

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду**



Назив студијског програма: Војно-индустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Наоружање
Предмет: Компјутерски подржано инжењерство
Број индекса: 545/2011

Марко М. Кртолица
Кинематска симулација цилиндричног
пужног пара механизма елевације
артиљеријског оруђа
Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Гордана Јовичић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

Резиме

Предмет овог рада је цилиндрични пужни зупчасти пар механизма елевације артиљеријског оруђа. У раду, укратко је представљен софтверски пакет CATIA, сврха, рад и прорачун вредности геометријских величина пужног зупчастог пара. У раду су такође детаљно описане смернице за израду модела и склопа, кинематских веза као и симулацију рада истог. На крају је извршена анализа кинематских величина која је представљена дијаграмима.

Кључне речи: CATIA, моделирање, склоп, симулација.

Abstract

Subject of this work is cylindrical worm gear pair of artillery elevation mechanism. In this work, is briefly introduced software package CATIA, purpose, work and calculation of the value of the geometric size worm gear pair. In this work are also detailed guidelines for molding and assembly, kinematic connections as well as simulation of the same. At the end is performed the analysis of the kinematic value which is presented with diagrams.

Key words: CATIA, molding, assembly, simulation.

Садржај

Увод.....	1
1. Историја развоја програма CATIA.....	2
2. CATIA V5 конфигурација.....	3
3. CATIA V5 платформе	4
4. CATIA V5 алати апликације.....	4
5. Кинематска анализа (DMU Kinematics).....	5
6. Пужни пар.....	5
6.1. Прорачун цилиндричног пужног зупчастог пара.....	7
7. Израда 3D модела цилиндричног зупчастог пара.....	9
7.1. Пуж.....	9
7.2. Пужни зупчаник	19
7.3. Гоњено вратило	27
7.4. Клин.....	31
7.5. Лежај	33
7.6. Кућиште	41
8. Склапање модела, формирање кинематских веза и преносног односа	49
9. Симулација задавањем закона кратања	68
10. Симулација помоћу команди видео-плејера	70
11. Дијаграмски приказ кинематских величина.....	72
Закључак	76
Литература	77

Увод

CATIA (*Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application*, српски *рачунарско (компјутерско) вођена тродимензионална интерактивна примена*) је CAD/CAM/CAE комерцијални софтверски пакет тј. тродимензионални рачунарски програм за рачунарско пројектовање и техничко конструисање, који је развила француска компанија Dassault Systèmes. Програм је првобитно намењен за конструисање авиона, али се данас користи у различитим професијама.

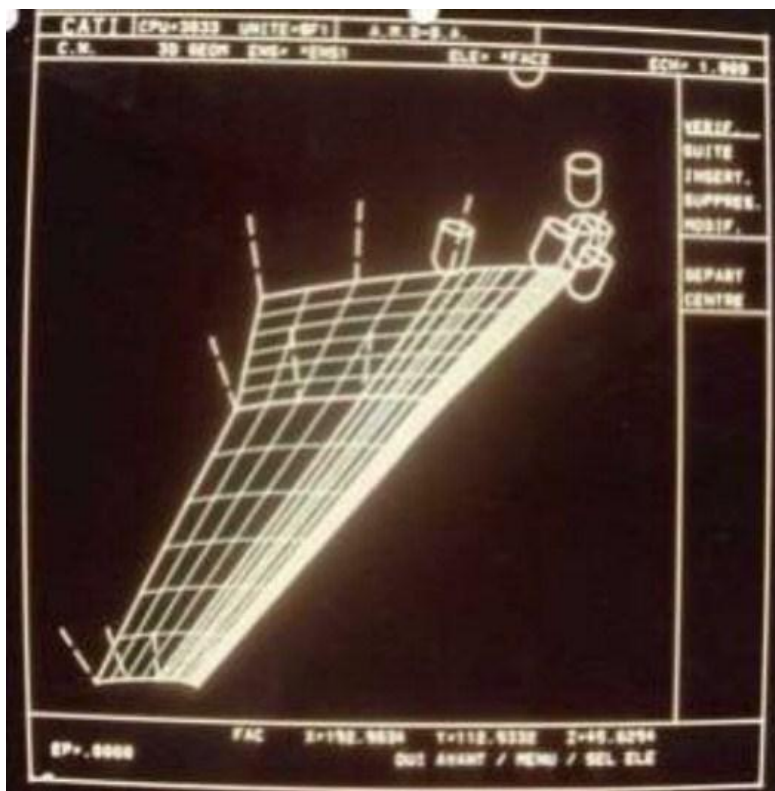
CATIA подржава више фазе развоја производа, укључујући концептуализацију, дизајн (CAD), инжењеринг (CAE), и производњу (CAM). Олакшава заједнички инжењеринг широм дисциплина укључујући дизајн електронских, електричних и дистрибутивних система као што су течности, системи за вентилацију и климатизацију, све до израде документације за производњу.

Процес конструисања у CATIA – програму, обухвата разрађање тродимензионалних облика и из истих извођење дводимензионалних цртежа и планова. Додатни модули нуде DMU - прегледе, кинематику, MKE - рачунање и NC - програмирање.

CATIA V5 је моћан софтверски пакет за чије учење није потребно много времена. Један од разлога због којих је крива учења веома кратка је тај да се пакет заснива на коришћењу Windows оперативног система и окружења које је дефинисано овим оперативним системом, а да су све операције у различитим радним просторима, палетама алатки и алатима, заправо, изводе на идентичан начин. На основу стечених основних знања о неком конкретном радном простору, исти поступак се примењује и приликом извођења много сложенијих операција. Неколико истих алата се користи у већем броју радних простора овог програма.

1. Историја развоја програма CATIA

Програм CATIA је развила компанија Dassault Systèmes осамдесетих година прошлог века, и веома брзо је постала индустријски лидер. CATIA V5 верзија програма се умногоме разликује од V4 и претходних верзија овог програма, пошто је испрограмирана тако да користи могућности MS Windows оперативног система, уз очување моћи и стабилности коју пружа UNIX оперативни систем. Пројектанти који користе CATIA V5 верзију програма нису ограничени могућностима софтвера, већ само сопственим способностима да тај софтвер користе на одговарајући начин. CATIA V5 је инжењерски пакет који ће увести индустрију у свет управљања животним циклусом производа.[1]



Слика 1. Изглед CATI интерфејса 1967. Године



Слика 2. Изглед CATIA интерфејса данас

2. CATIA V5 конфигурација

CATIA V5 се може користити на три различите платформе. Платформа дефинише техничке могућности. У оквиру сваке платформе постоје различити алати које нуди апликација. Ови алати садрже радне просторе који су организовани у категорије, зависно од области примене. NC Manufacturing група алата садржи радне просторе који подржавају NC апликације као што су Lathe Machining, Prismatic Machining и Surface Machining. Радни простори садрже палете са алаткама и алате који су специфични за одређени радни простор. Метафорички гледано, продавница дрвенарије садржи алате за обраду дрвета, док завривачка радња садржи алате за заваривање. Слично је и са радним просторима у програму CATIA V5.[1]

3. CATIA V5 платформе

CATIA V5 је конфигурисана у три различите платформе. Платформе P1, P2 и P3 означавају пројектни ниво који је доступан кориснику.

P1 платформа је основна платформа намењена мањим компанијам, којима нису неопходни алати оријантисани ка процесима. Функционалност је сведена на алате за пројектовање.

P2 платформа обезбеђује сложеније алате за пројектовање, као и додатне алате оријентисане ка процесима. Алати оријетисани ка процесима су потпуно изменљиви и скалабилни.

P3 платформа изгледа исто као и P2 платформа, и пружа исте функционалности, али се може додатно подешавати како би се програм боље примењивао у конкретној индустрији (веома специјализована платформа).[1]

4. CATIA V5 алати апликације

Алатима апликације се може приступити тамо где се налазе сви радни простори (тамо где су организовани). Да би се приступило алатима апликације, отвара се Start мени, који ће приказати све алате апликације. Број расположивих алата апликације зависи од платформе и лиценцираног пакета.[1]

Алати апликације који представљају P2 платформу и ED2 лиценцирани пакет:



Infrastructure алати



Mechanical Design алати



Shape алати



Analysis & Simulation алати



Machining алати



Digital Mockup алати



Knowledge алати

5. Кинематска анализа (DMU Kinematics)

Део програмског пакета CATIA, под називом Digital Mock Up, садржи модул DMU Kinematics, у коме се могу изводити динамичке симулације везане за кинематику.

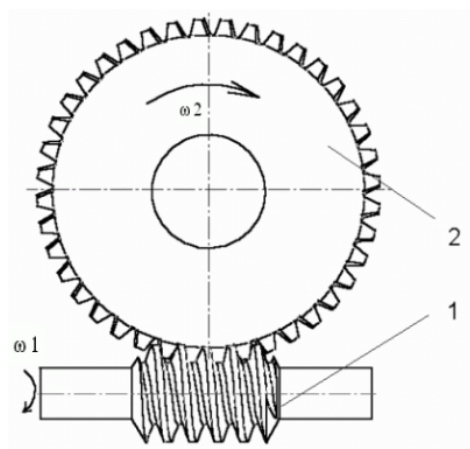
Корисник мора познавати основне врсте спојева и ограничења степена слободе која ти спојеви уносе у системе, како би могао ефикасно креирати разне механизме у модулу DMU Kinematics. Чврсто тело у простору може се транслаторно кретати у три ортогонална правца (најчешће се означавају са x , y и z) и ротирати око сваке од тих оса (те ротације се у енглеском језику често означавају као roll, pitch и yaw, респективно). Другим речима, чврсто тело у простору поседује шест степени слободе, три транслаторна и три ротациона.[2]

6. Пужни пар

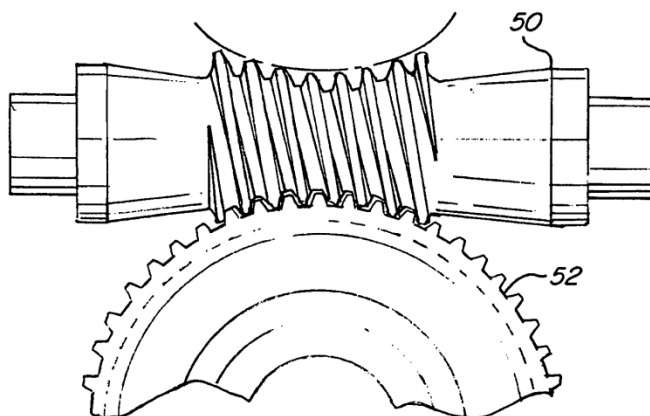
Пужни пар је хиперболоидни зупчасти пар код кога се осе зупчаник међусобно мимоилазе најчешће под углом од 90° . Мањи зупчаник се назива пуж и налик је навојном вретену. Већи се назива пужним зупчником чији је облик прилагођен пужу. Положај пужа и пужног зупчника је симетричан у односу на зједничку осу обртања, и у току спрезања бокови њихових зубаца имају линијско додиривање.[3]

Пуж је најчешће погонски део преносника и тада, при преносу кретања, врши се редукција броја обртаја. Погонски део преносника може бити и пужно коло ако је потребна мултипликација броја обртаја. Пужни преносници се ређе користе као мултипликатори јер су вредности степена искоришћења ниске (мање од 0,5).[4]

Према облику пужа, пужни парови могу бити цилиндрични (слика 3.) или глобоидни (слика 4.).

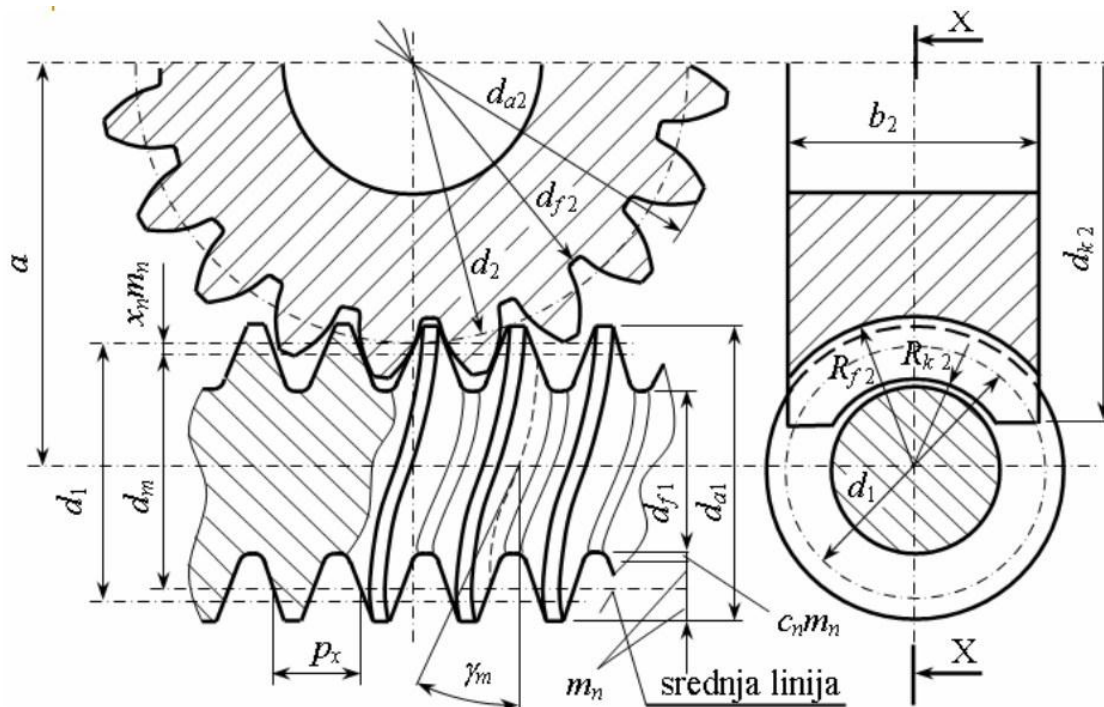


Слика 3. Цилиндрични пужни пар



Слика 4. Глобоидни пужни пар

На слици 5. су приказане геометријске величине цилиндричног пужног пара,



Слика 5. Геометријске величине цилиндричног пужног пара

где су:

m_n – модул у нормалном пресеку

γ_m – угао нагиба завојнице

d_m – пречник средњег круга

d_1, d_2 – пречници подеоних кругова

d_{a1}, d_{a2} – пречници темених кругова

d_{f1}, d_{f2} – пречници подножних кругова

d_{k2} – пречник цилиндричног дела темене површине пужног зупчаника

a – осно растојање

$x_n m_n$ – померање профила

$c_n m_n$ – стандардни профил

b_1 – дужина пужа

b_2 – ширина пужног зупчаника

p_x – аксијални корак пужа и подеони корак пужног зупчаника

6.1. Прорачун цилиндричног пужног зупчастог пара

Задате вредности величина:

$m = 8 \text{ mm}$ - стандардни модул,

$z_1 = 2$ – број ходова завојног пужа,

$u = 19$ – кинематски преносни однос,

$q = 10$ – пужни број,

$x_1 = x_2 = 0$ – коефицијент померања профила.

Број зубаца пужног зупчаника, на основу датог преносног односа и броја ходова пужа, је:

$$z_2 = u \cdot z_1 = 38$$

Угао нагиба завојнице пужа на средњем цилиндру пужа:

$$\operatorname{tg} \gamma_m = \frac{z_1}{q} = 0,2 \rightarrow \gamma_m = 11,31^\circ$$

Модул у нормалном пресеку:

$$m_n = m \cdot \cos \gamma_m = 7,852 \text{ mm}$$

Пречници подеоних кругова пужа и пужног кола:

за $x_1 = x_2 = 0$

$$d_1 = m \cdot q = 80 \text{ mm} = d_{m1}$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 304 \text{ mm} = d_{m2}$$

Пречници основних кругова пужа и пужног кола:

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha = 75,17541 \text{ mm} \rightarrow d_{b1} = 75 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 285,6666 \text{ mm} \rightarrow d_{b2} = 286 \text{ mm}$$

где је $\alpha = 20^\circ$ - стандардни профил

Осно растојање:

$$a = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = 192 \text{ mm}$$

Пречници темених кругова:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 96 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 320 \text{ mm}$$

Пречници подножних кругова:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot (m + c) = 60,8 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (m + c) = 284,8 \text{ mm}$$

где је $c = 0,2 \cdot m = 1,6 \text{ mm}$

Пречник цилиндричног дела темене површине пужног зупчаника:

$$d_{k2} = d_{a2} + m = 328 \text{ mm}$$

Дужина пужа:

$$b_1 \approx \sqrt{d_{a2}^2 + d_2^2} \approx 100 \text{ mm}$$

Ширина пужног зупчаника:

$$b_2 = 2 \cdot m \cdot (0,5 + \sqrt{q + 1}) \approx 61 \text{ mm}$$

Аксијални корак пужа и подеони корак пужног зупчаника:

$$p_a = m \cdot \pi = 25,1327 \text{ mm} = p$$

Корак у нормалном пресеку, односно, нормални корак:

$$p_n = m_n \cdot \pi = p_a \cdot \cos \gamma_m = 24,66778 \text{ mm}$$

Лучна дебљина зуба на подеоном кругу пужног зупчаника:

$$s = \frac{m \cdot \pi}{2} = 12,56637 \text{ mm}$$

Лучна дебљина зуба на основном кругу пужног зупчаника:

$$s_b = d_b \cdot \left(\frac{s}{d} + \text{inv} \alpha \right) = 16,0661 \text{ mm}$$

где се $\text{inv} \alpha = 0,014904$ усваја из табеле 2.2.2 из [4]

Лучна дебљина зуба на теменом кругу пужног зупчаника:

$$s_a = d_a \cdot \left(\frac{s}{d} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_a \right) = 6,032879 \text{ mm}$$

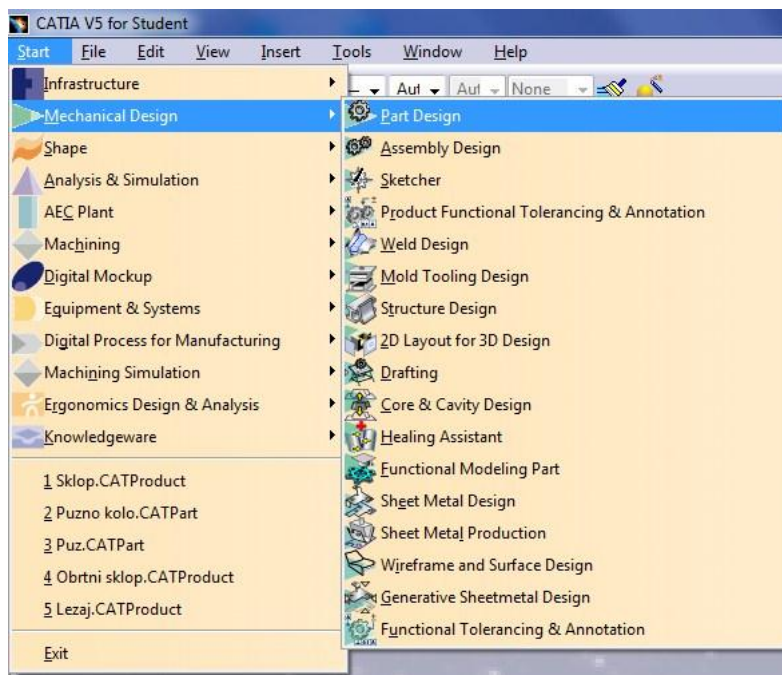
где се $\text{inv} \alpha_a = 0,035388$ усваја из табеле 2.2.2 из [4], с тим да је $\cos \alpha = \frac{d_b}{d_a}$

7. Израда 3D модела цилиндричног зупчастог пара

У овом поглављу описан је поступак израде 3D модела цилиндричног зупчастог пара помоћу CAD алата у програмском пакету CATIA V5-6R2013.

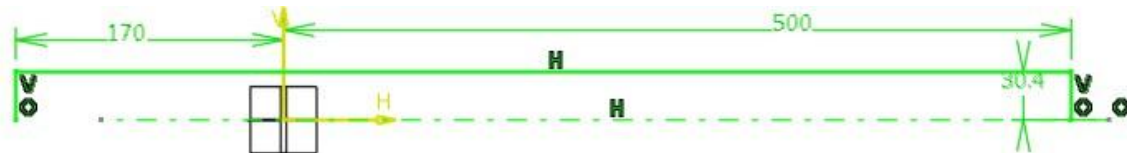
7.1. Пуж

Уласком у модул **Mechanical Design** отвара се мени за избор **Part Design** радног окружења (слика 6).



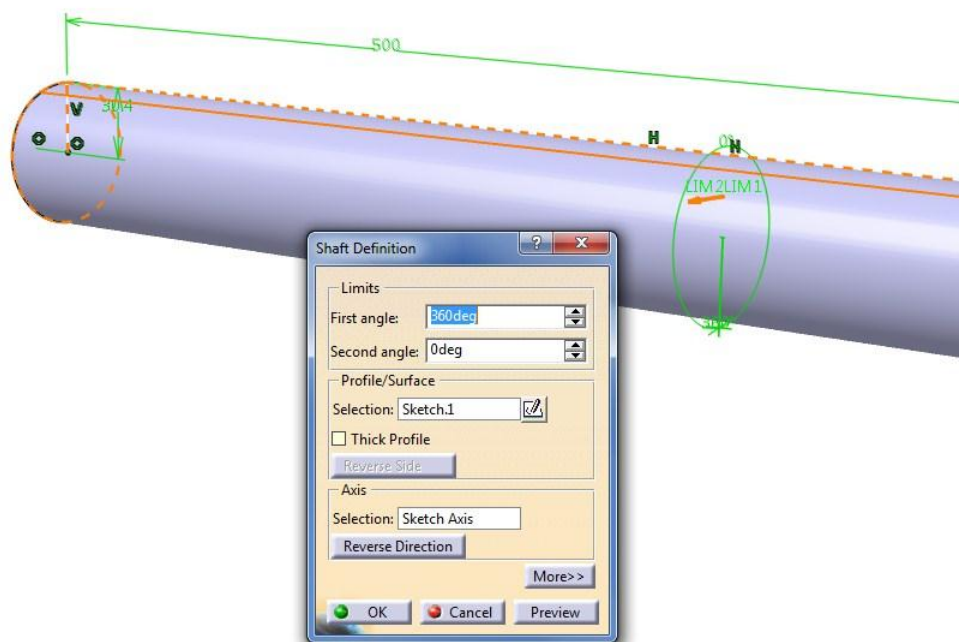
Слика 6.

Одабиром равни (препоручује се YZ ravan), потом кликом на **Sketcher** , отвара се 2D радно окружење за цртање скице (слика 7.).



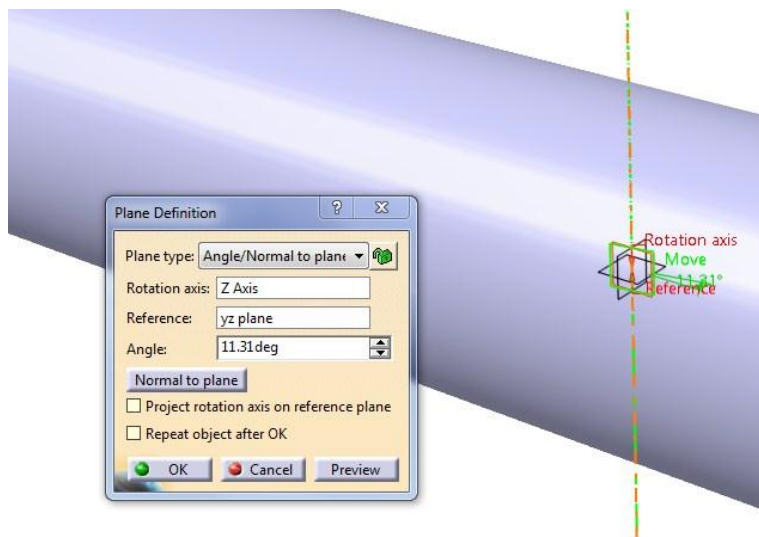
Слика 7.

Након нацртане скице изласком у 3D радно окружење опцијом **Exit Workbench** , скица се заокреће опцијом **Shaft**  око одабране осе за угао као на слици 8.



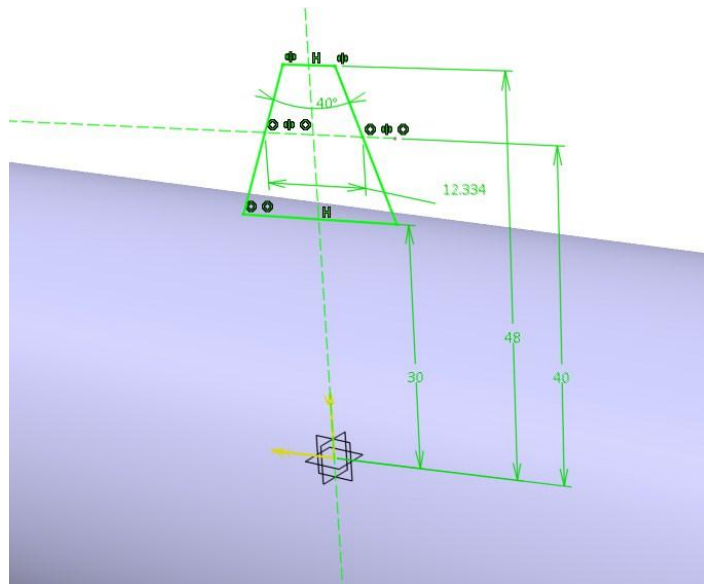
Слика 8.

