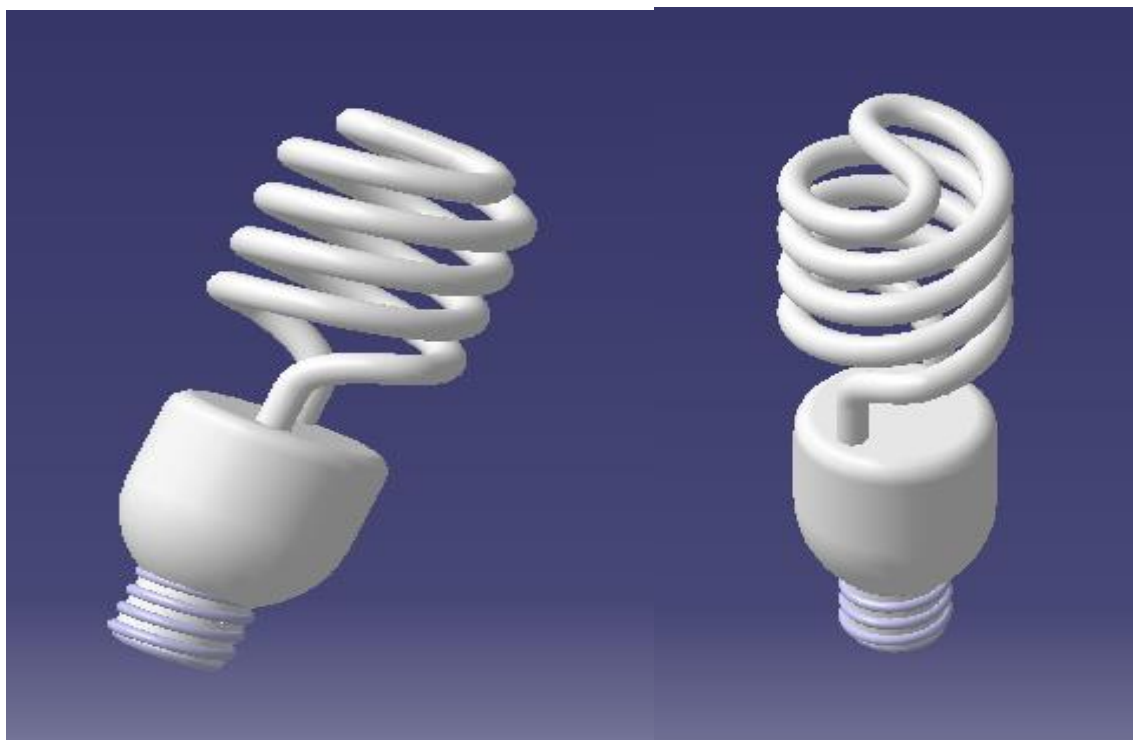
Слика 182. *Профил круга*

Последња опција која се користи је Rib Definition која представља навој на сијалици.



Слика 183. *Rib Definition*

Коначан изглед штедљиве сијалице уз коришћење палате алата Graphic Properties.



Слика 184. *Штедљива сијалица*

8. Заључак

Просторно (3D) моделирање је иновација која је индустрији донела доста побољшања и олакшања. Моделирањем на овај начин можемо приказати изглед модела као и његове габарите. Предност просторног моделирања је многострука. Највећа предност је брзина којом можемо одрадiti и приказати модел, поред тога предност је што програме које користимо можемо користити и за неке друге потребе које имамо као што су статички прорачуни, машинирање, 3D штампу такође може се користити за израду прототипова и уопште за сваку грану развоја производа.

У раду је приказан и описан један начин израде модела производа рачунарског миша коришћењем софтверског алата CATIA. Приликом израде модела у раду коришћени су модули Part Design, Generative Shape Design и Wireframe and Surface Design

У наставку рада детаљно је на конкретном примеру приказан поступак моделирања сложених површина у програму CATIA. Такође је приказана већина битних функција и могућности које се користе у раду са овим програмом. Приликом израде модела велика пажња била је усмерена на његову сложену геометрију, компоненте које га чине, као ина њихове међусобне односе.