Након тога, се креира нова равна опцијом **Plane**  тако што се одабиром типа равни у пољу **Plane type** одабере таква равна која омогућава њену ротацију око Z осе за угао који је дефинисан у прорачуну (слика 9.).



Слика 9.

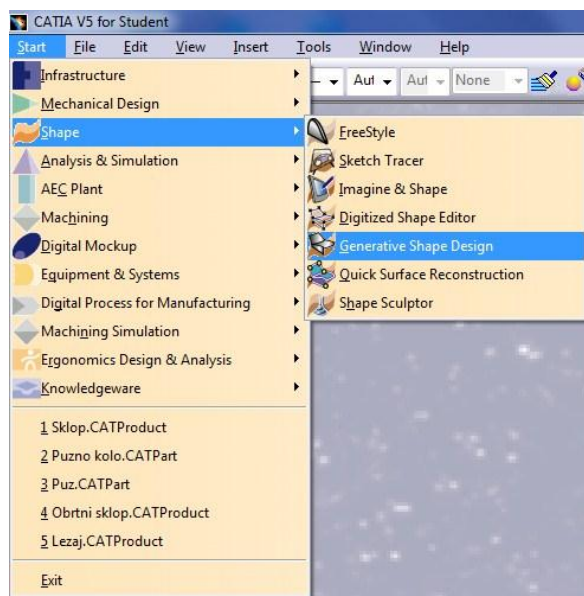
У новонасталој равни се црта скица профила навоја пужа уласком у окружење за цртање скице опцијом **Sketcher**  (слика 10.).



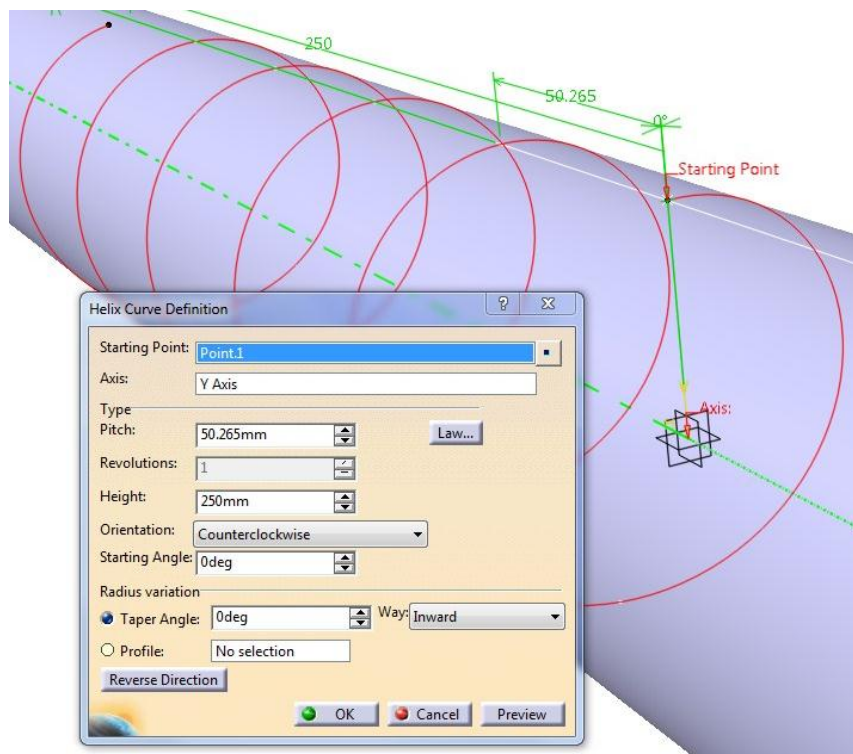
Слика 10.

Ради избегавања поновног навођења операције **Sketcher**  и **Exit Workbench**  током наредних смерница, наглашава се, да се при цртању сваке скице, првенствено мора ући у 2D окружење опцијом **Sketcher**  а по завршетку скице изаћи у 3D окружење опцијом **Exit Workbench** . Ово важи увек осим када је посебно наглашен другачији поступак (односи се на цртање жичаних елемената у 3D окружењу).

Уласком у радно окружење **Generative Shape Design** (слика 11) црта се хеликоид алатом **Helix**  тако што се одабере почетна тачка (која се налази на површини цилиндра а у равни ZX), оса хеликоида, корак увијања и дужина хеликоида као на Сlici 12.

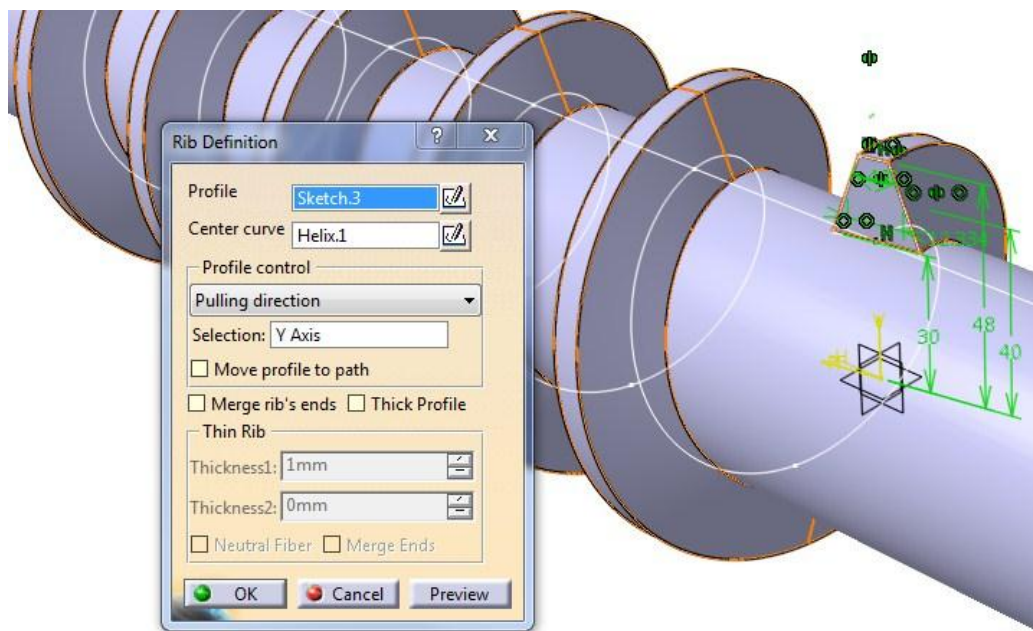


Слика 11



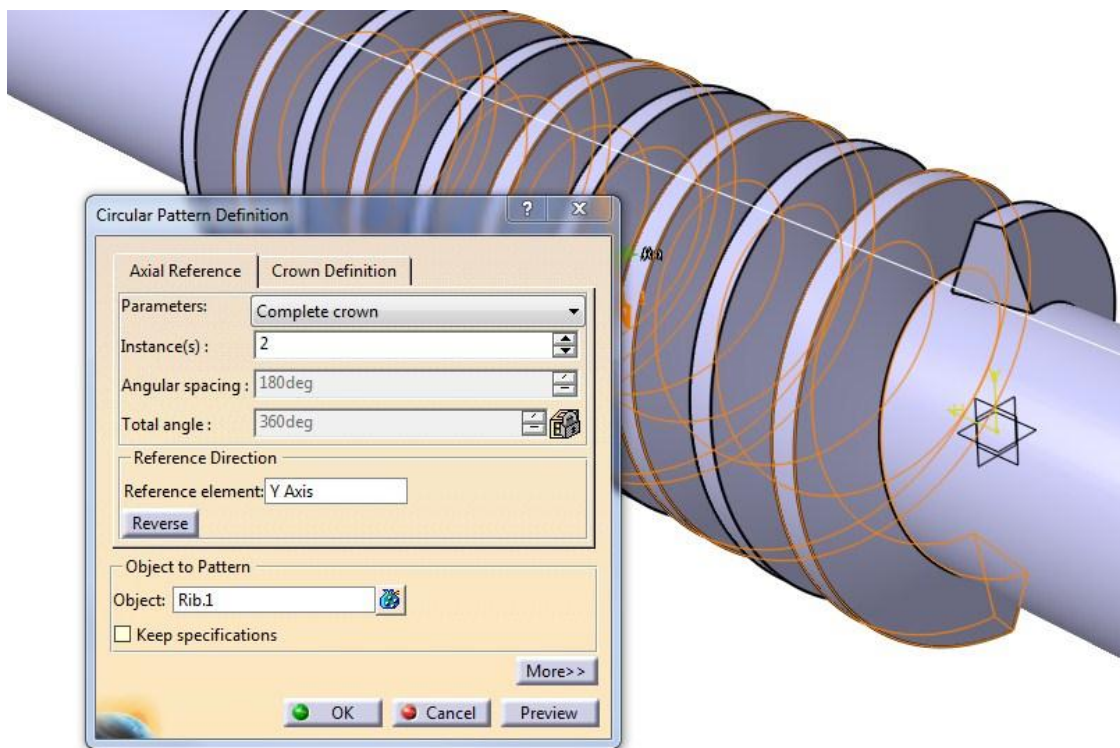
Слика 12.

Опцијом **Rib**  из **Part Design** окружења добија се навој као на слици 13, одабиром профила, криве (у овом случају хеликоид) који желимо да прати профил, **Pulling direction** у **Profile control** и дирекцију тј. уздужну осу.



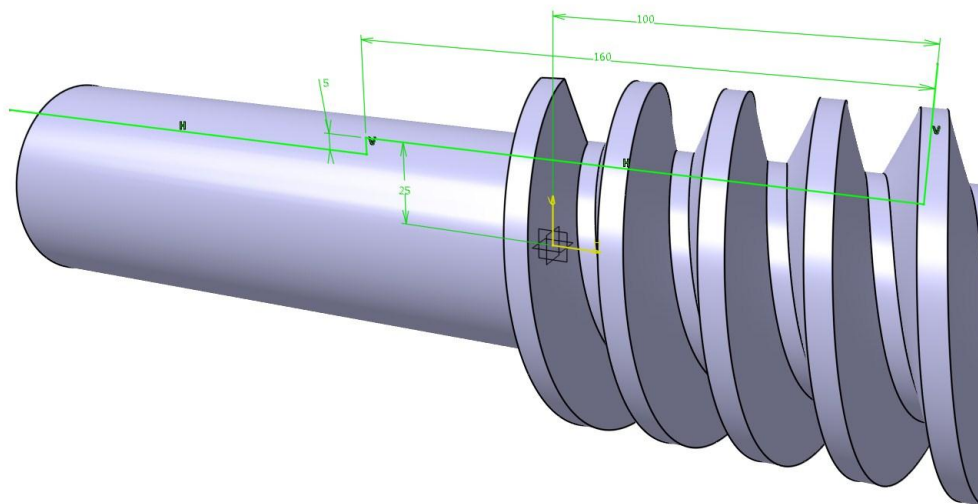
Слика 13.

Опцијом **Circular Pattern**  се добија кружна форма навоја где је потребно селектовати **Complete crown** из рубрике параметра, број жељених навоја, осу око које се врши умножавање и претходно добијени навој (слика 14).

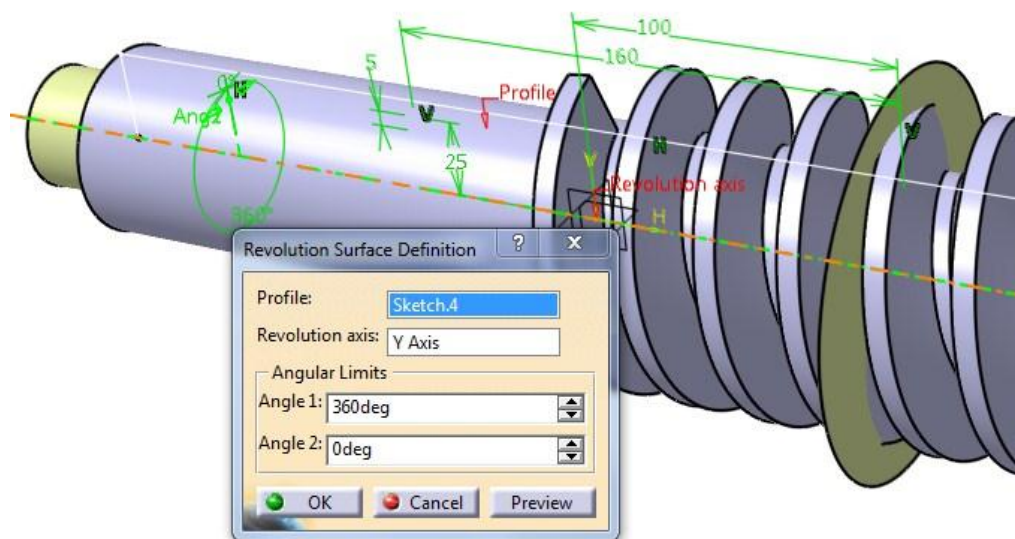


Слика 14.

У равни YZ црта се скица (слика 15) која ротацијом, помоћу опције **Revolve**  из окружења **Generative Shape Design**, око уздужне осе даје цилиндричну површину (слика 16).

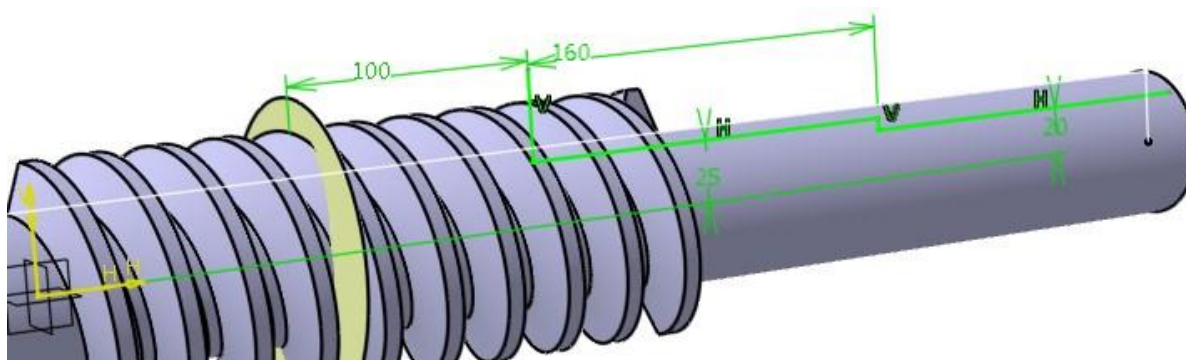


Слика 15.

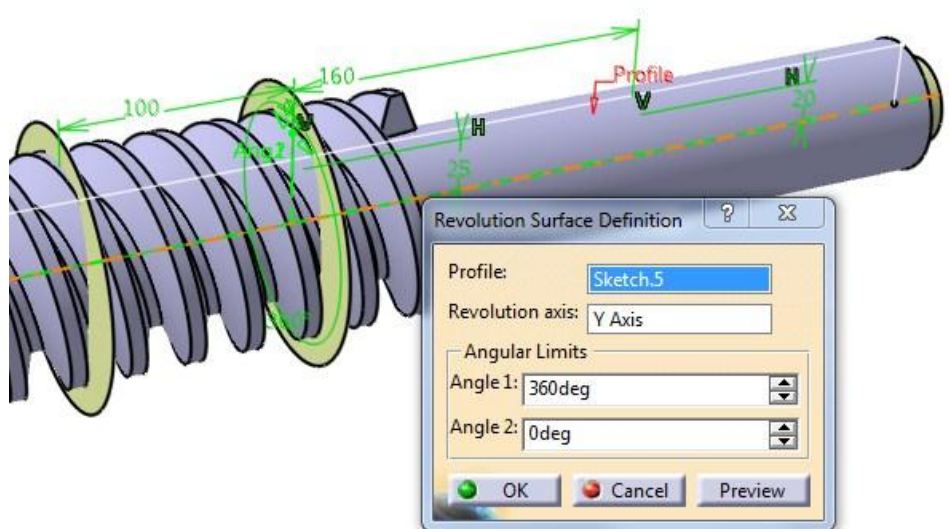


Слика 16.

Исти поступак применимо и на скици на другом крају пуџа (слика 17, слика 18).

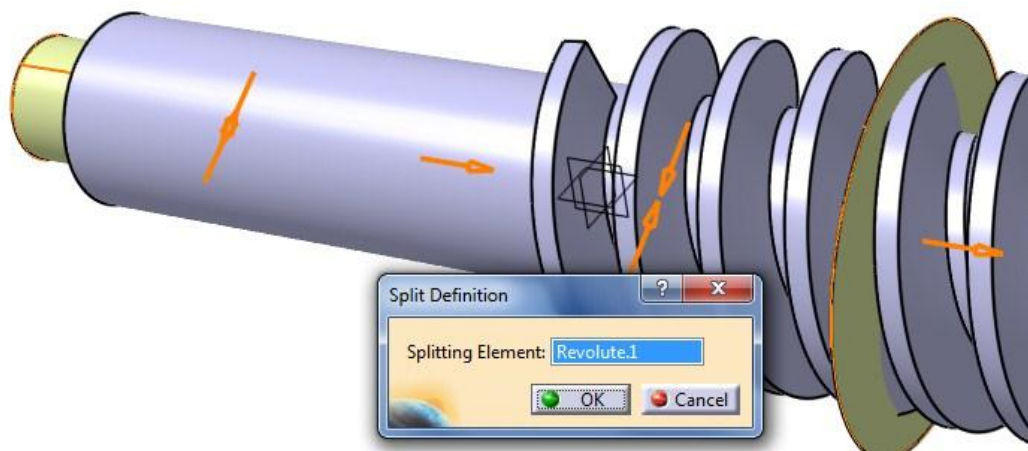


Слика 17.

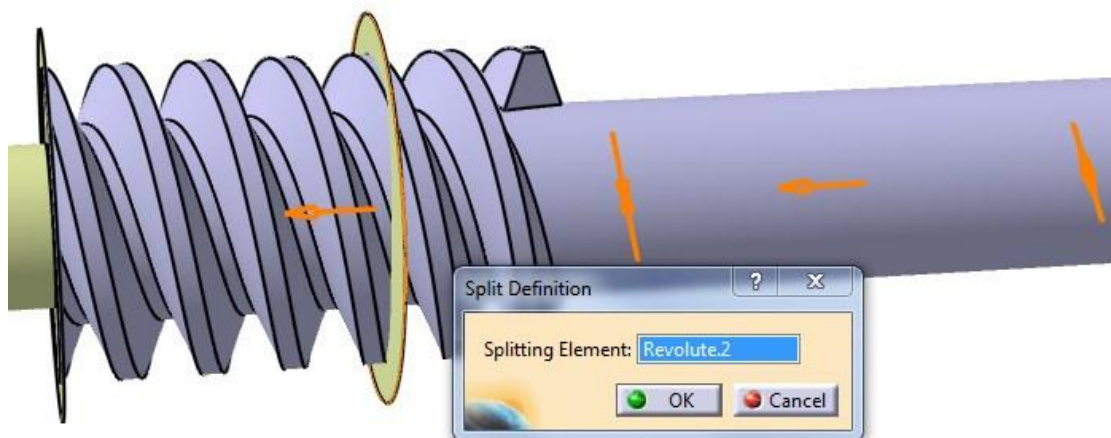


Слика 18.

Опцијом **Split**  се отклања материјал тако што се одабере раван којом се жели извршити опсецање и вектори усмере ка материјалу који остаје након опсецања (слика 19 и слика 20).

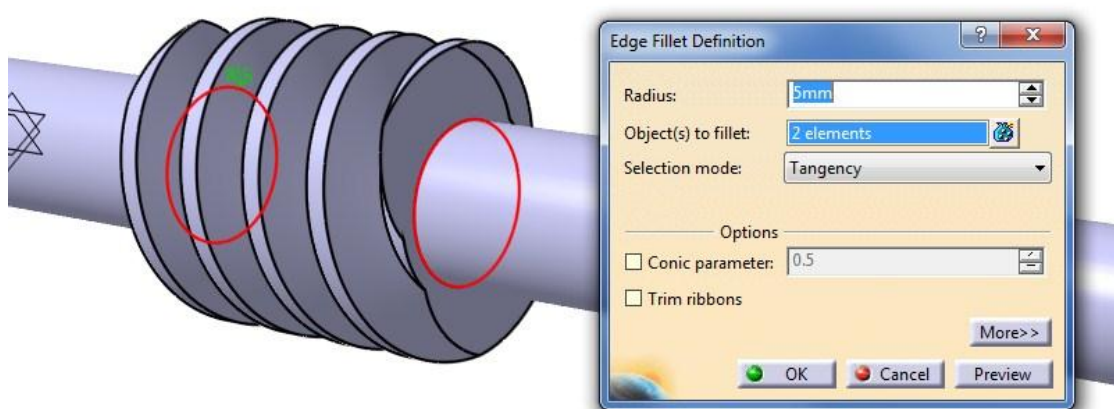


Слика 19.

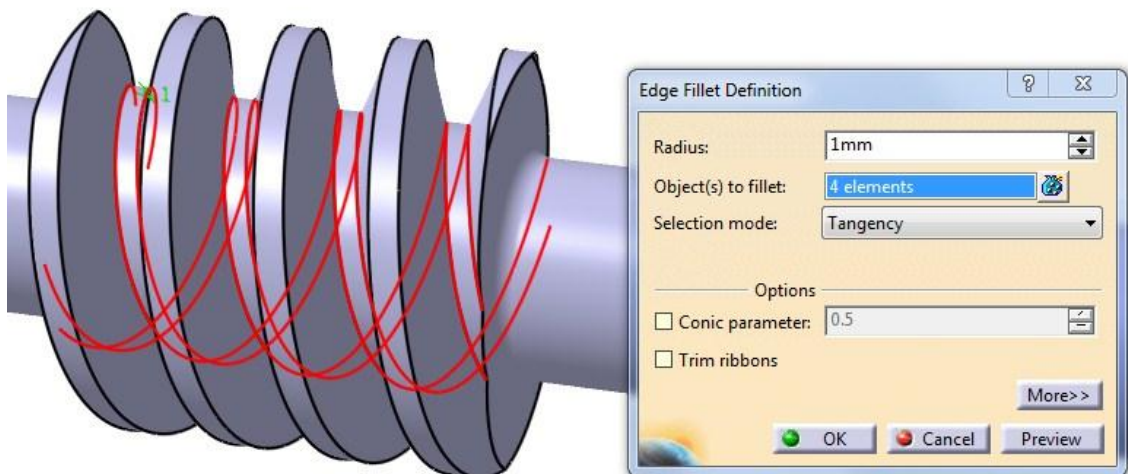


Слика 20.

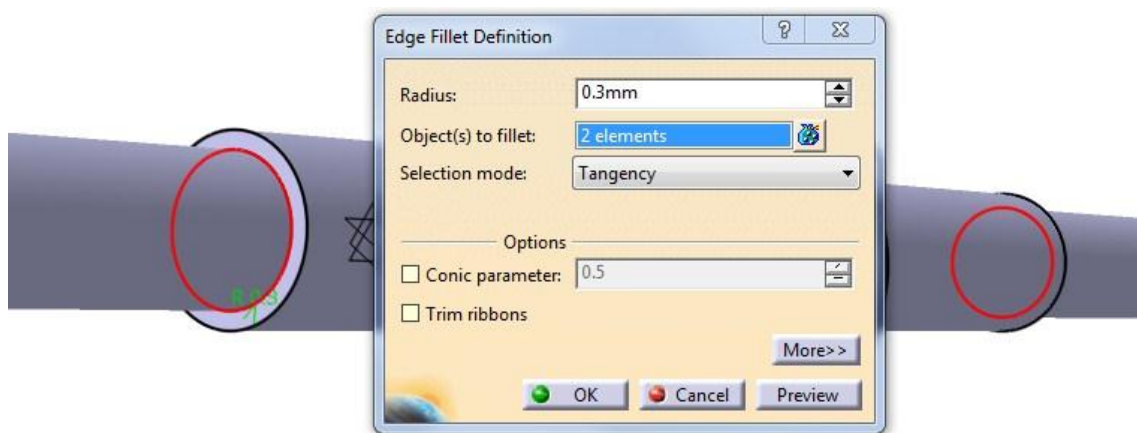
Опцијом **Edge Fillet**  заобљавају се селектоване ивице за дефинисану вредност (слика 21., слика 22. и слика 23.).



Слика 21.

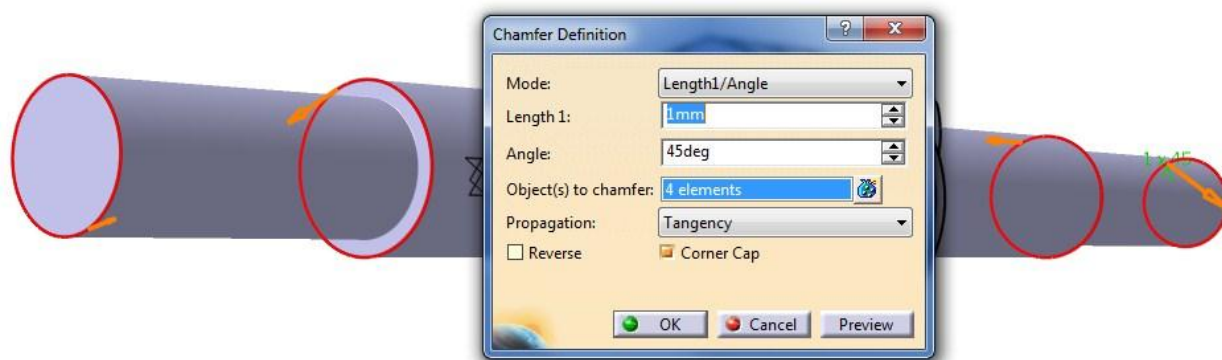


Слика 22.



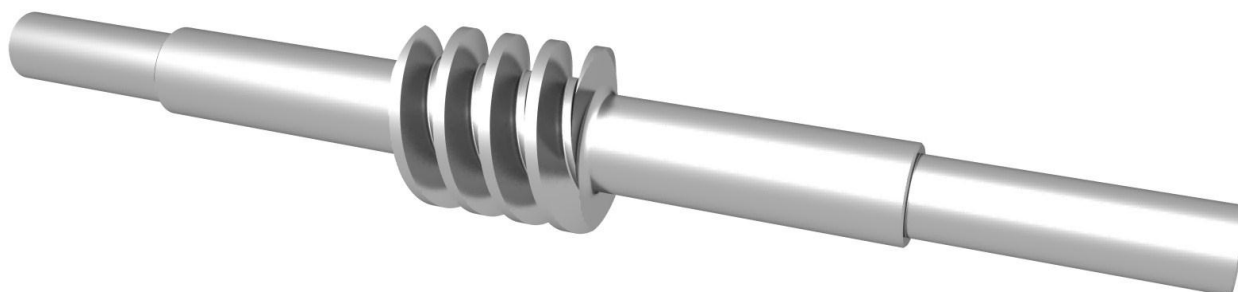
Слика 23.

Последња операција која се врши на овом моделу је обарање селектованих ивица помоћу опције **Chamfer** (слика 24.).



Слика 24.

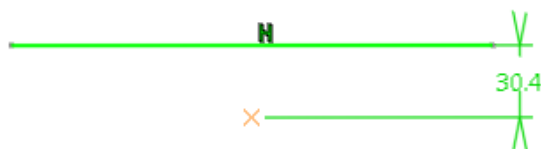
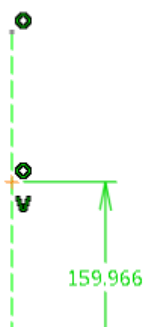
Финални изглед пужа је приказан сликом 25.



Слика 25.

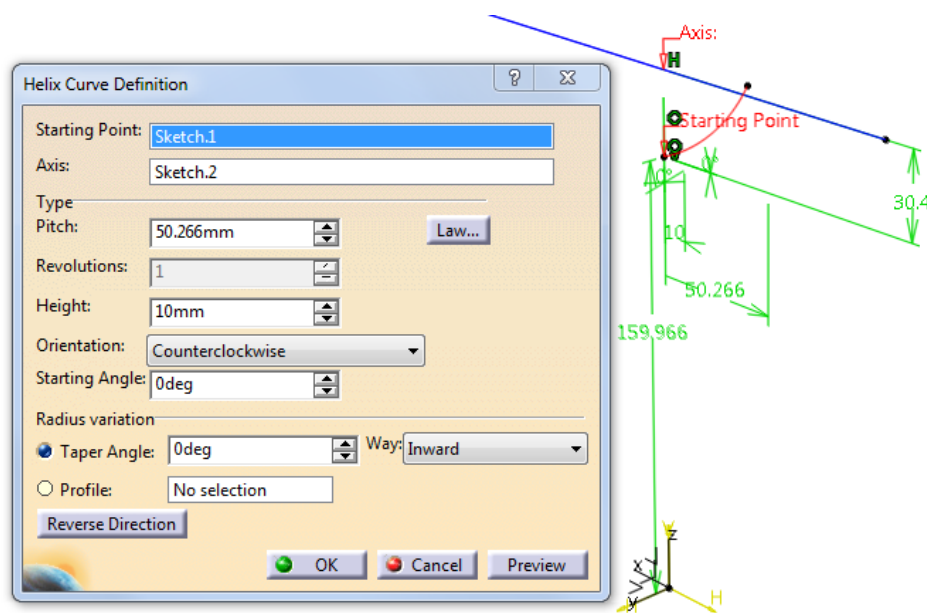
7.2. Пужни зупчаник

Првенствено се креира тачка у равни ZX која је коинцидентна са вертикалном осом а од хоризонталне осе удаљена за вредност приказаној на слици 26. Потом се у истој равни али другој скици црта хоризонтална линија удаљена по вертикали од дефинисане тачке за вредност као на слици 27.



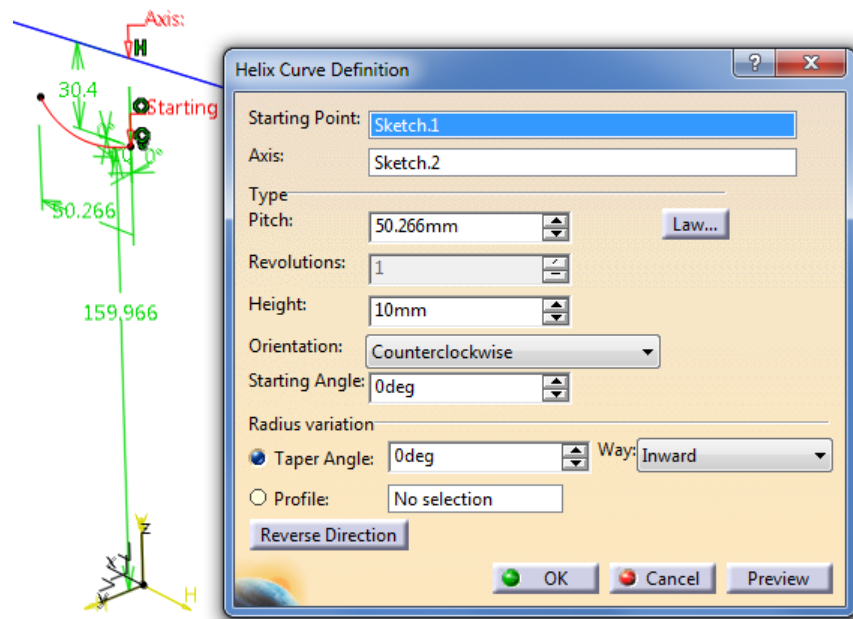
Слика 26. (лево); Слика 27. (десно)

Ове две скице представљају почетну тачку и осу хеликоида који се креира опцијом **Helix**, са кораком увијања чија је вредност једнака кораку увијања пужног навоја и пужином чија је вредност приказана на слици 28.



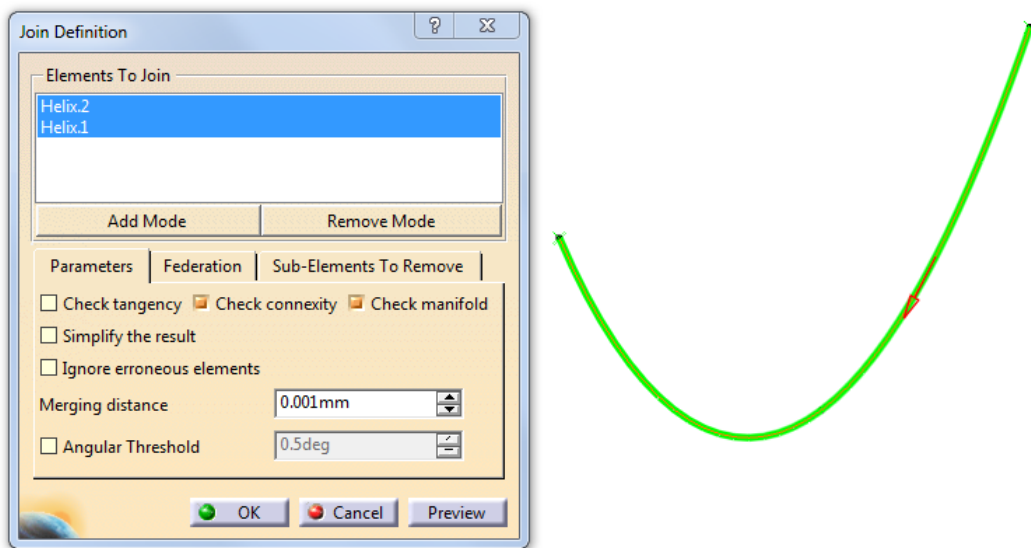
Слика 28.

Истим поступком се креира још један хеликоид са заједничком осом и почетном тачком само супротне дирекције која се постиже кликом на **Reverse Direction** (слика 29.).



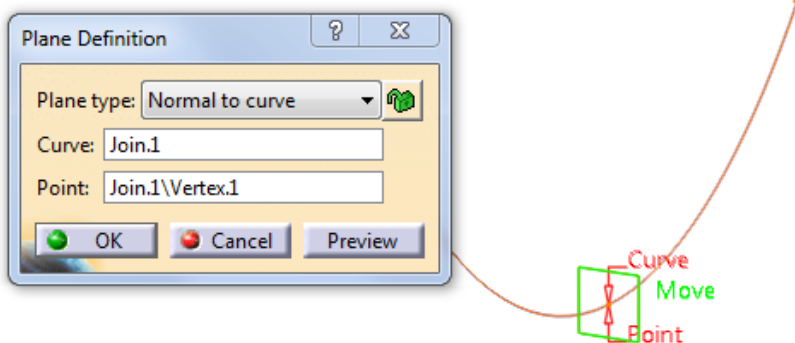
Слика 29.

Опцијом **Join**  из окружење **Generative Shape Design** се удружују ова два хеликоида у један (слика 30) који представља вођицу профила зуба зупчаника.



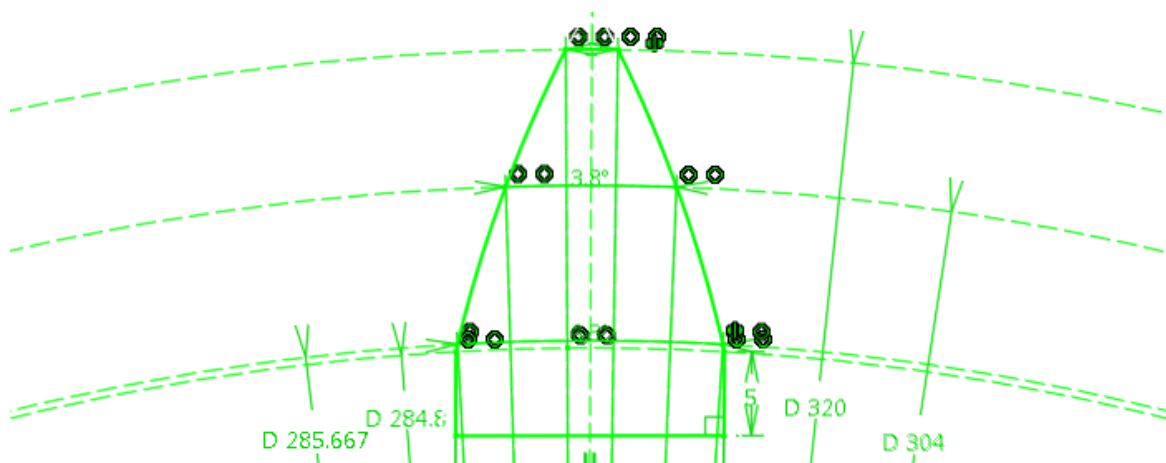
Слика 30.

Креирање нове равни у којој се црта профил зуба се добија опцијом **Plane** , тако што се у рубруци за тип равни одабере **Normal to curve** и селектије крива у односу на коју је новонастала раван нормална, и почетну тачку хеликоида који чине ту криву (слика 31.).



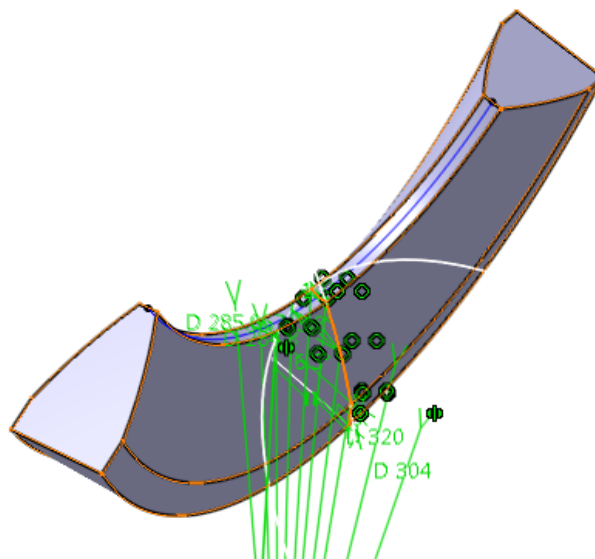
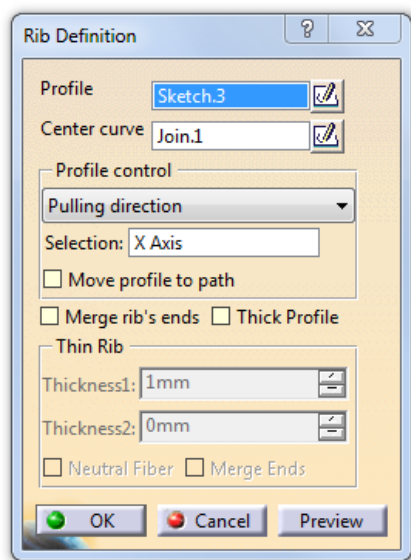
Слика 31.

У новонасталој равни се црта профил зуба чија је геометрија и вредности дужинских величина дефинисани прорачуном (слика 32.). Кружнице које су представљене испрекиданим линијама су кружнице, подножног, основног, подеоног и теменог круга зупчаника, са заједничким центром у нултој тачки координатног система.



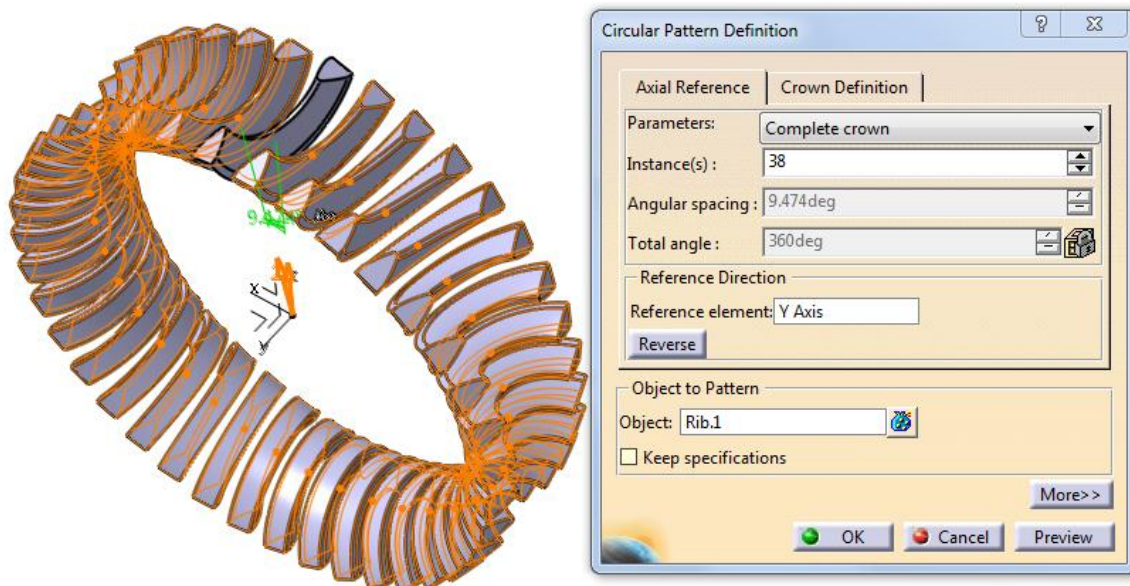
Слика 32.

Опцијом **Rib**  у **Part Design** окружењу добија се зуб зупчаника, селектовањем скице профила зуба и добијеног хеликоида и задавањем дирекције као на слици 33.



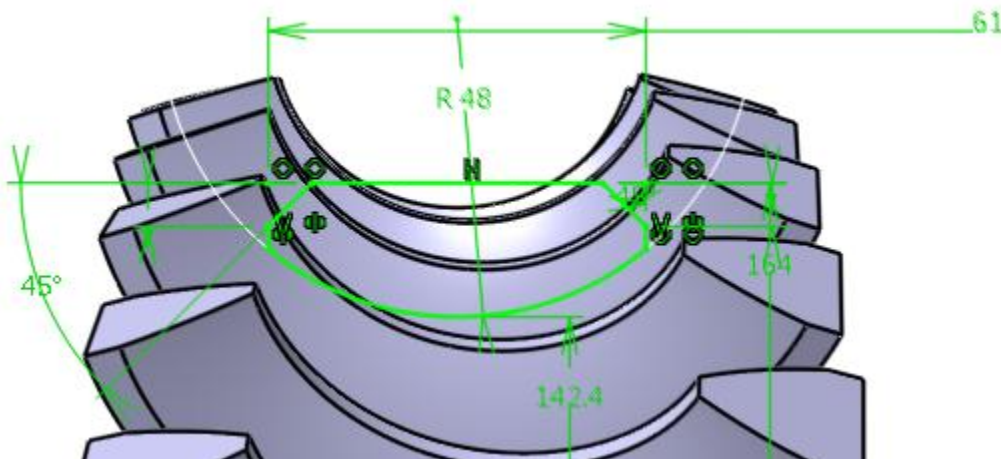
Слика 33.

Умножавањем овог зуба помоћу **Circular Pattern**  око осе зупчаника за број који је дефинисан у прорачуну и одабиром **Complete crown** у рубруци параметра, добија се изглед модела приказан сликом 34.

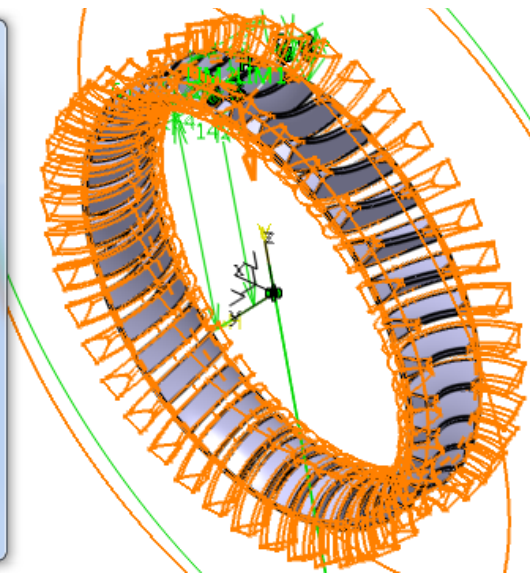
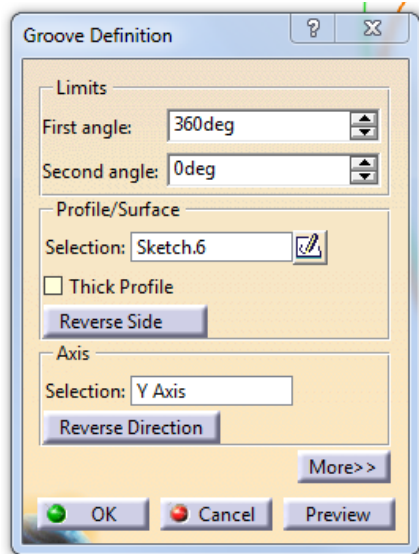


Слика 34.

У равни YZ црта се бочни профил зуба (слика 35.), чијом се ротацијом помоћу **Groove**  око осе симетрије зупчаника и одабиром (помоћу **Reverse side**) отклањане масе која се налази изван облика добијен ротацијом профила, добија облик приказан сликом 36.

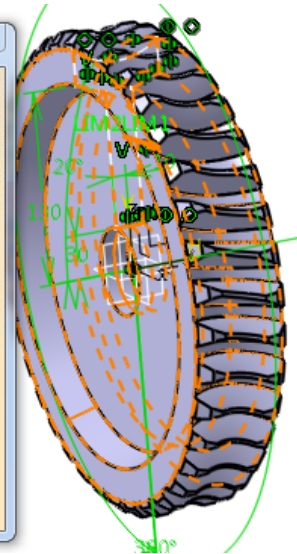
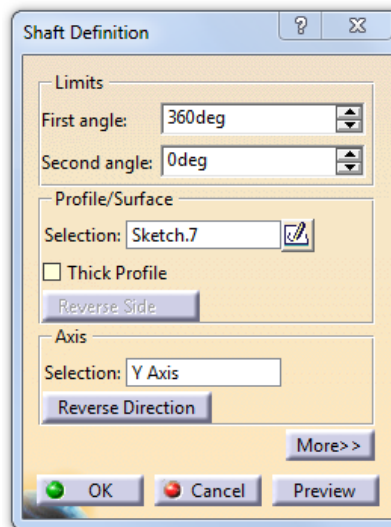
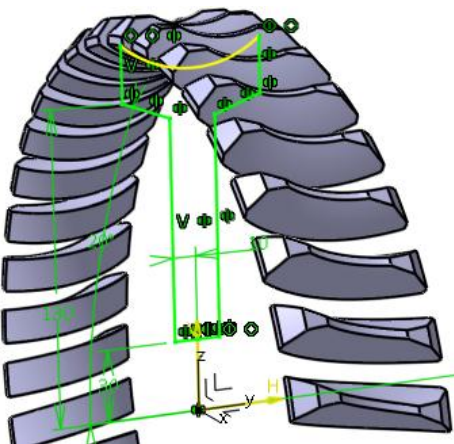


Слика 35.



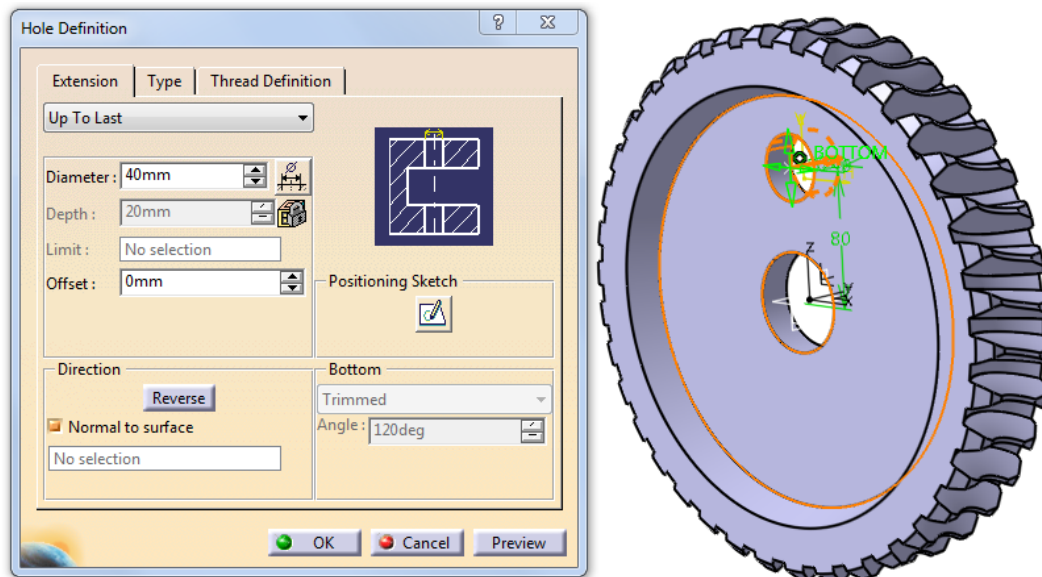
Слика 36.

Ротацијом скице цртане у истој равни (слика 37.), помоћу **Shaft**  око осе симетрије зупчаника за пун круг добија се пужни зупчаник (слика 38.).



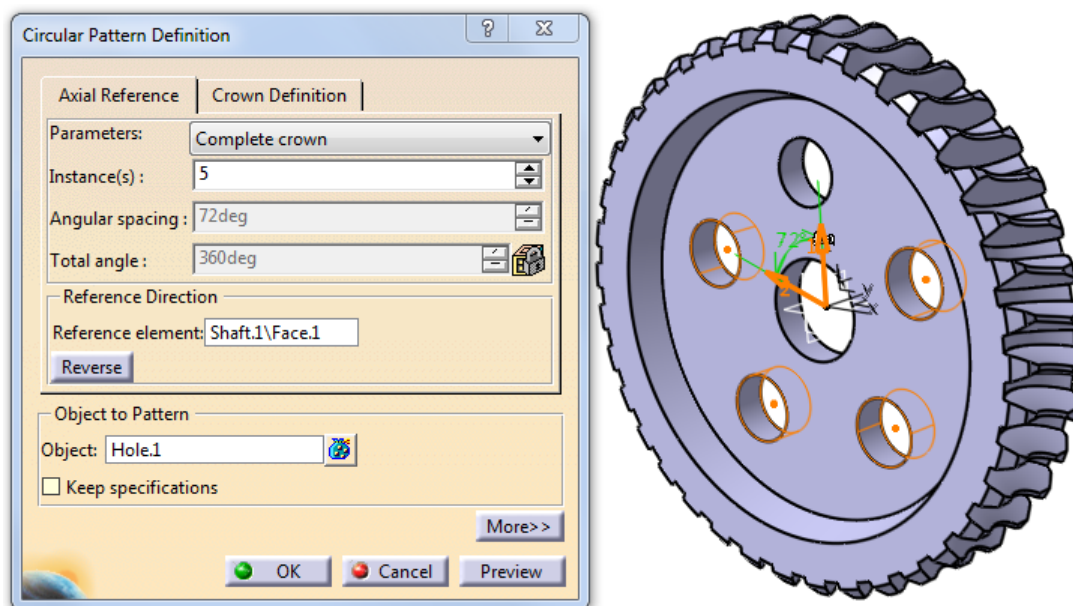
Слика 37. (лево); Слика 38. (десно)

Опцијом **Hole**  се креира отвор дефинисаног пречника на одређеном растојању од осе симетрије, тако што се одабере **Up to last** као на слици 39.