У раду је показано да постоје три основне врсте рачунарских 3D модела: жичани модел, површински модел и запремински модел. Пуни 3D модели погоднији су за конструисање 3D објеката правилних геометријских облика, док су површински 3D модели превасходно намењени конструисању 3D објеката произвољног облика. У овом раду била је потребна израда модела употребом површина због његове врло компликоване геометрије. Са свим карактеристикама модела и проблемима који су се јављали било је потребно усвојити већину знања из области Generative Shape Design, уз претходно добро познавање основних функција програма CATIA.

Кроз цео рад је приказан начин рада, команде и практична примена окружења у програму CATIA. У раду су приказане команде у различитим окружењима и за различите намене, од команди за жичане моделе преко команди за површинске моделе до команди за запреминске моделе.

Велики акценат је дат на појашњавању команди кроз практичне примере где је приказана практична примена као и на које све начине може бити искоришћена наведена команда (пошто неке команде могу да имају више начина примене).

Моделирање у неком од CAD/CAM софтвера доста поједностављује посао зато што је могуће да више делова, склопова урадимо на једном месту, а самим тим имамо бољи приказ и увид како ће део који радимо изгледати у пракси и са таквим делом можемо ући у даљу анализу и увидети све предности и мане које има део који смо измоделирали. Такође можемо одмах изменити на лицу места и дорадити модел у зависности од потребе.

У раду су појашњене команде палете алата Wireframe од којих су најзначајније point, line и plane. Палета алата Surface где су најзначајније команде Extrude, Revolve, Offset, Fill I Multi-sections. Трећа палета алата су Volumes команде од којих су најзначајније Extrude Volume, Revolve Volume, Multi-section Volume, Swept Volume, Thick Surface, Close Surface, Shell и многе друге.

Поред ових базичних палета алата постоје Operations које служе за дефинисање веза између делова модела неке од функција су: Join, Split, Trim, Edge Fillet, Shape Fillet, Patterns и многе друге. Палета алата за анализу веза такође је важна, а неке од основних команди су: Connect Checker, Curve Connect Checker, Draft Analysis.

У раду су приказана четири модела од рачунарског миша преко рекета, машинског дела до штедљиве сијалице. Кроз рад на овим деловима су приказане команде које се налазе у окружењу Generative Shape Design, појединачно су приказане и боље објашњене кроз примере. Модели су одабрани да на најбољи начин прикажу све погодности које нам ово окружење даје.

Кроз моделирање практичних примера на најбољи начин је приказано на који начин оваква врста моделирања може имати практичну примену у разним сферама индустрије.

Рад на овим окружењима је широко применљив у многим гранама индустрије од авио индустрије преко аутомобилске до неких мање захтевних грана индустрије као на пример дизајнирање паковања за неке производе.

Окружење Generative Shape Design је окружење које кориснику даје широки спектар могућности у дизајнирању.

9. Литература

- [1] Ненад Марјановић, Инжењерски алати, ауторизована предавања
- [2] Зоран Милојевић, Милан Рацков, Синиша Кузмановић, Иван Кнежевић, Слободан Навалушић, Лозица Ивановић, Мирослав Вереш, Биљана Марковић, Израда конструкционе документације, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, 2015, ISBN 978-86-499-0198-8
- [3] Горан Девеџић, CAD/CAM технологије, Крагујевац 2009, ISBN 978-86-86663-40-5
- [4] <https://irzaidan.files.wordpress.com/2012/06/shape-design.pdf>
- [5] http://catiadoc.free.fr/online/sdgug_C2/sdgugwd0100.htm
- [6] http://catiadoc.free.fr/pdf/EN-Catia_v5r13_Designer_Guide_Chapter9-Working_with_Wireframe_and_Surface_Design_Workbench.pdf
- [7] http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/14316/mod_resource/content/0/IA1.pdf