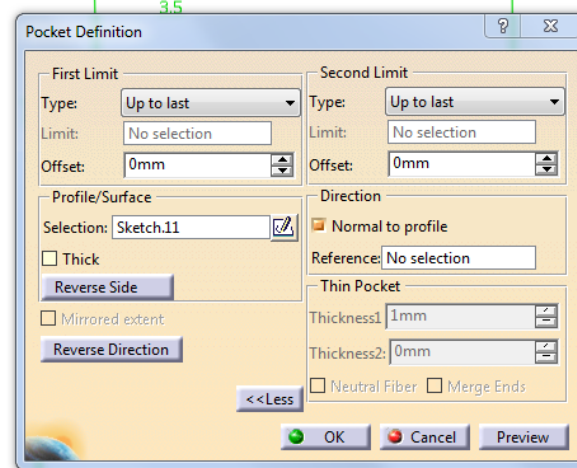
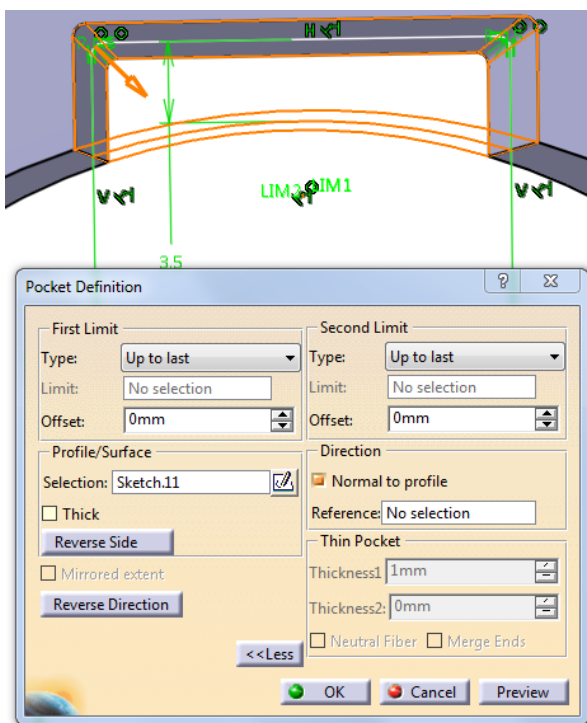
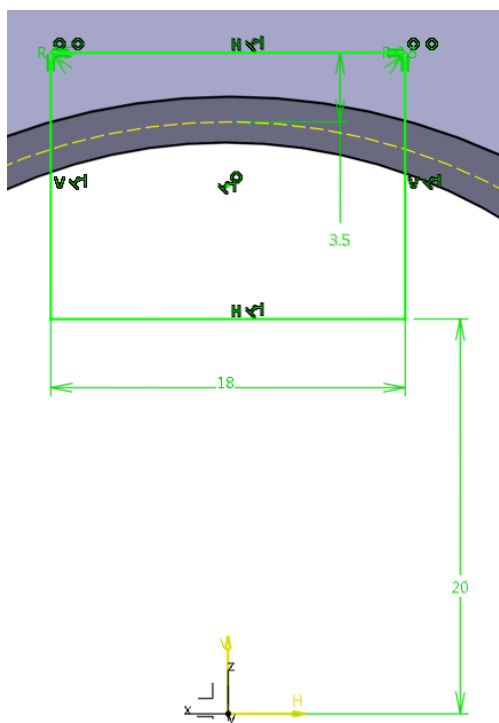
Слика 39.

Ови отвори представљају олакшања и она се умножавају око осе симетрије опцијом **Circular Pattern** , где је потребно дефинисати број отвора и одабрати **Complete crown** у рубрици параметра (слика 40.).



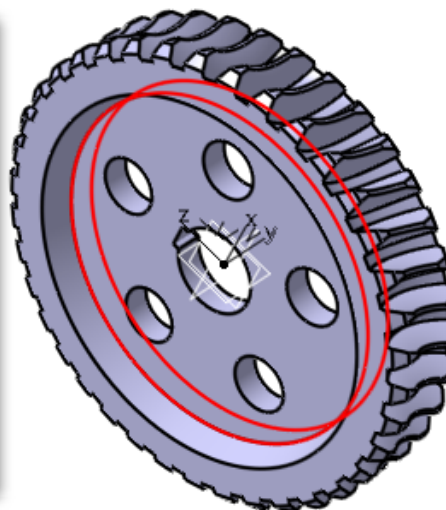
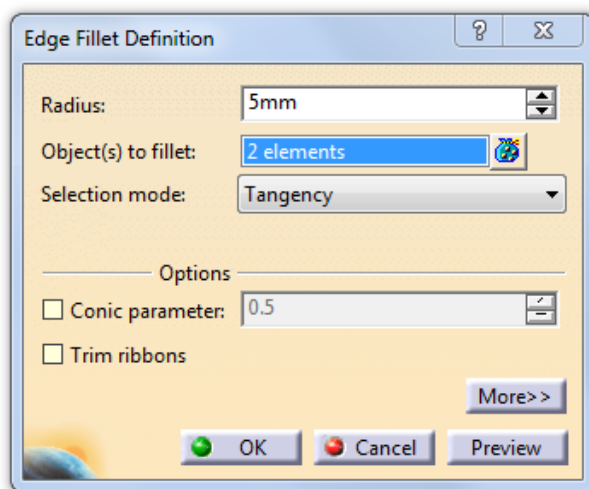
Слика 40.

На отвору на вратилу, креира се прорез за клин тако што се у равни ZX црта скица као на слици 41. и опцијом **Pocket**  врши прорезивање као на слици 42.



Слика 41. (лево); Слика 42. (десно)

Опцијом **Edge Fillet**  се заобљавају селектоване ивице (слика 43.) тако да се на крају добија пужни зупчаник приказан сликом 44.



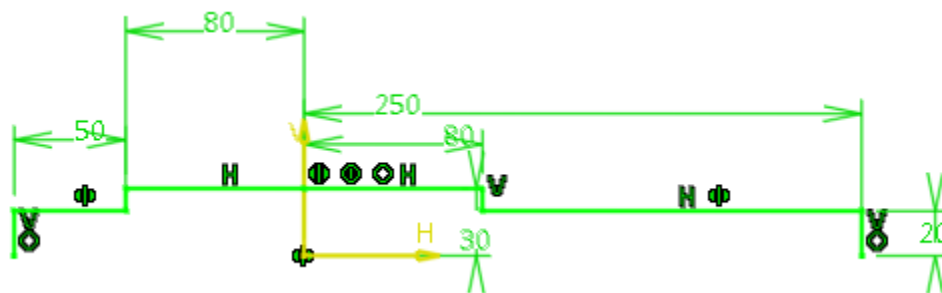
Слика 43.



Слика 44.

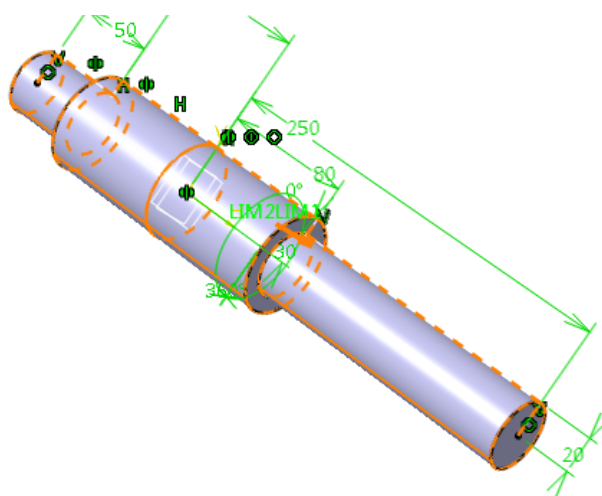
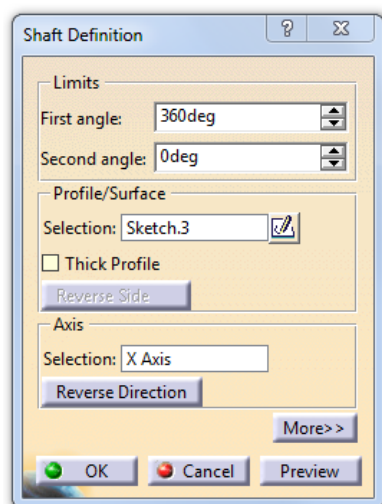
7.3. Гоњено вратило

Гоњено вратило се израђује релативно једноставније. Првенствено се у равни ZX црта скица приказана сликом 45.

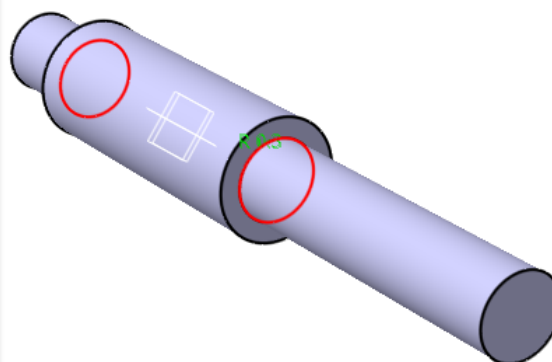
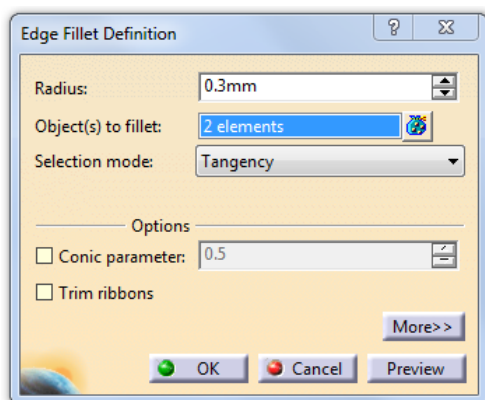


Слика 45

Опцијом **Shaft**  ова скица ротира пуним обртом око X осе и даје основу вратила (слика 46.), а затим се опцијом **Edge Fillet**  заобљавају ивице као на слици 47.

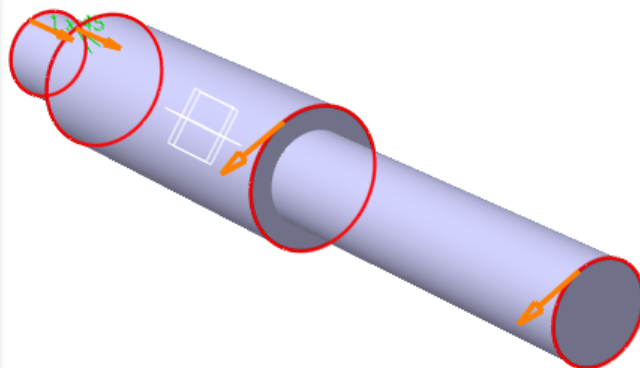
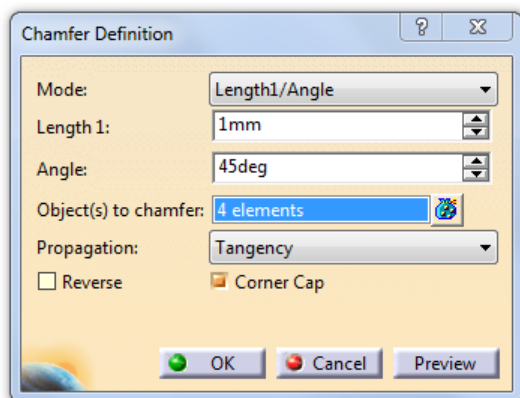


Слика 46.



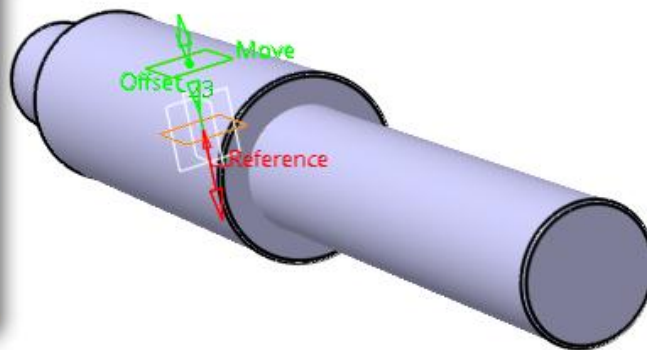
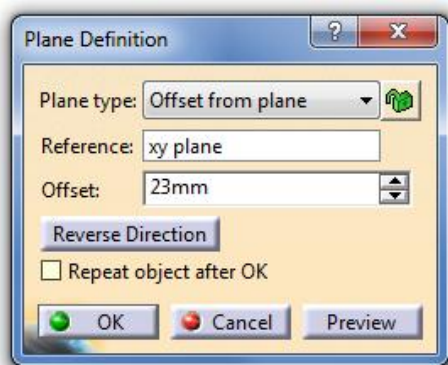
Слика 47.

Обарање селектованих ивица (слика 48.) се врши опцијом **Chamfer** .



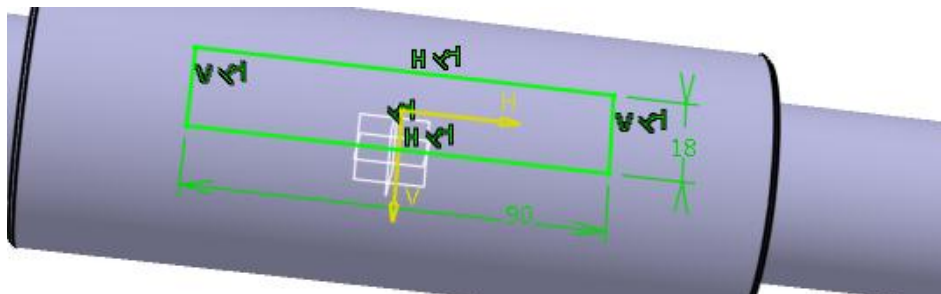
Слика 48.

Да би се направио џеп потребан за смештање клина, потребно је направити раван помоћу **Plane** тако што се у тип равни одабере **Offset from plane**, за референту раван одабере XY, и дефинише растојање као на слици 49.

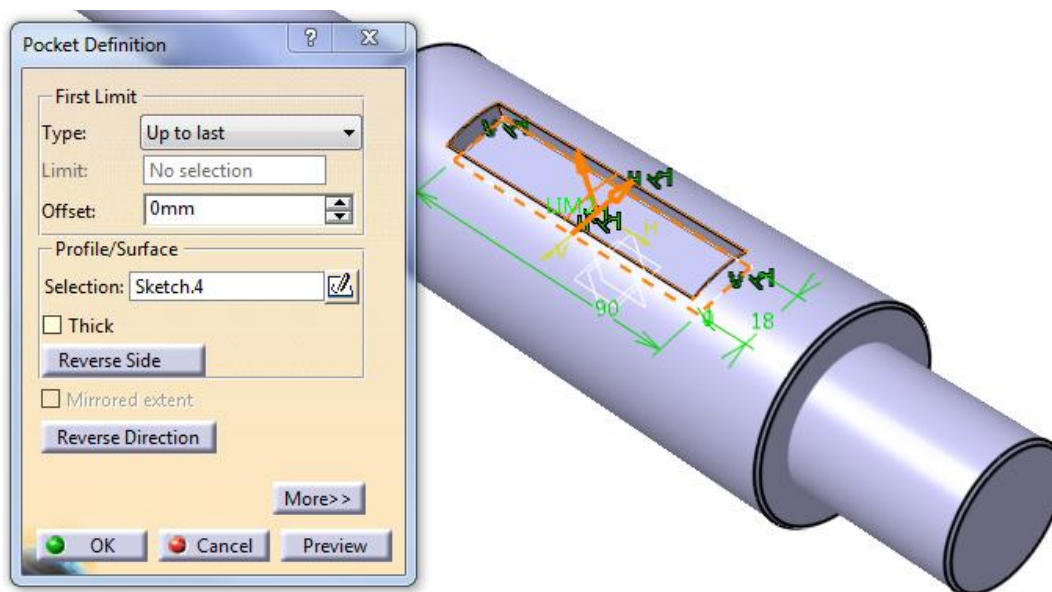


Слика 49.

У новонасталој равни црта се скица (слика 50.), која опцијом **Pocket** и одабиром **Up to last** и одговарајућим смером деловања опције, добија џеп као на слици 51.

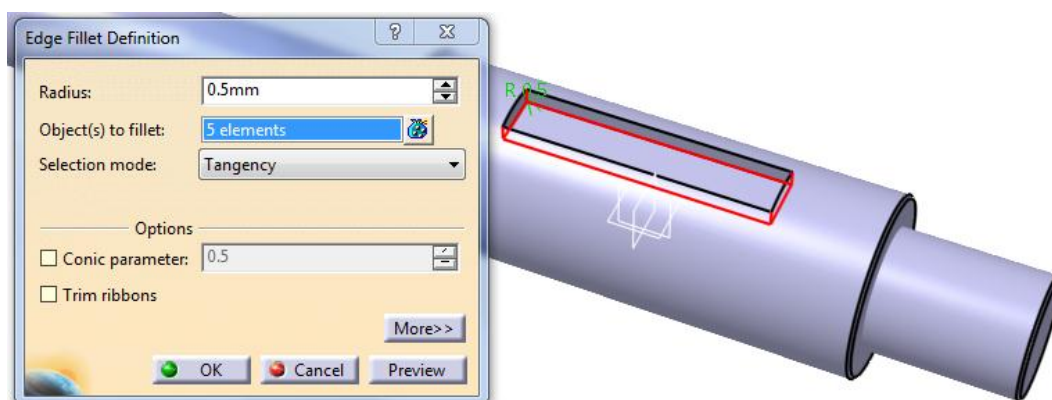


Слика 50.

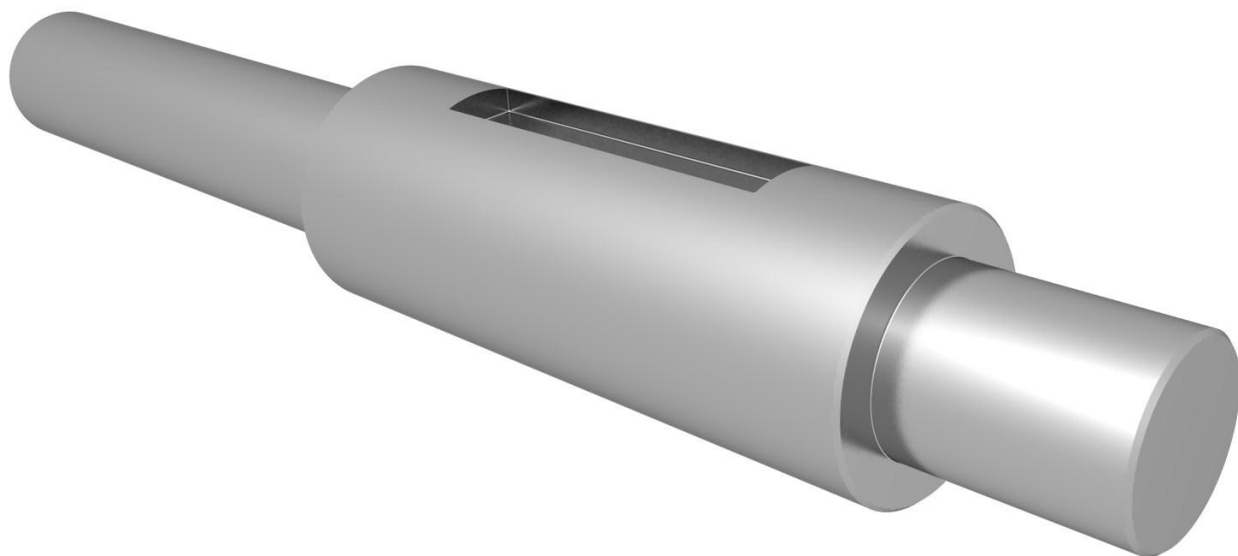


Слика 51.

Заобљење ивица унутар џепа се врши помоћу опције **Edge Fillet**  (слика 52.).



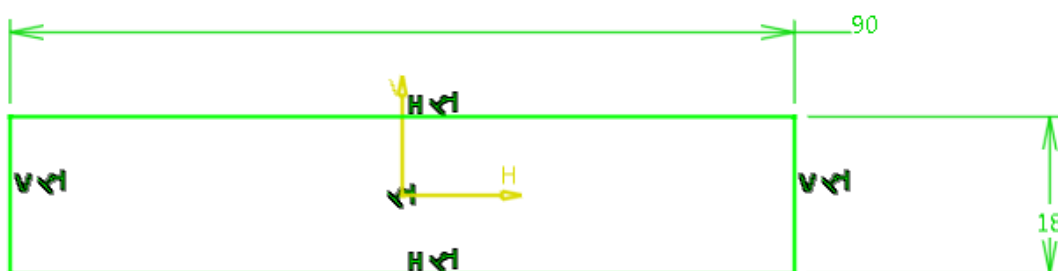
Слика 52.



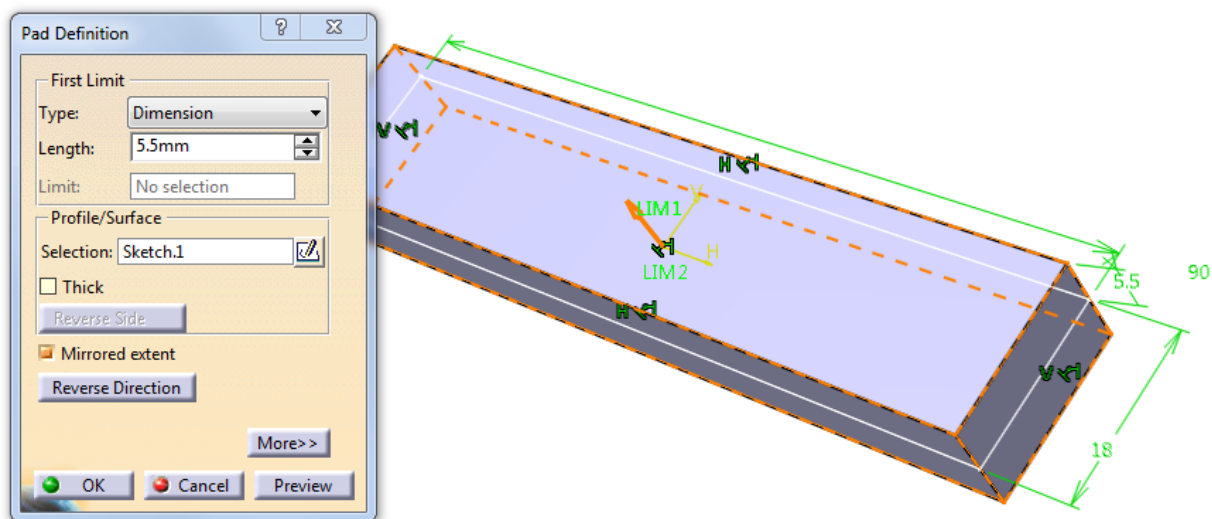
Слика 53. - Финални изглед гоњеног вратила

7.4. Клин

Цртањем правоугаоника дефинисаних димензија (слика 54.), а затим извлачењем исте опцијом **Pad**  (слика 55.) добија се клин.

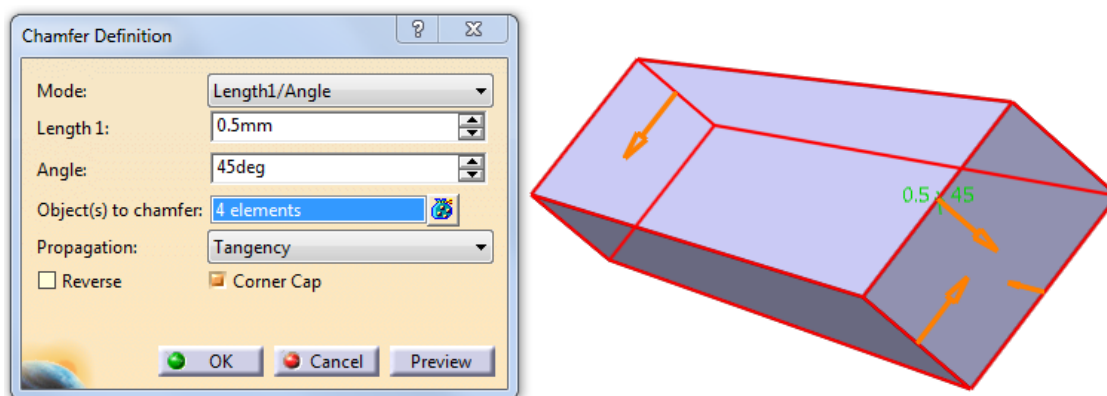


Слика 54.

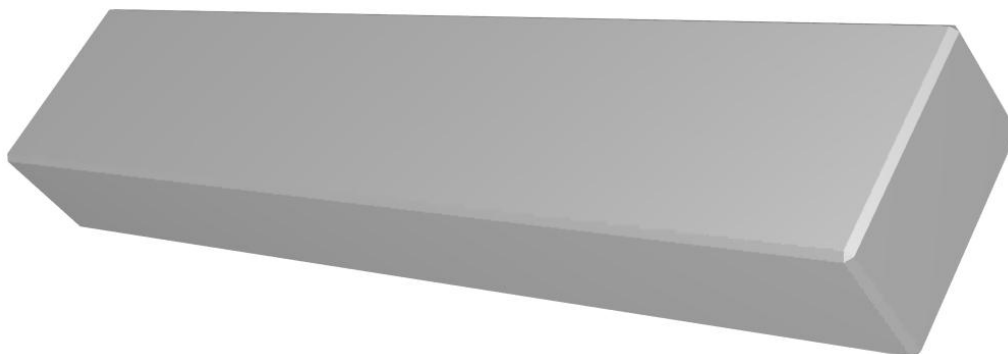


Слика 55.

Обарањем свих ивица опцијом **Chamfer** (слика 56.) добија се финални модел клина (слика 57.)



Слика 56.

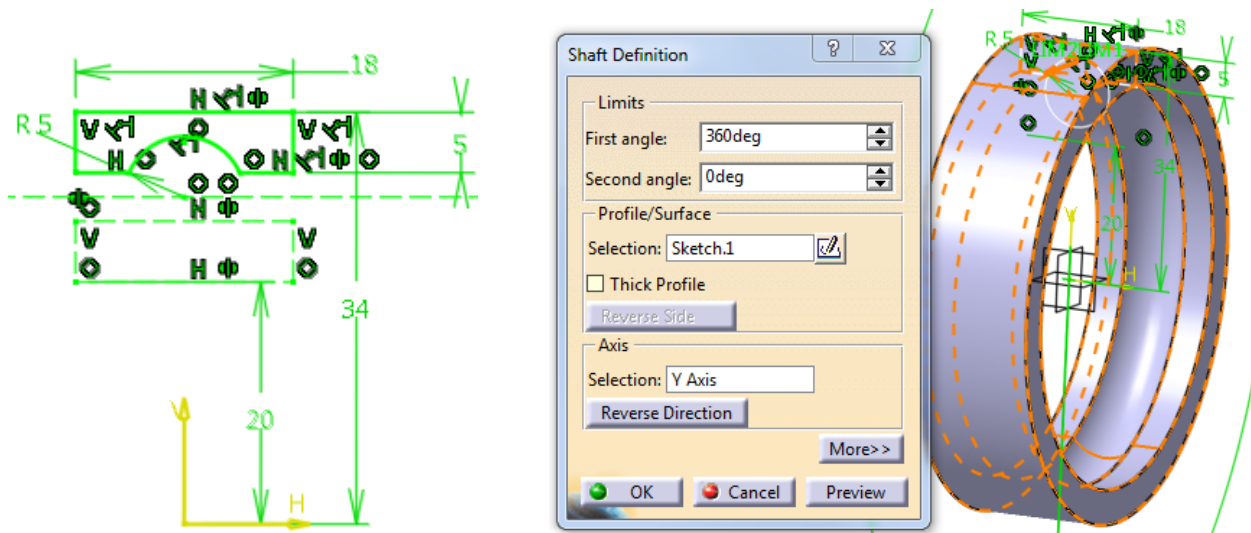


Слика 57.

7.5. Лежај

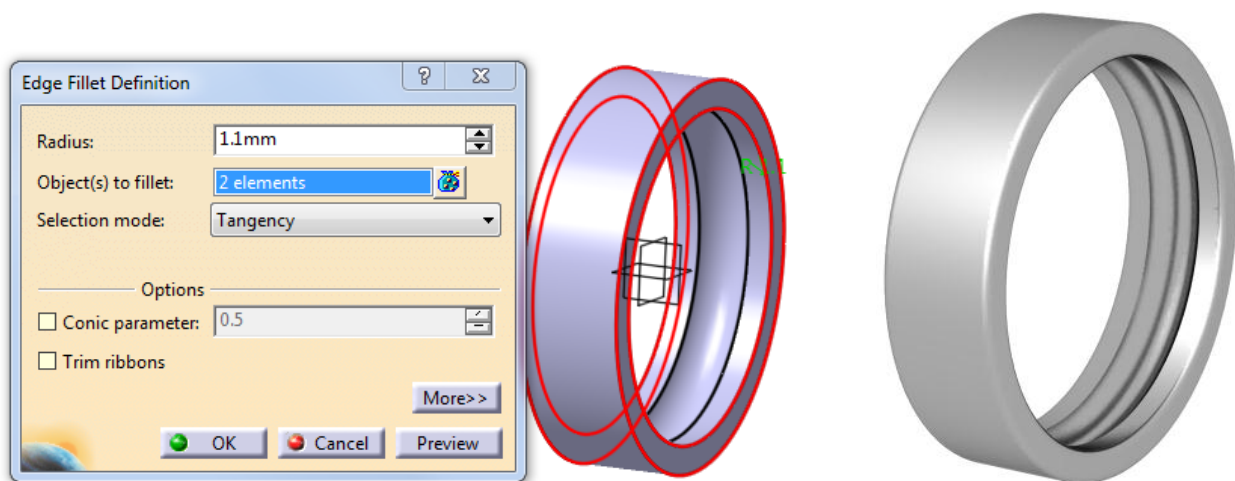
Статични део лежаја

У равни YZ, црта се скица (слика 58.) чије су вредности димензија у функцији пречника вратила, и дефинисане су у литератури [4]. Њеном ротацијом око осе Y помоћу **Shaft** добија се статични део лежаја (слика 59.)



Слика 58. (лево); Слика 59. (десно)

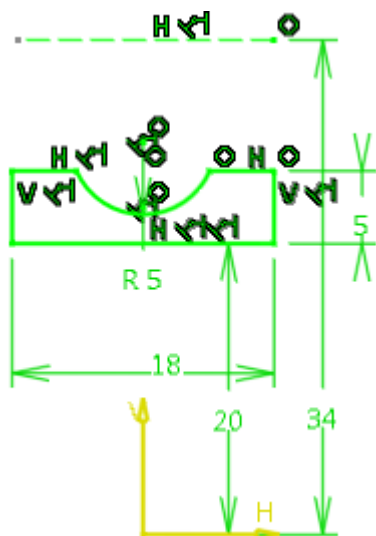
Заобљењем ивица опцијом **Edge Fillet** (слика 60.) добија се крајњи изглед статичног дела лежаја (слика 61.). Вредност радијуса ивице је такође дефинисан у литератури [4] и зависи од пречника вратила.



Слика 60. (лево); Слика 61. (десно)

Окретни део лежаја

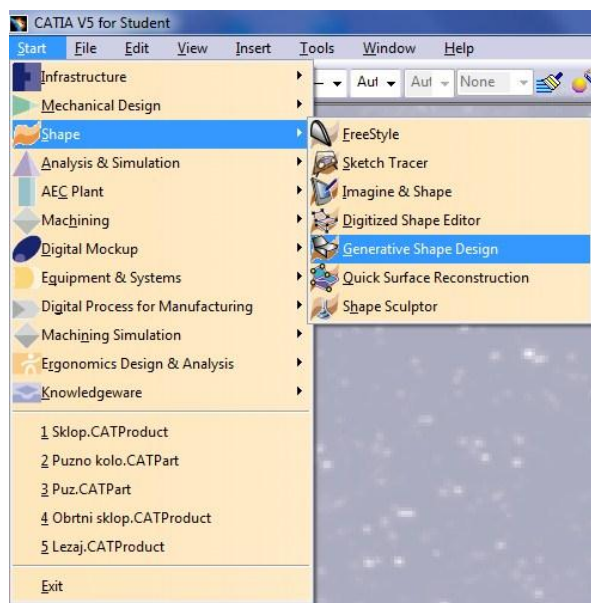
На потпуно исти начин, се добија окретни део лежаја (слика 63.) скицом приказана сликом 62.



Слика 62. (лево); Слика 63. (десно)

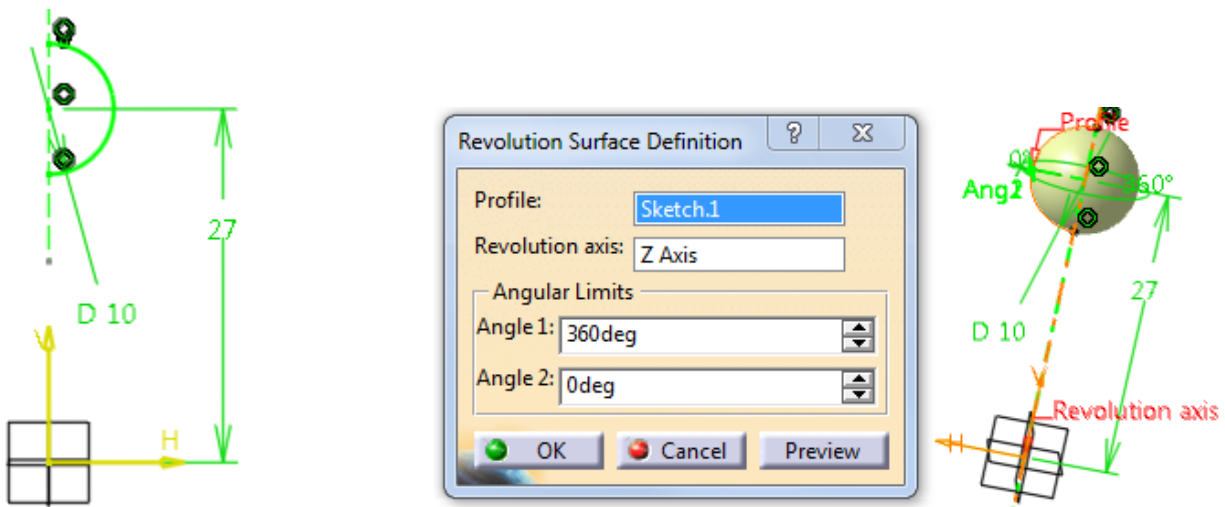
Носач куглица

Због релативно компликованије геометрије, за израду модела носача лежаја, повољнија је примена алата из радног окружења **Generative Shape Design** (Слика 64.).



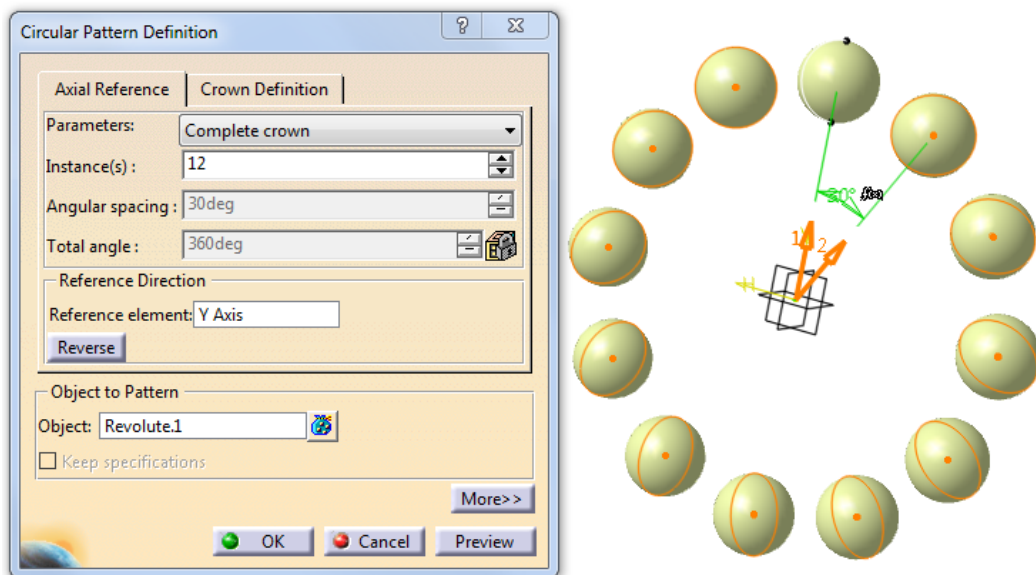
Слика 64.

Ротацијом скице (слика 65.) нацртане у равни ZX око Z осе, помоћу **Revolve**  добија се сферична површина (слика 66.).



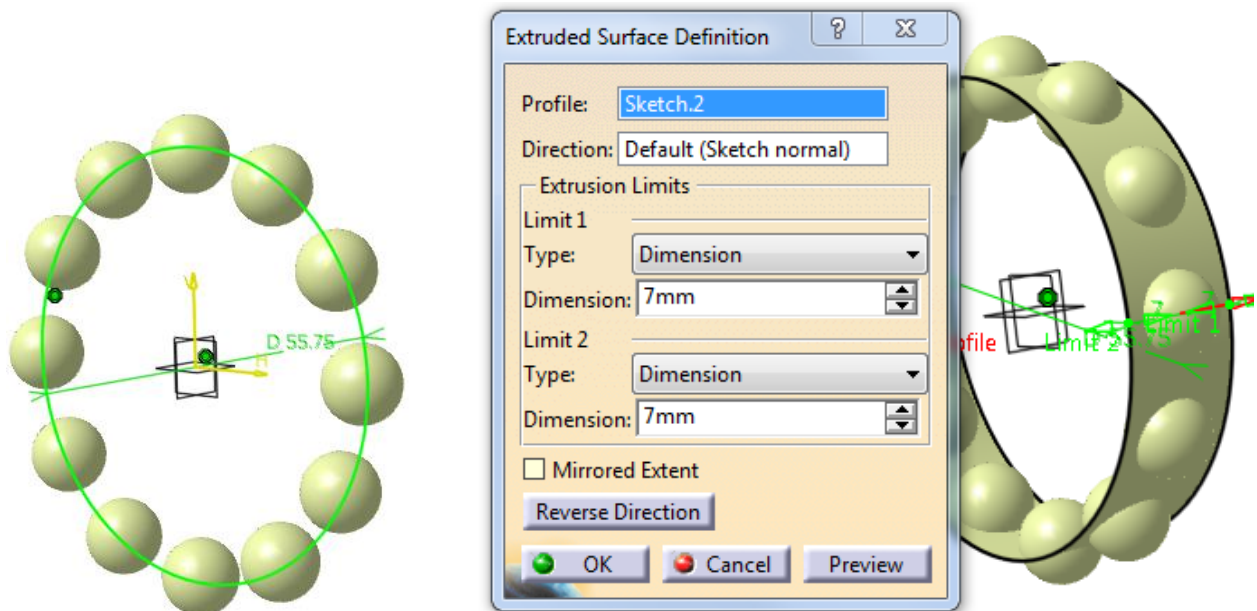
Слика 65. (лево); Слика 66. (десно)

Кружним умножавањем опцијом **Circular Pattern**  ове површине око Y осе, тако што се укуца број жељених сфера, и одабиром **Complete crown** у рубрици параметра, добија се приказ на слици 67.



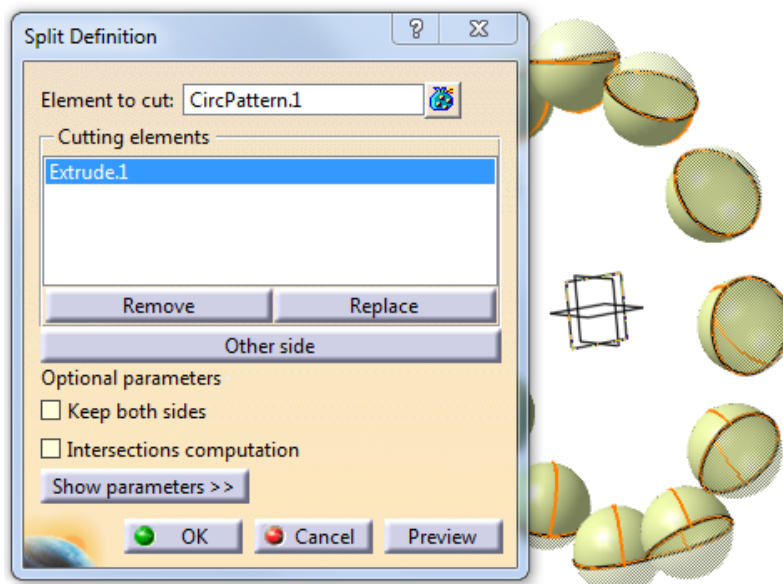
Слика 67.

У равни ZX црта се кружница као на слици 68., која опцијом **Extrude**  даје прстенасту површину (слика 69.).



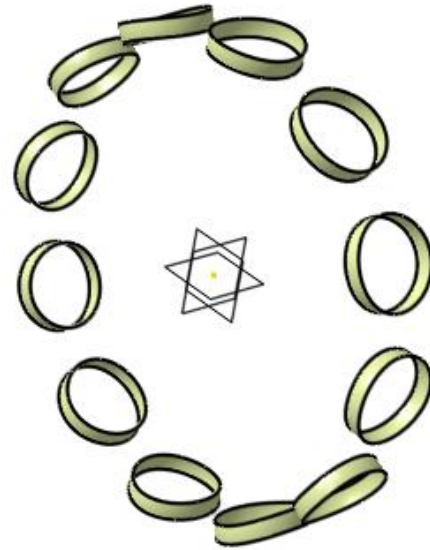
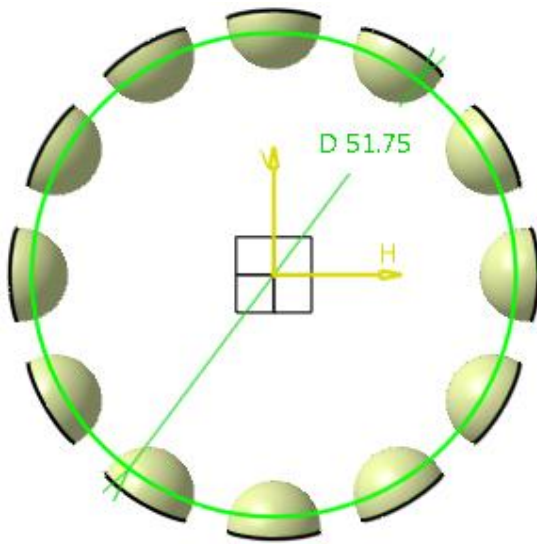
Слика 68. (лево); Слика 69. (десно)

Опцијом **Split**  одесецају се сфере прстенастом површином тако што се у рубруци за елемента за сечење одабере из стабла **Circular Pattern**, а у рубрици за елемент којим се врши сечење одабере прстенаста површина. Правилним одабиром стране сечења помоћу тастера **Other side**, добија се приказ на слици 70.



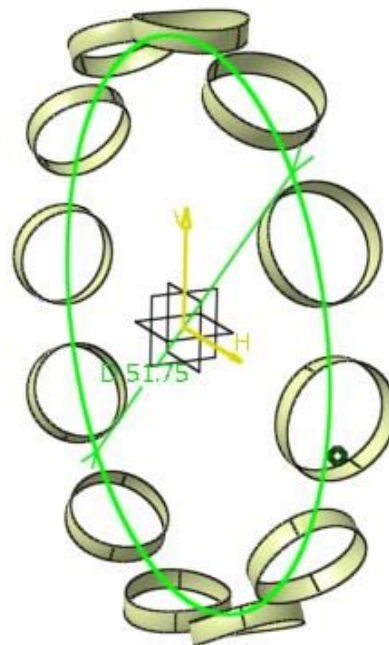
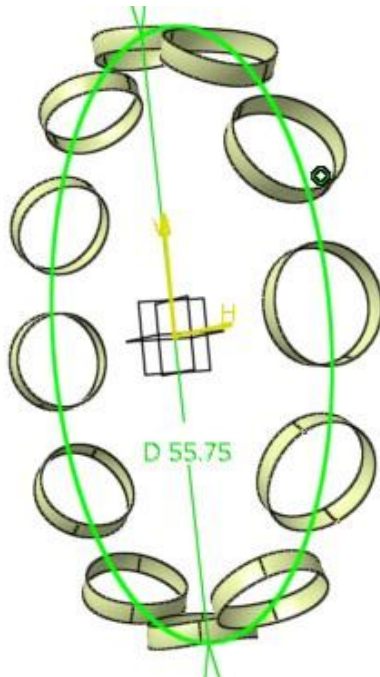
Слика 70.

Исти поступак се изврши са скицом приказаној на слици 71., тако да се након тога добија приказ на слици 72.

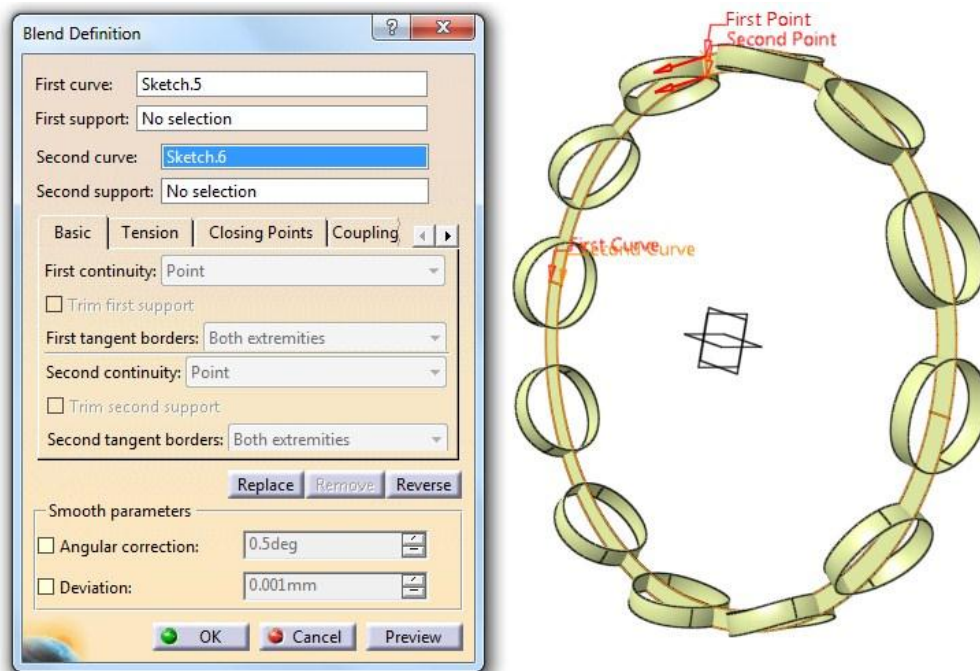


Слика 71. (лево); Слика 72. (десно)

Опцијом **Blend**  добија се прстенаста површина (слика 75.), тако што се селекују скице (слика 73., слика 74.) и кликом на тастер **OK**.

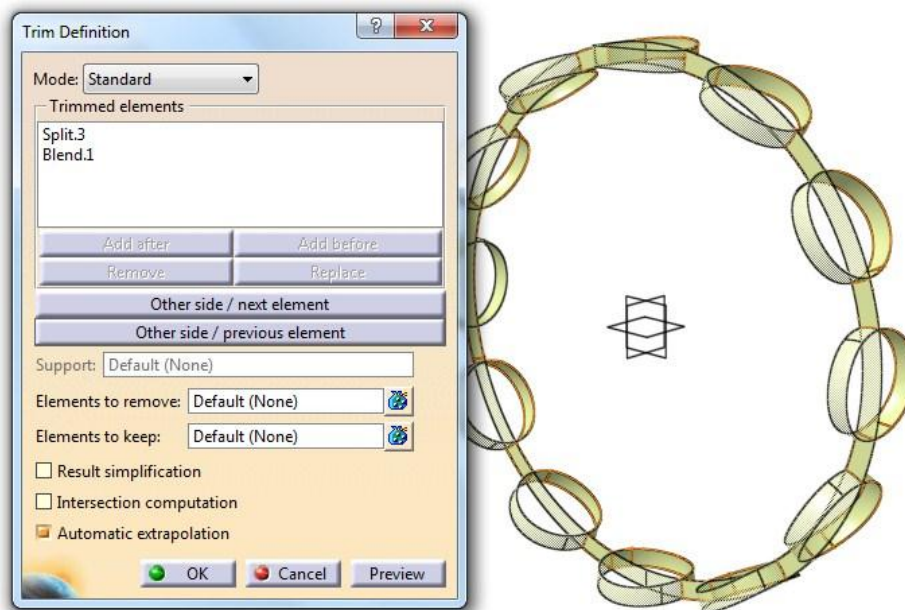


Слика 73. (лево); Слика 74. (десно)



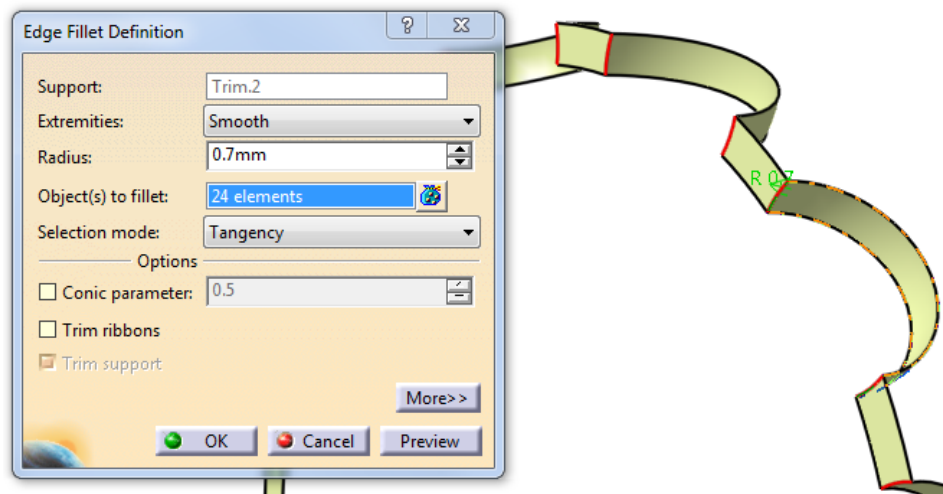
Слика 75.

Опцијом **Trim** , селектују се елементи стабла који представљају “рстење” и новонасталу прстенасту површину, и правилним одабиром страна пресецања ових површина, добија се површина приказана на слици 76.



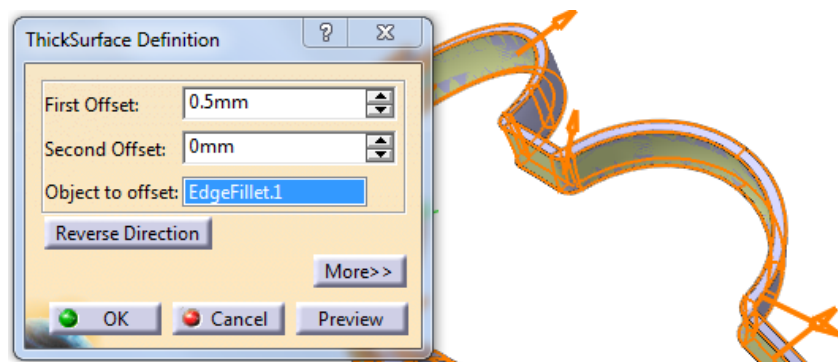
Слика 76.

Применом **Edge Fillet**  заобљавају се селековане ивице (слика 77.)



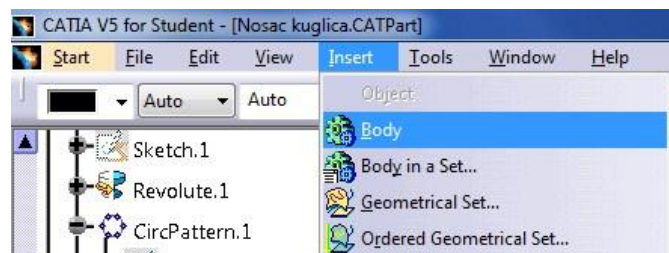
Слика 77.

Опцијом **Thick Surface**  из радног окружења **Part Design**, даје се дебљина селектованом елементу, тако што се укуца вредност дебљине и усмери вектор дебљине у смеру приказаном на слици 78.



Слика 78.

Након тога, убацује се ново тело (**Body. 2**) у подразумевано тело (**PartBody**) кликом на **Inert Body** (слика 79.).



Слика 79.

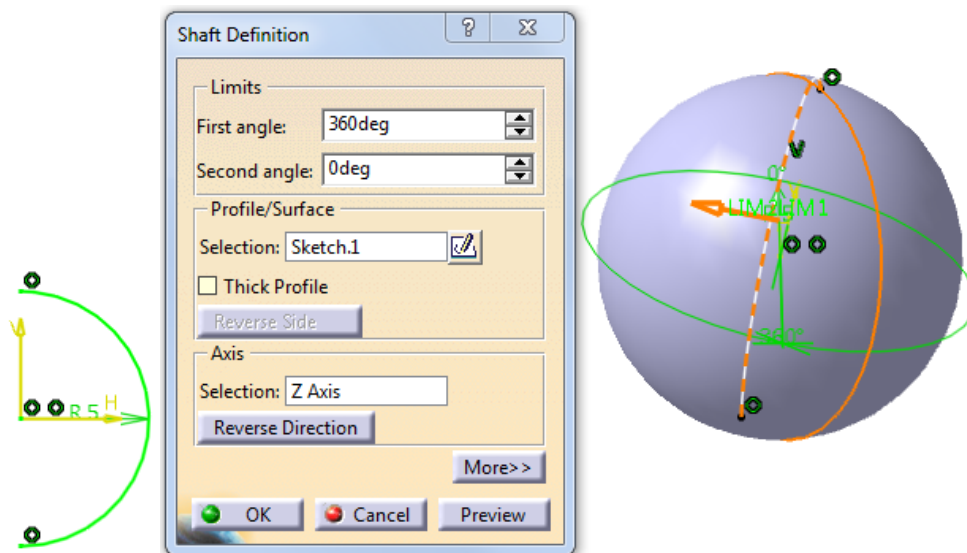
У ново тело се опцијом **Symmetry**  пресликава **Trick Surface** из стабла **PartBody** тако да се добије модел приказан на слици 80.



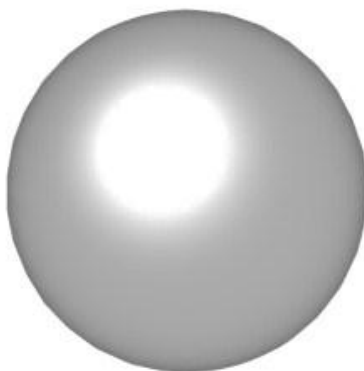
Слика 80.

Лагер лежаја

Овај део се израђује веома једноставно. Ротацијом скице (слика 81.) опциом **Shaft** , добија се куглица (слика 82.) која представља лагер лежаја (слика 83.).



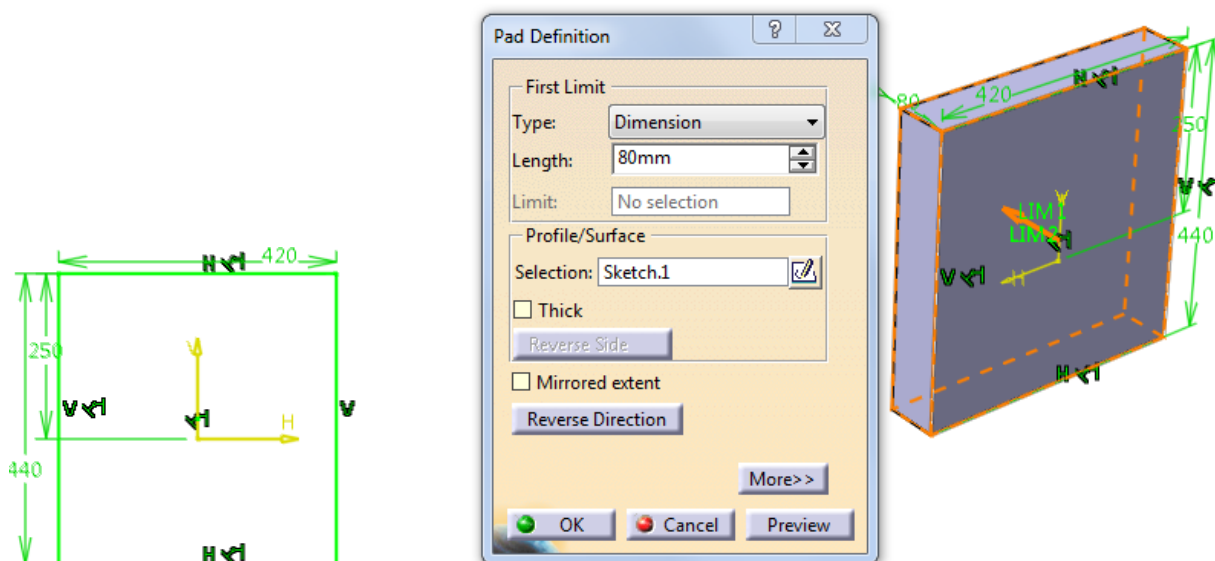
Слика 81. (лево); Слика 82. (десно)



Слика 83.

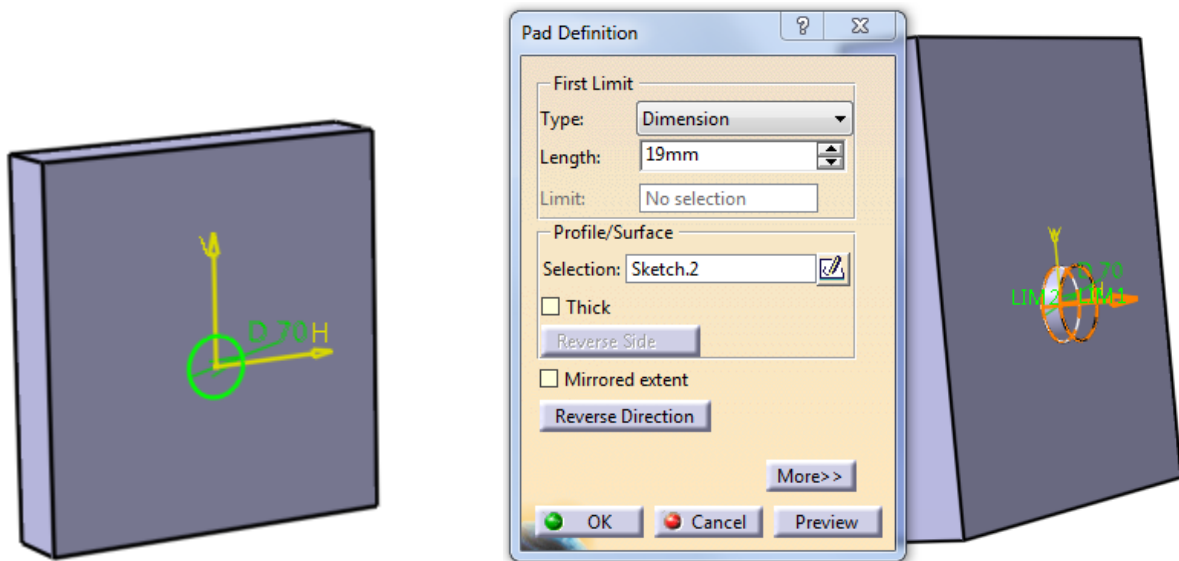
7.6. Кућиште

Опцијом **Pad**  извлачи се квадар дебљине као на слици 85. из скице (слика 84.).



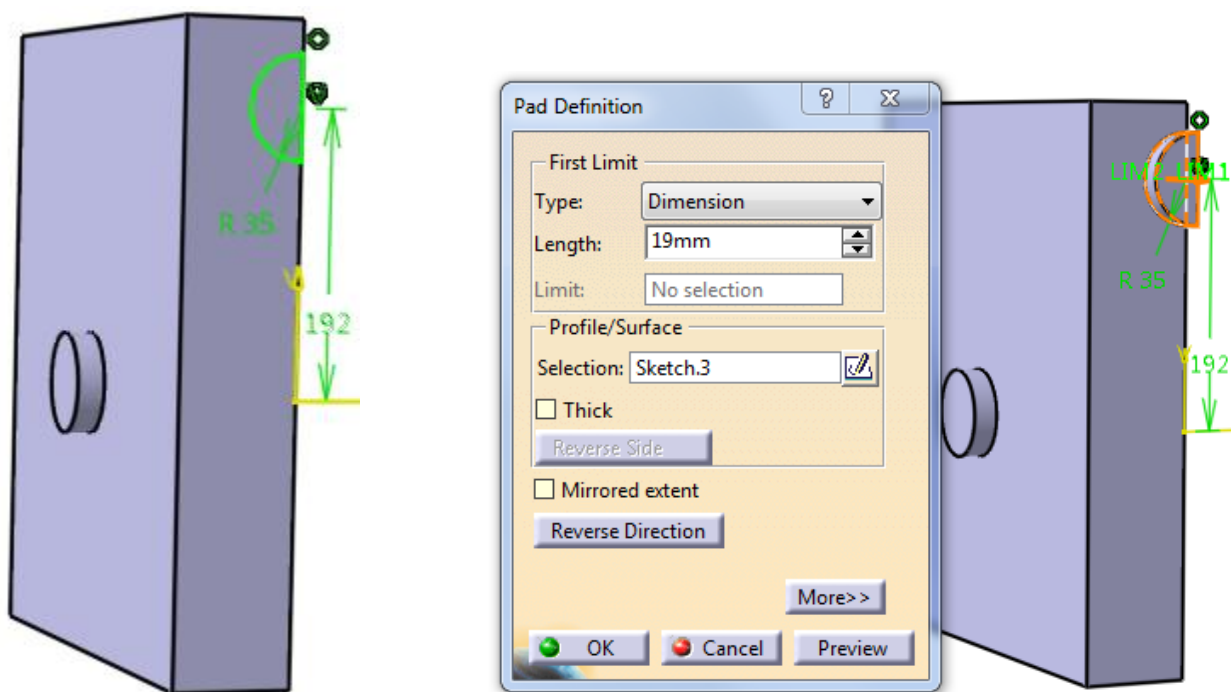
Слика 84. (лево); Слика 85. (десно)

На лицу квадрa, креира се кружница са центром у почетној тачки координатног система (слика 86.). Применом опције **Pad**  на исту скицу, добија се кратак цилиндар као на слици 87.



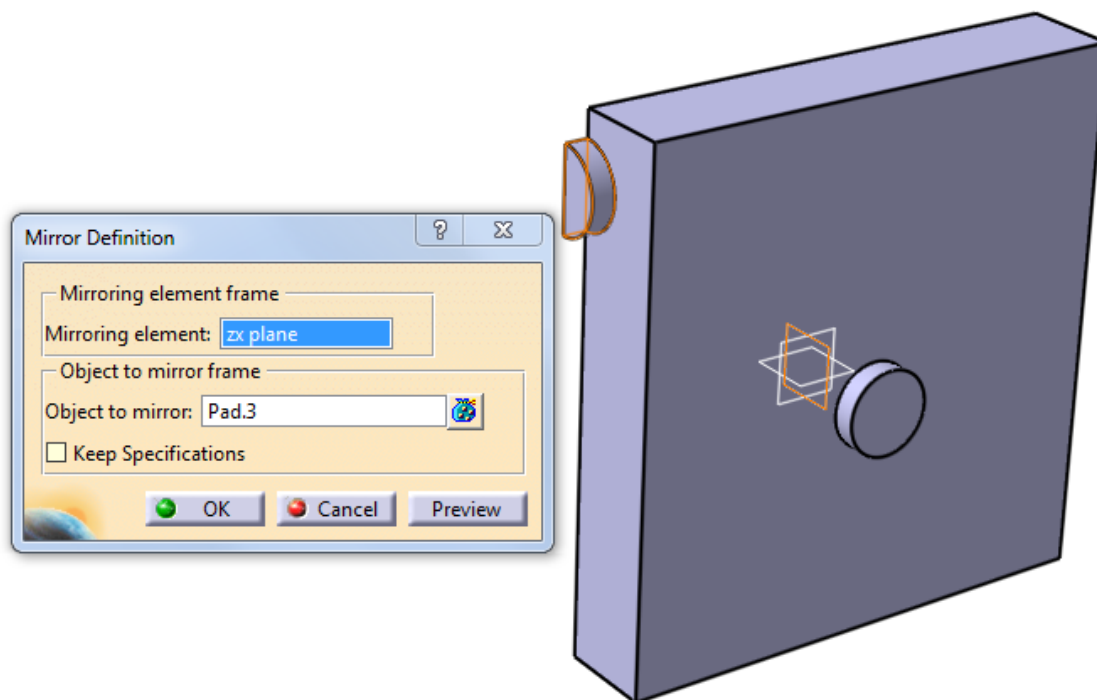
Слика 86. (лево); Слика 87. (десно)

У даљем раду, на једном боку се црта полукруг (слика 88.) а потом опцијом Pad добија део као на слици 89.



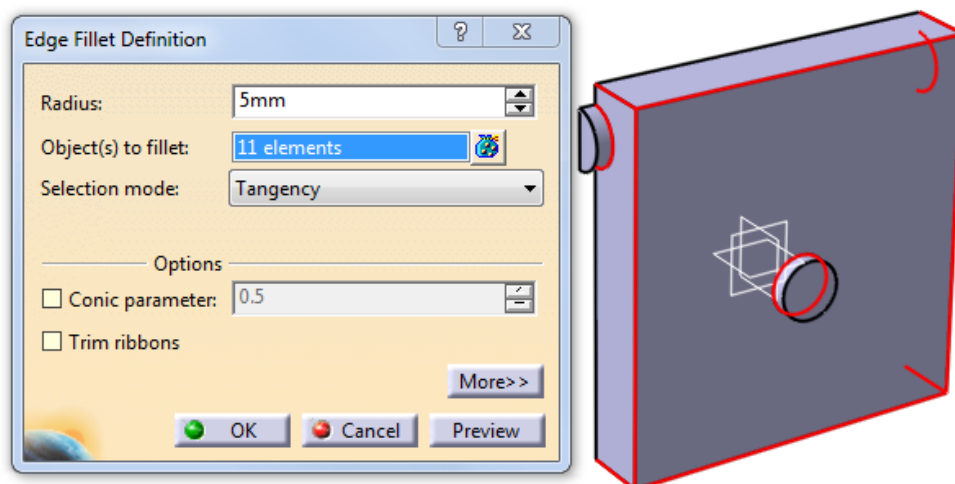
Слика 88. (лево); Слика 89. (десно)

Опцијом **Mirror**  одабира се раван у односу на коју се пресликава одабрани елемент из стабла (у овом случају новонастали полуцилиндар), тако да се кликом на **OK** креира полуцилиндар на другом боку (слика 90.).

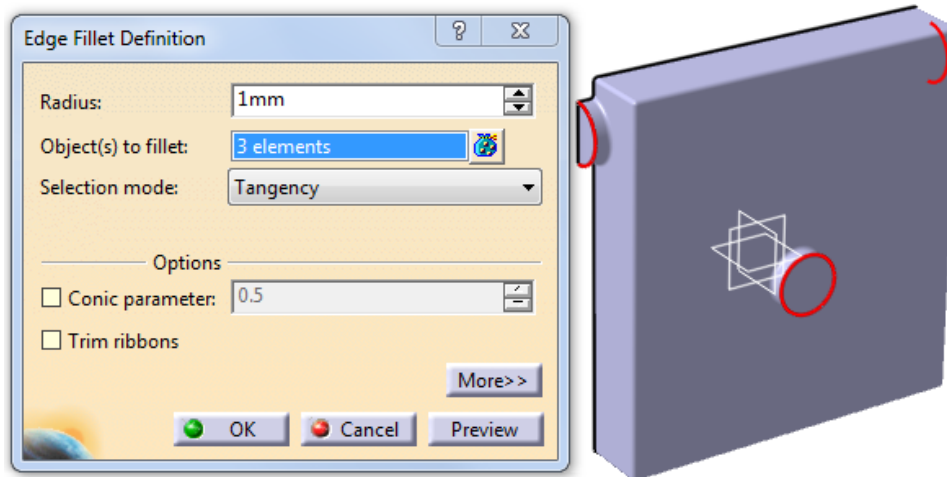


Слика 90.

Селектоване ивице се заобљавају опцијом **Edge Fillet**  (слика 91., слика 92.)

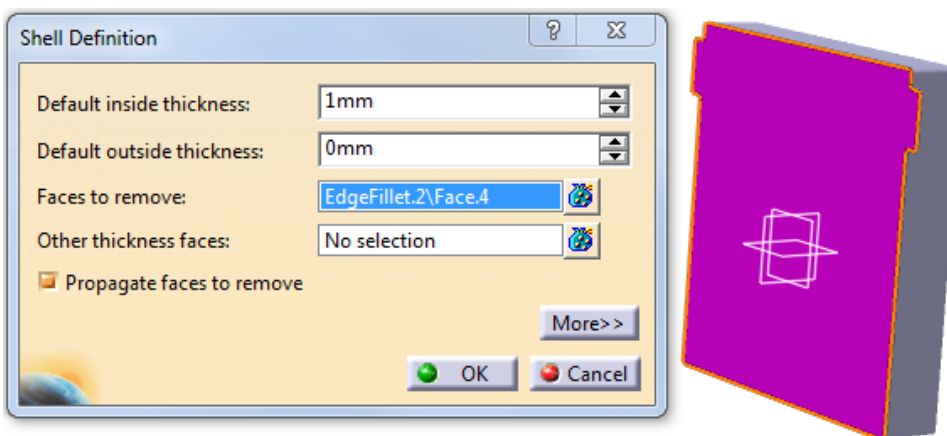


Слика 91.



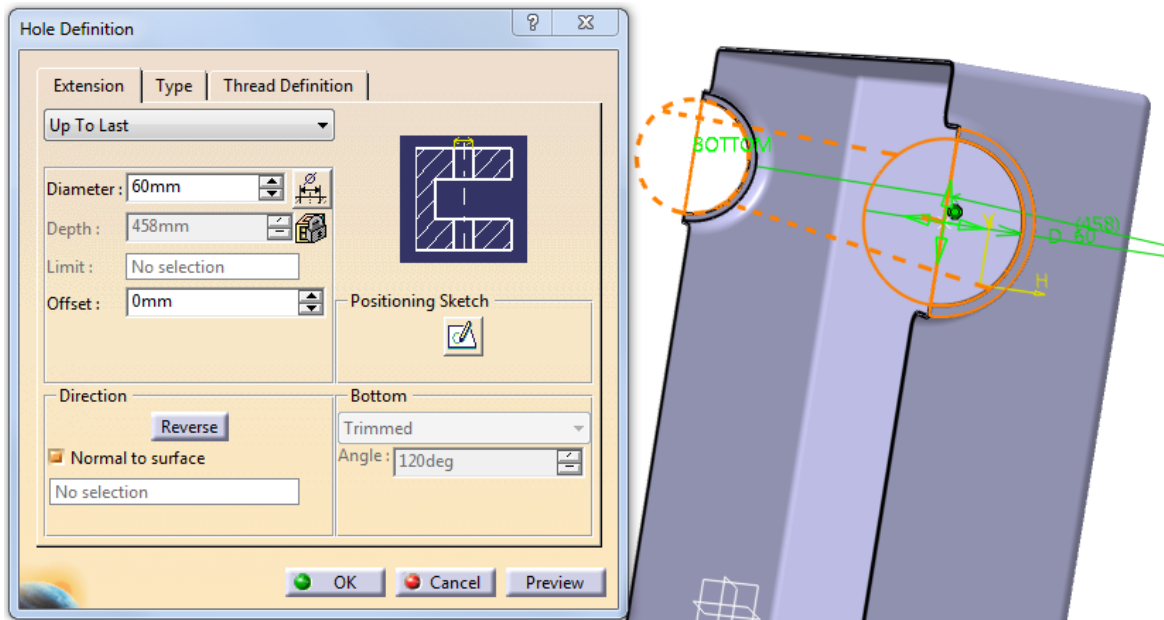
Слика 92.

Опцијом **Shell**  се добија кошуљица тако што се селекује наличје добијеног облика, док се дебљина дефинише у рубрици за **thickness inside** (што подразумева да ће спољна површина остати не промењена) (слика 93.).



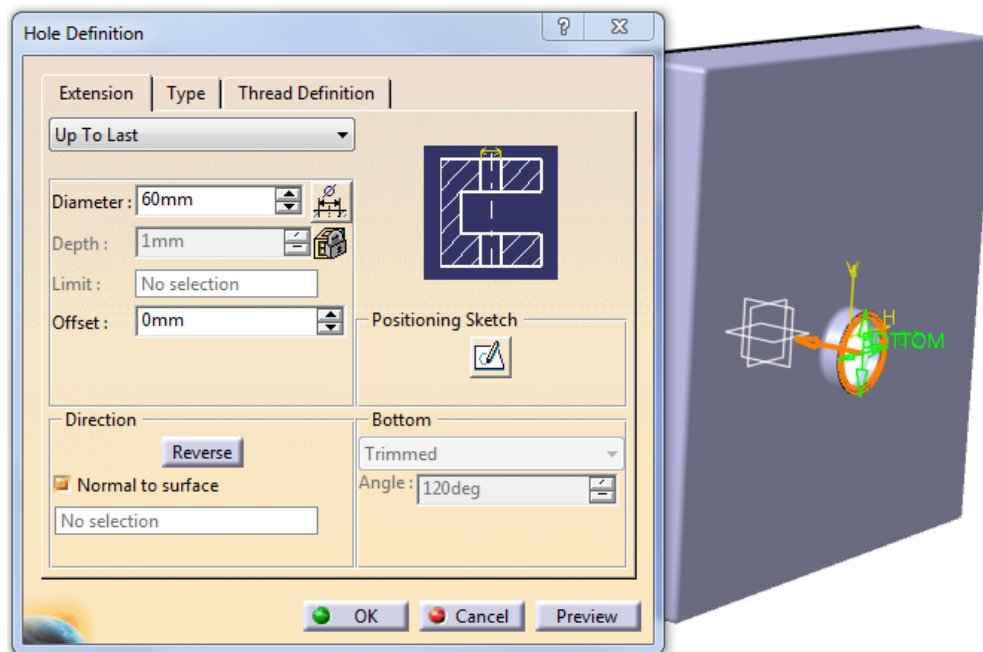
Слика 93.

Опцијом **Hole**  креирају се отвори за лежајеве као на слици 94., селектовањем обода бочног испупчења (ради центрирања отвора) и површине од које операција дејствује. Одабиром **Up To Last** креира се отвор и на другој страни бока.



Слика 94.

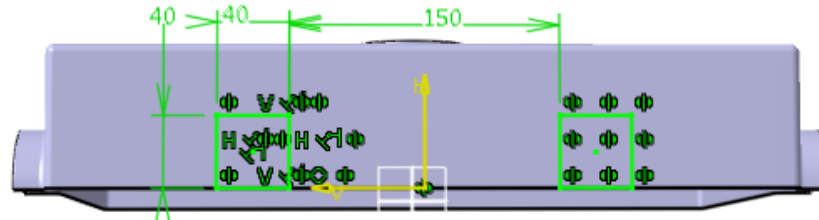
Истим поступком креира се отвор на предњем испупчењу (слика 95.).



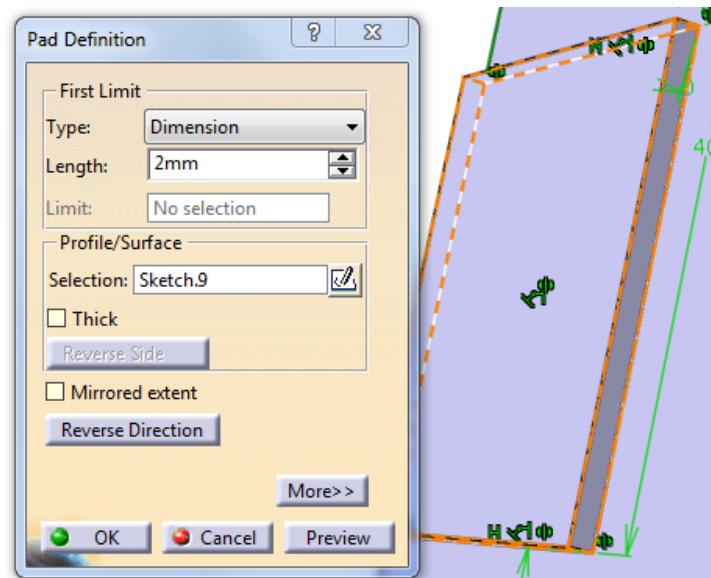
Слика 95.

На горњој страни кошуљице црта се скица као на слици 96., потом се опцијом **Pad** добијају испусти (слика 97.), које је потребно закосити како би се добио прост механизам за забрављивање кућишта.

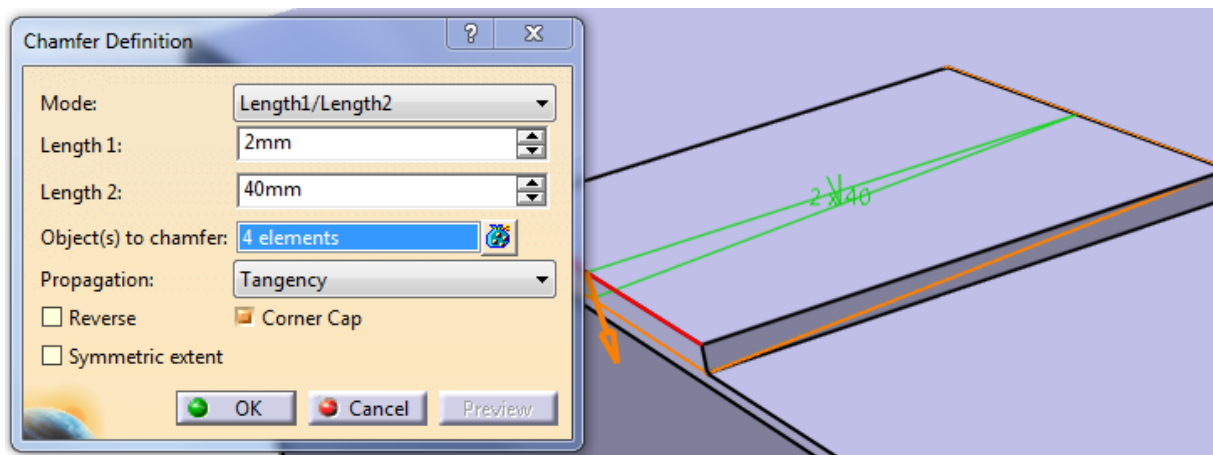
Закошење се једноставније креира опцијом за обарање ивица **Chamfer**  (слика 98.), тако што се селекује **Length1/Length2** у рубрици **Mode** и укуцају вредности које не прелазе висину и дужину испуста.



Слика 96.

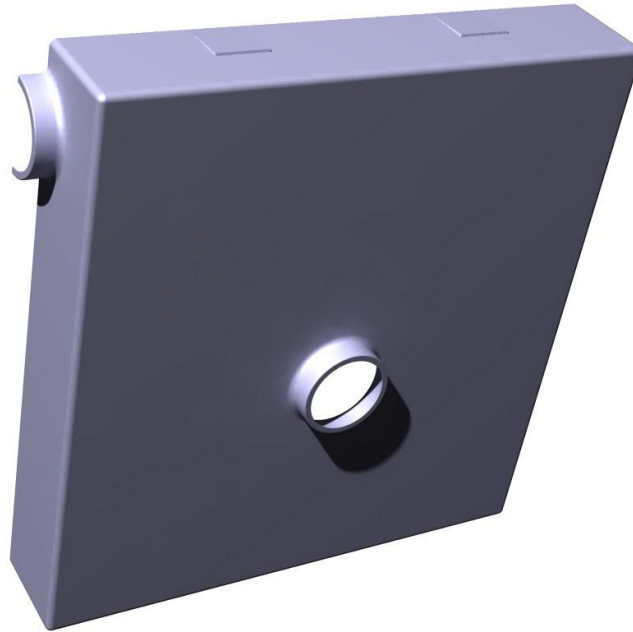


Слика 97.



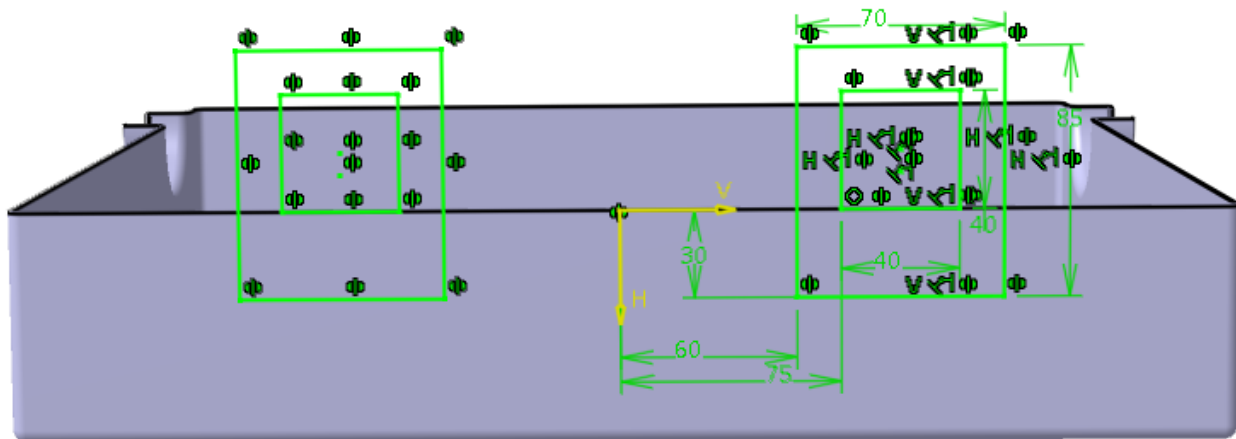
Слика 98.

На исти начин је потребно урадити и друга два испуста на доњој страни кошуљице, тако да финални модел овог дела изгледа као на слици 99.

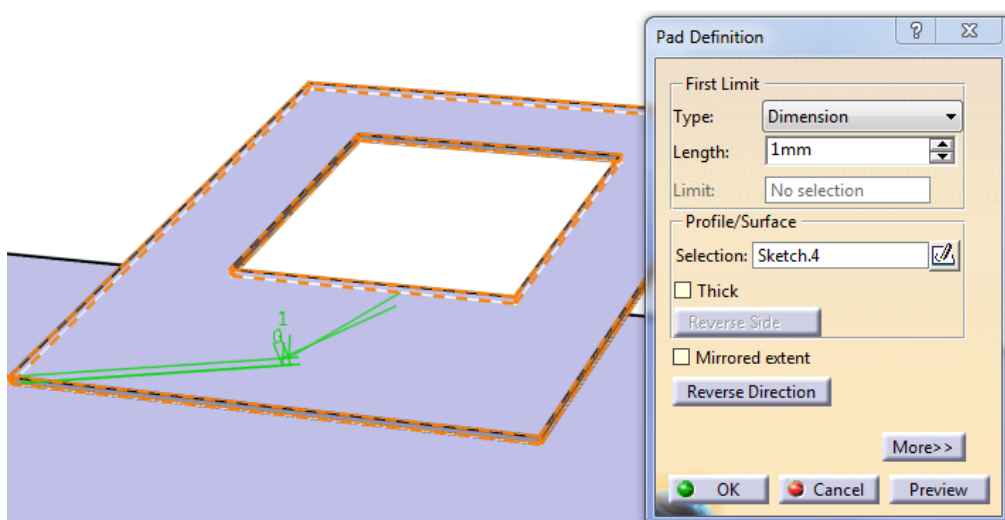


Слика 99.

Код другог дела кутије разлика је у испустима који се израђују на следећи начин. На горњој површини кошуљице креира се скица као на слици 100. а потом опцијом **Pad** добијају “канџе” за забрављивање (слика 101.).

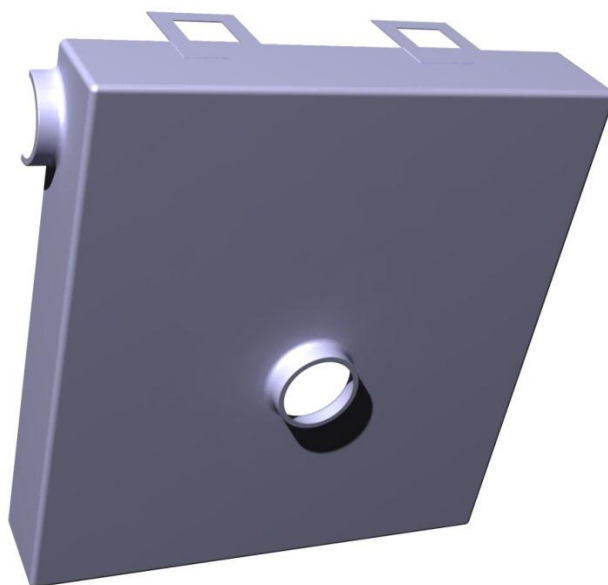


Слика 100.



Слика 101.

Овим поступком се креирају “канџе” и на доњем крају кошуљице.

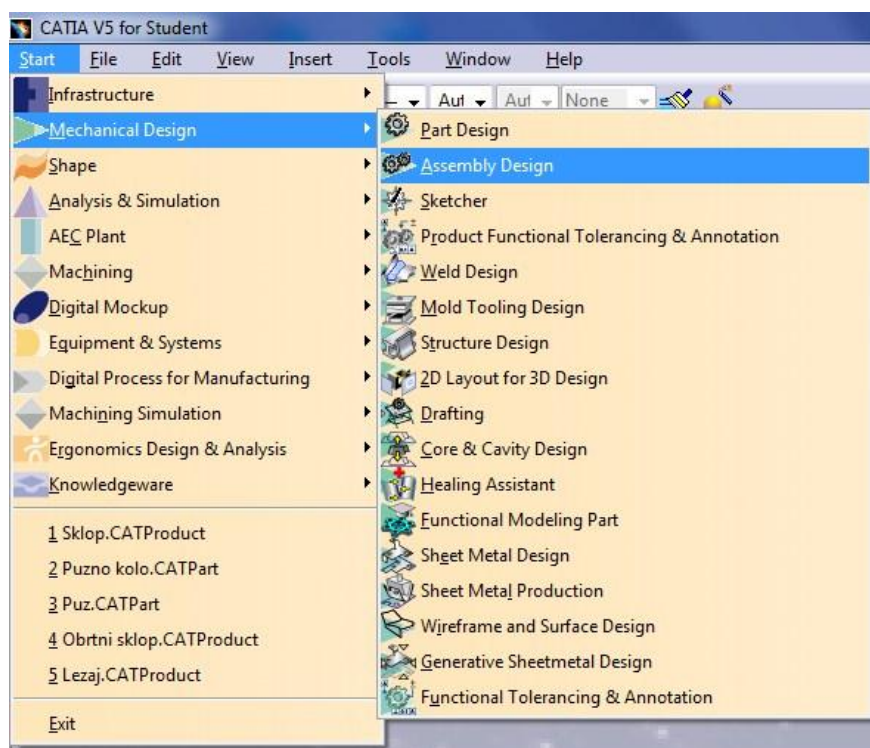


Слика 102.

8. Склапање модела, формирање кинематских веза и преносног односа

Склапање котрљајног лежаја

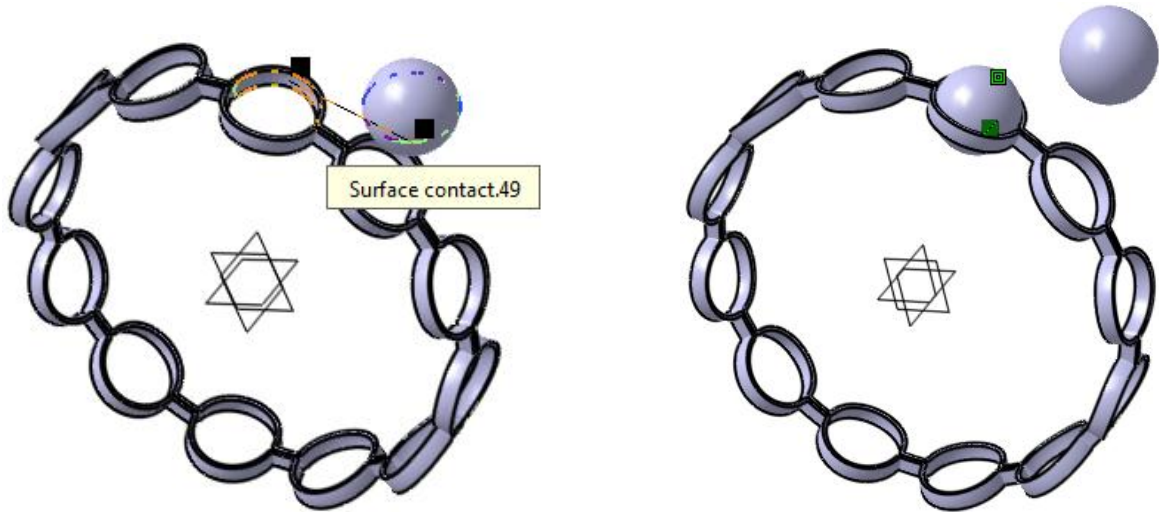
Склапање се врши у радном окружењу *Assembly Design* коме се може приступити на начин приказан на слици 103.



Слика 103.

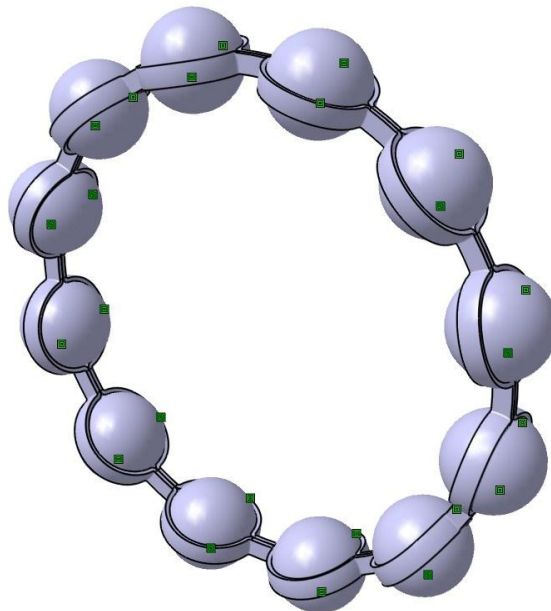
Опцијом **Existing Component**  се убацују постојећи модели, тако што се након селектовања ове опције кликне на први елемент у стаблу (по дефолту **Product**) чиме се отвара Pop Up прозор за селектовање постојећих модела. На овај начин се убацује сваки следећи постојећи модел.

Опцијом **Contact Coinstraint**  селекују се сферичне површине куглице и једног од прстена носача куглица (слика 104.). Опцијом **Uptade** , ове две површине бивају у директном контатку са заједничким центром. Опцијом **Fast Multi Instantiation** , добија се копија ове куглице (слика 105.), а исти поступак се примењује онолико пута колико је потребно да се добије број куглица који одговара броју не испуњених прстена носача.



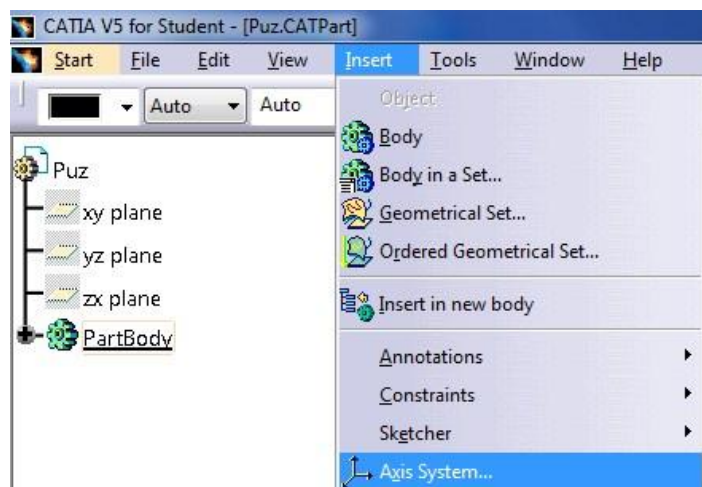
Слика 104. (лево); Слика 105. (десно)

Добијене копије куглица се на исти начин повезују са носачем као и прва, тако да се добије приказ на слици 106.



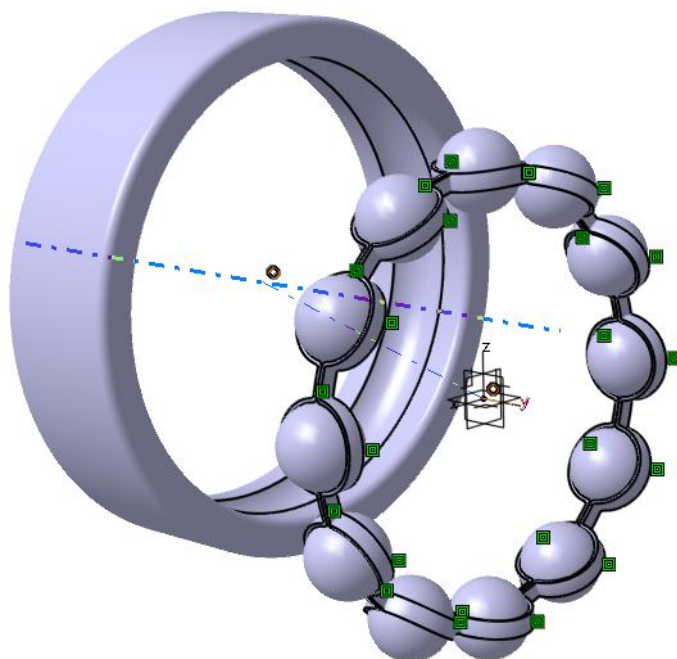
Слика 106.

Да би се се вршоло даље склапање потребно је убацити координатни систем у носач куглица. То се врши тако што се отвори модел носача а затим убади **Axis System** поступком приказан на слици 107.



Слика 107.

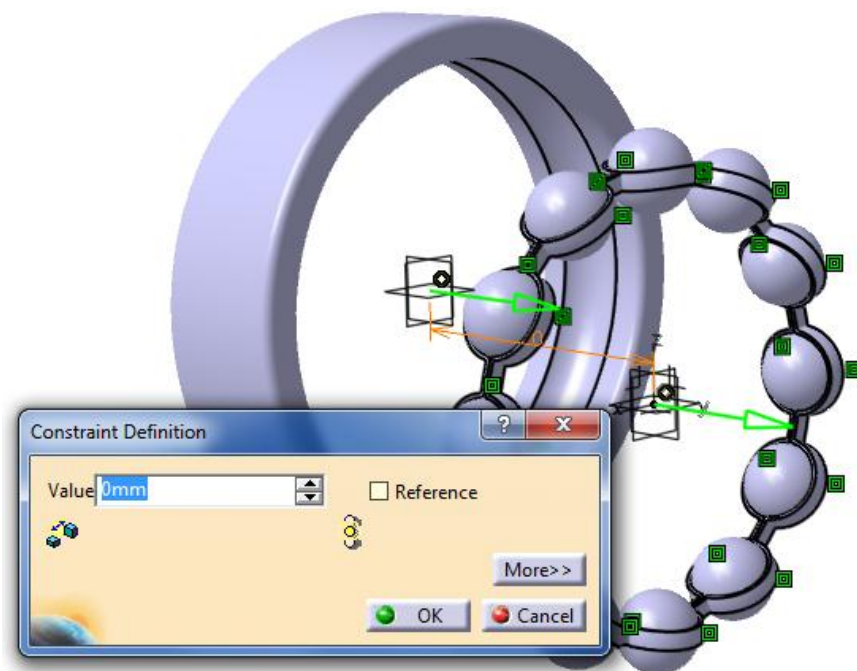
Даље склапање се врши опцијом **Coincidence Constraint**  тако што се селекују осе симетрије непокретног дела лежаја и носача (слика 108.).



Слика 108.

Потребно је дефинисати још једно ограничење опцијом **Offset Coinstraint**  и селекују ZX равни непокретног дела и носача (слика 109.), укуца вредност међусобне удаљености (у овом случају 0) после чега се опцијом **Uptade**  добија жељени склоп.

Опција **Uptade**  се увек примењује по завршетку ограничења.



Слика 109.

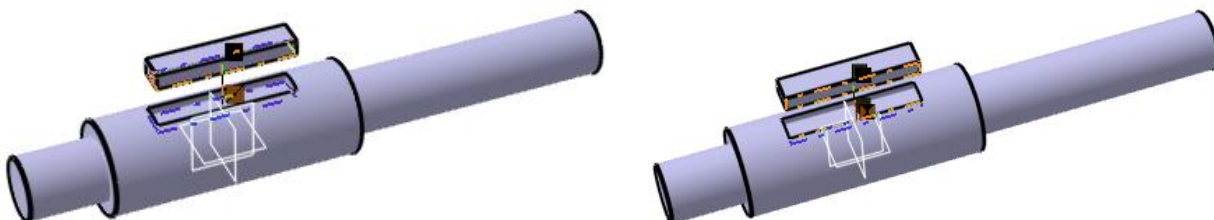
Исти поступак се примени и код убацивања покретног дела лежаја у склоп, тако да се добије комплетан лежај (слика 110.)



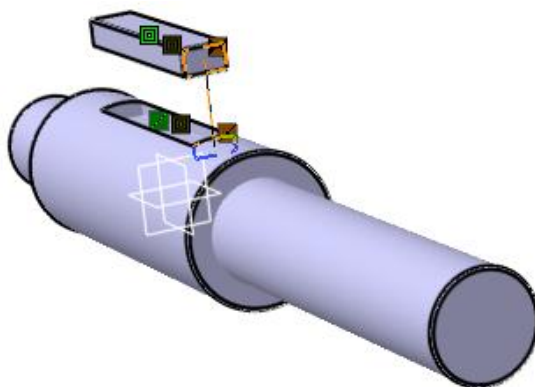
Слика 110.

Склапање обртног склопа

Опцијом **Contact Coinstraint**  се повезују одговарајуће површине џепа на гоњеном вратилу и клину (слика 111., слика 112., слика 113.).

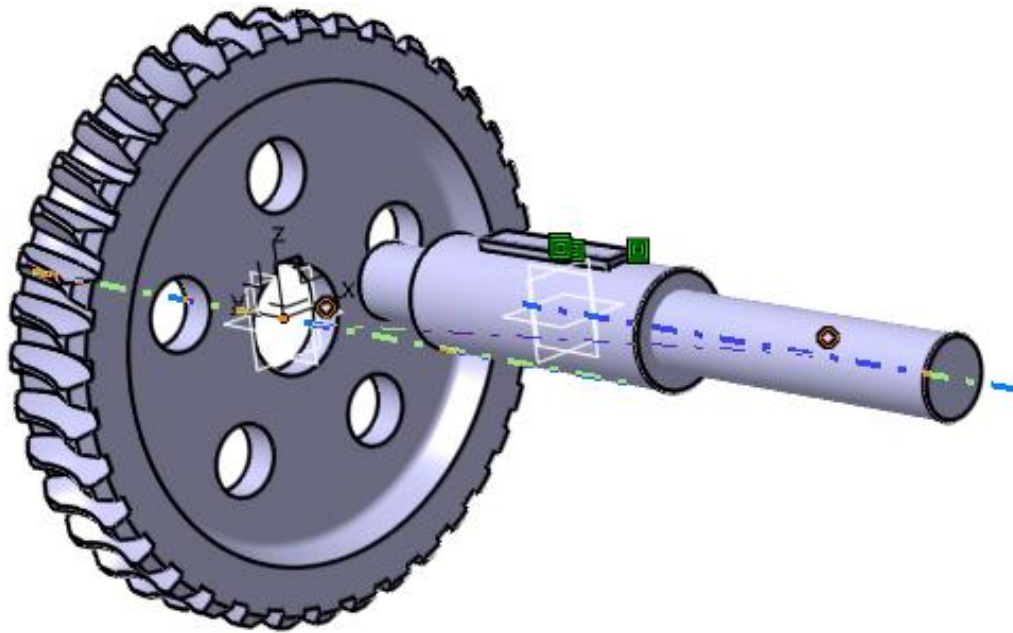


Слика 111. (лево); Слика 112. (десно)

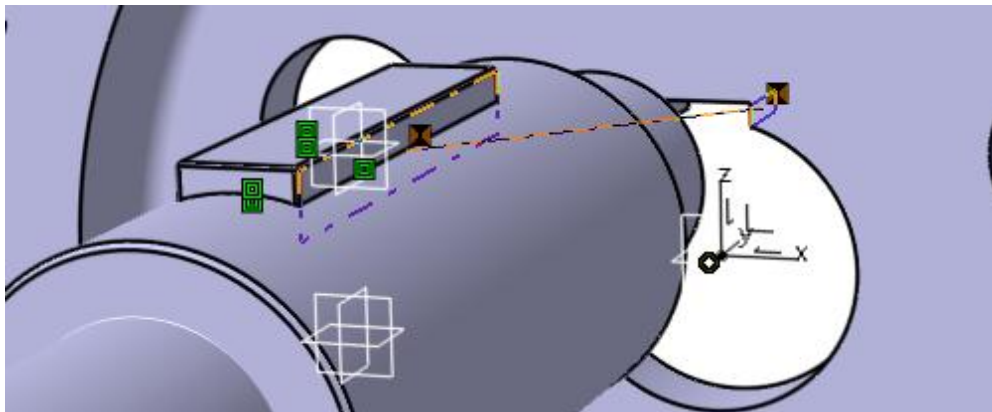


Слика 113.

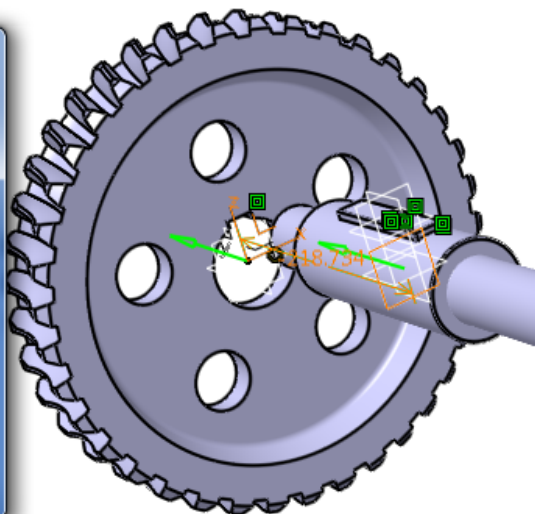
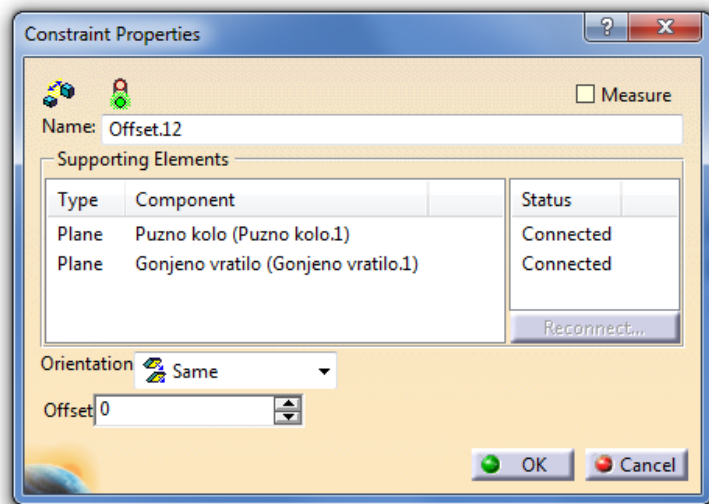
За склапање овог подсклопа са пужним зупчаником, потребно је извршити три ограничења која се врше помоћу **Coincidence Constraint**  (слика 114.), **Contact Coinstraint**  између бока клина и бока прореза за клин (слика 118.) и опцијом **Offset Coinstraint**  између YZ равни вратила и ZX равни пужног зупчаника са унетом вредношћу 0 (слика 119.).



Слика 114.

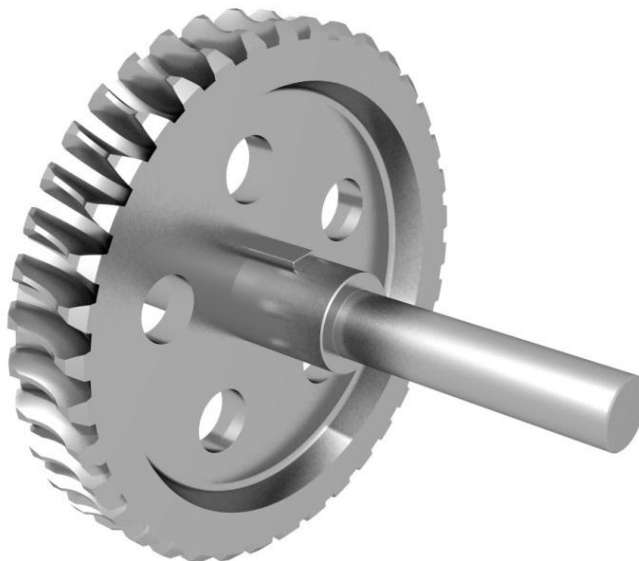


Слика 115.



Слика 116.

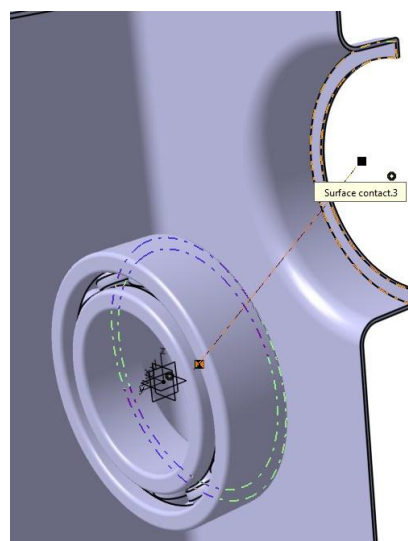
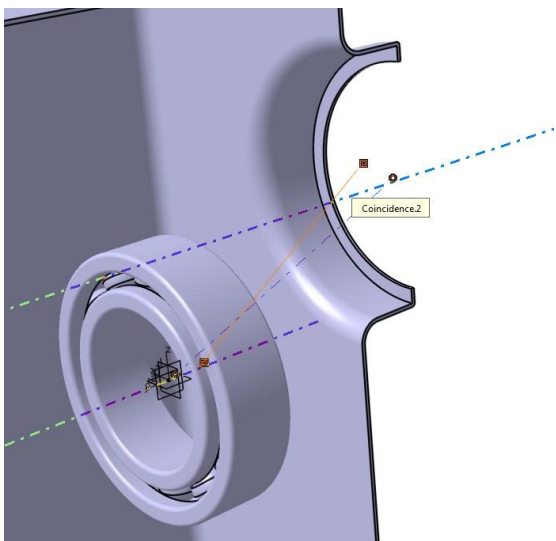
Овим поступком се добија обртни склоп (слика 117.).



Слика 117.

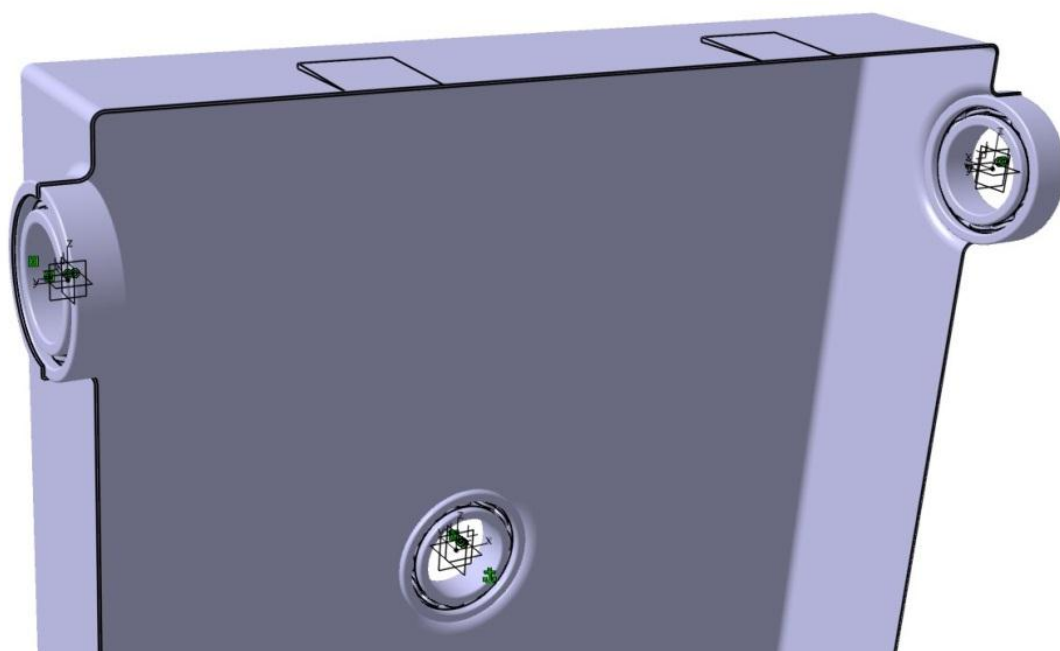
Склапање лежаја са непокретним делом склопа

Убацивањем у склоп део кућишта и фиксирајући га опцијом **Fixt Component**  једноставним кликом на исти, формира се непокретни део склопа, на који се надовезују лежајеви. Опцијама **Coincidence Constraint**  и **Contact Coinstraint**  формирају се ограничења као на слици 118. и слици 119.

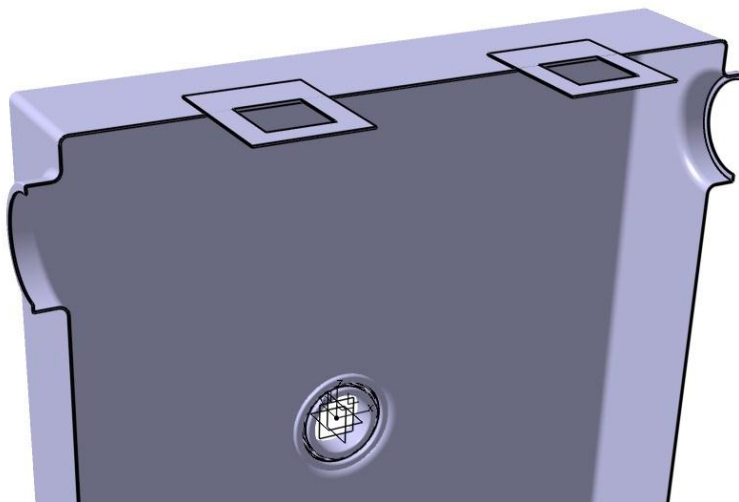


Слика 118. (лево); Слика 119. (десно)

Исти поступак се примењује и за преостала два лежаја као на сликама 120. и 121.

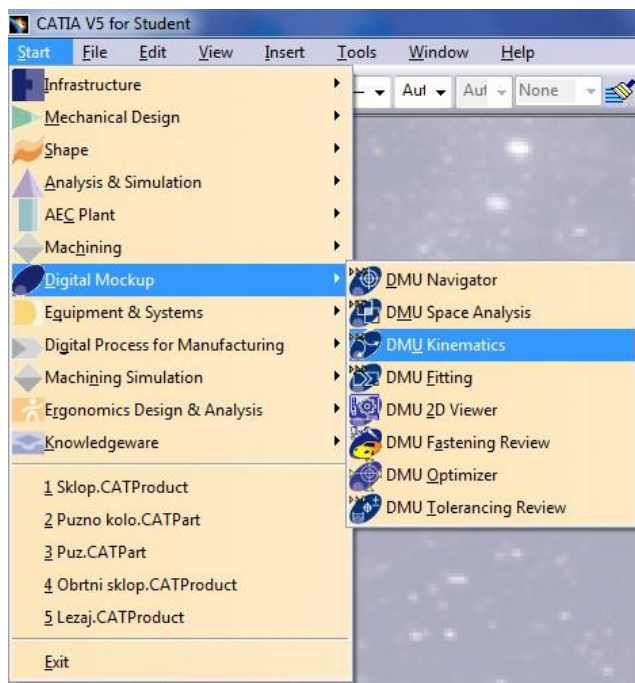


Слика 120.



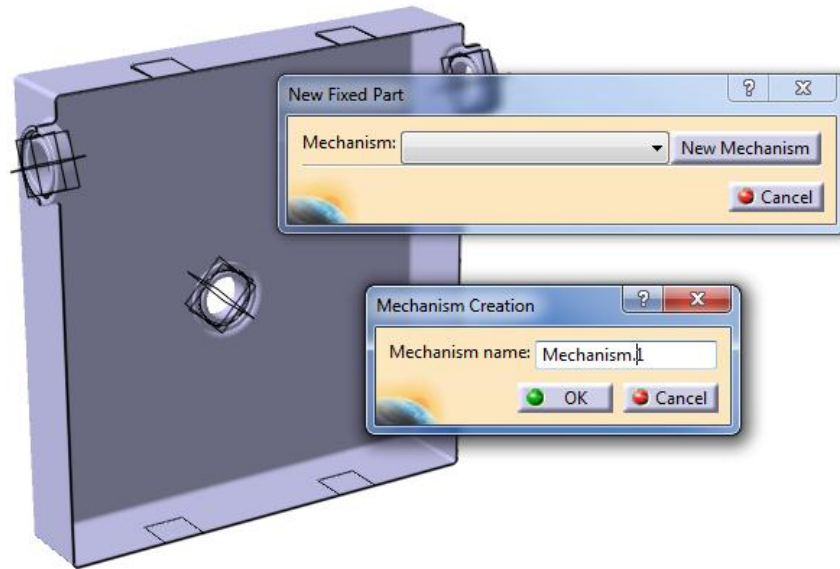
Слика 121.

Механизам се формира у радном окружењу **DMU Kinematics** коме се приступа на начин приказан на слици 122.



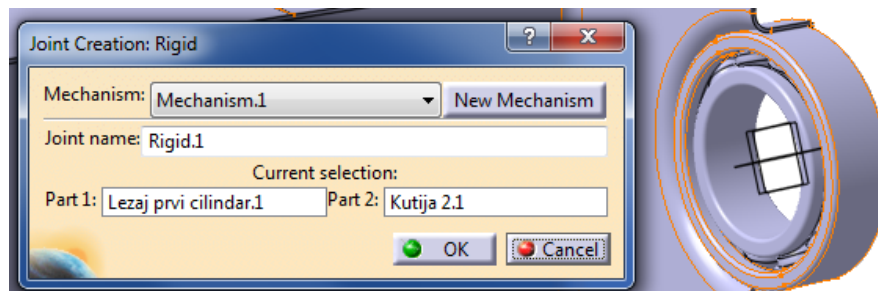
Слика 122.

Да би се креирао механизам, потребно је употребити опцију **Fixed Part** , где се кликом на **New Mechanism** отвара нови Pop Up прозор. У рубрици се уписује назив механизма, а кликом на непокретни део креира механизам. Овај поступак је приказан на слици 123.



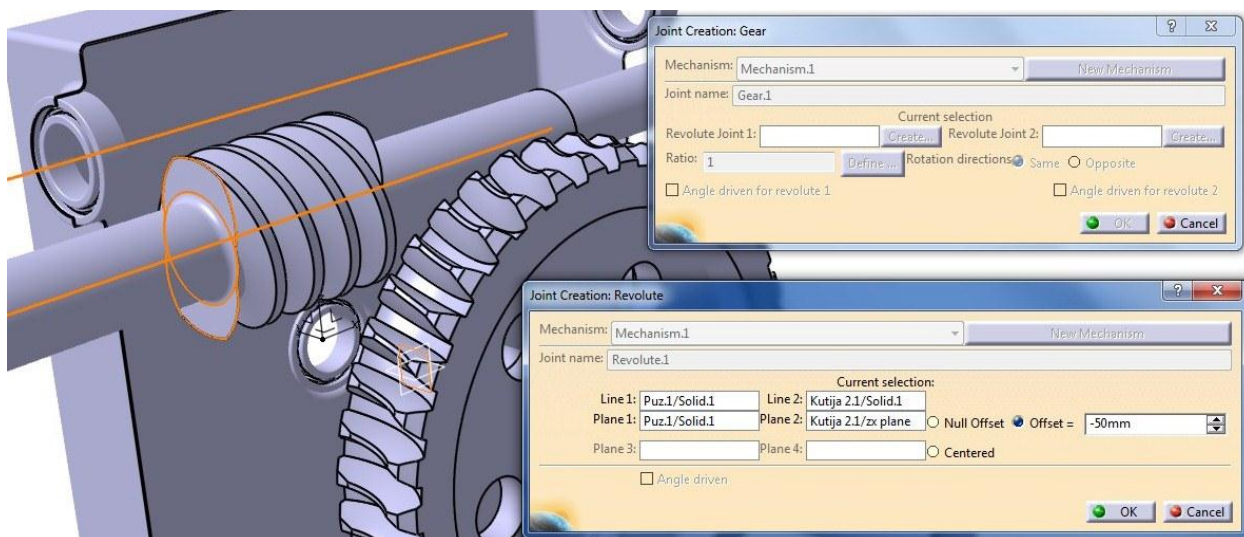
Слика 123.

Опцијом **Rigid Joint** , остварује чврста веза између фиксног дела кућишта и непокретног дела лежаја тако што се једноставно селекују (слика 124.). Овим посупком се остварују чврсте везе између фиксног дела кућишта и непокретних делова преосталих лежаја, који су везани за фиксни део.



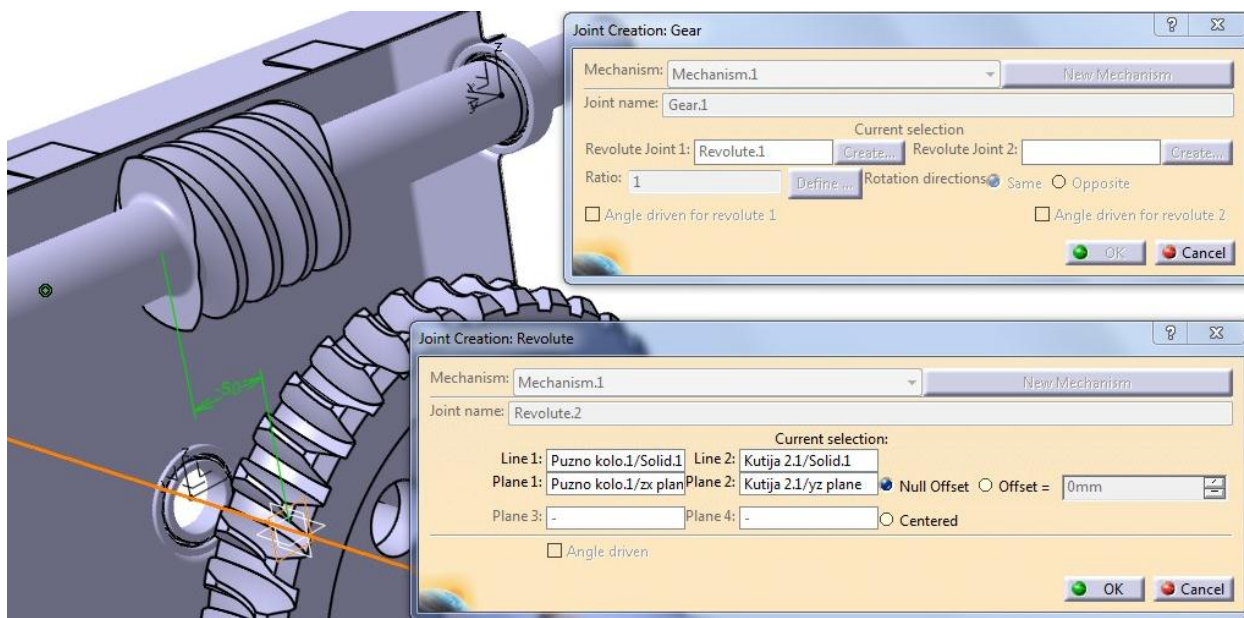
Слика 124.

Опцијом **Gear Joint** , остварује се веза између пужа и зупчаника. Након покретања ове опције, потребно је креирати **Revolute Joint 1** кликом на **Create**, где се отвара нови прозор. У рубрици **Line 1** селекују се оса пужа а у рубрици **Line 2** селекује оса испупчења на фиксном делу. За **Plane 1** се селекује бочна површина навоја пужа док за **Plane 2** ZX раван фиксног дела. Након тога, чекира се **Offset** и даје вредност одстојања између те две равни (у овом случају вредност 50 представља половину дужине навоја пужа, како би се пуж правилно позиционирао у склопу, а предзнак минус представља позицију равни бока навоја у односу на координатни почетак). Кликном на **OK**, у стаблу се формира **Revolute Joint** . Овај поступап је приказан сликом 125.



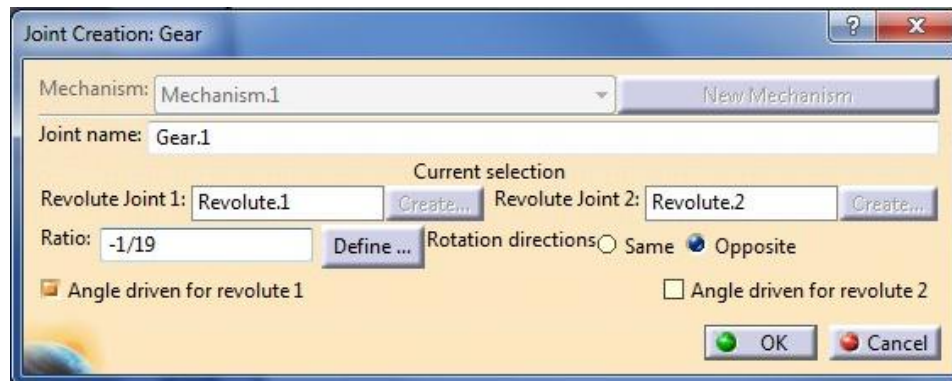
Слика 125.

Да би **Gear Joint** веза била креирана потребно је креирати Revolute Joint 2 везу кликом на **Create**. Осе које је потребно селектовати су оса симетрије пужног зупчаника и оса испупчења на задњој страни фиксног дела. Равни које ограничавају ову везу су ZX раван пужног зупчаника и YZ раван фиксног дела, с тим да је чекиран **Null Offset** (слика 126.).



Слика 126.

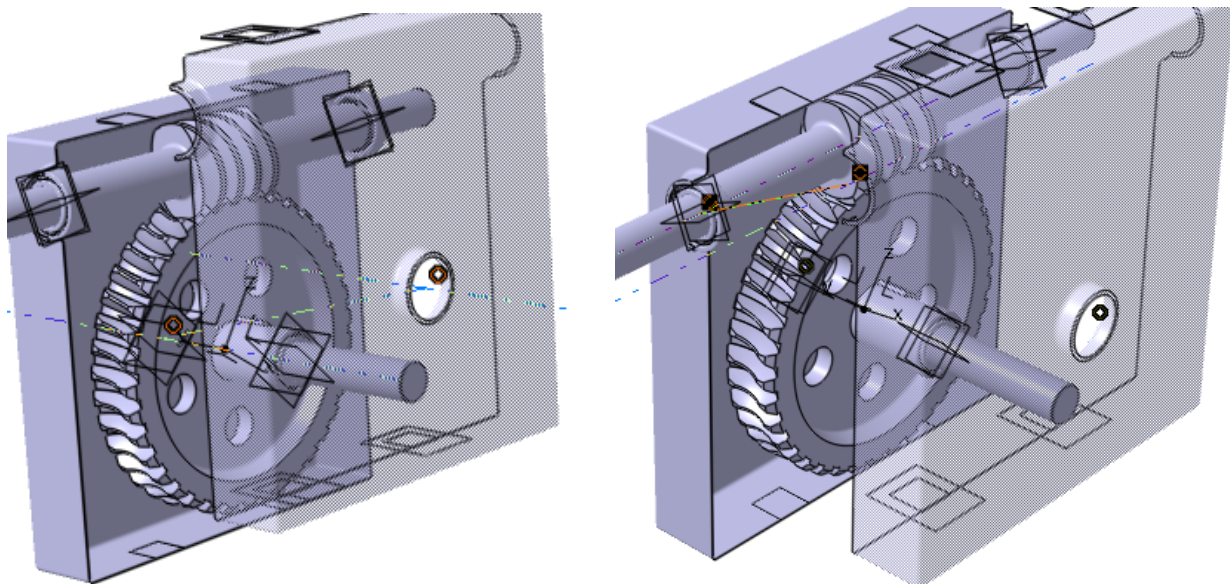
Након креирања **Revolute Joint 2**, потребно је попунити рубрике као што је приказано на слици 127., где вредност **1/19** представља кинематски однос који је дефинисан захтевом у задатку, а предзнак минус представља супротан, међусобни смер ротације пужа и зупчаника који се формира чекирањем **Opposite**. Потребно је чекирати **Angle driven for revolute 1**, што даје пужу улогу погонског елемента.



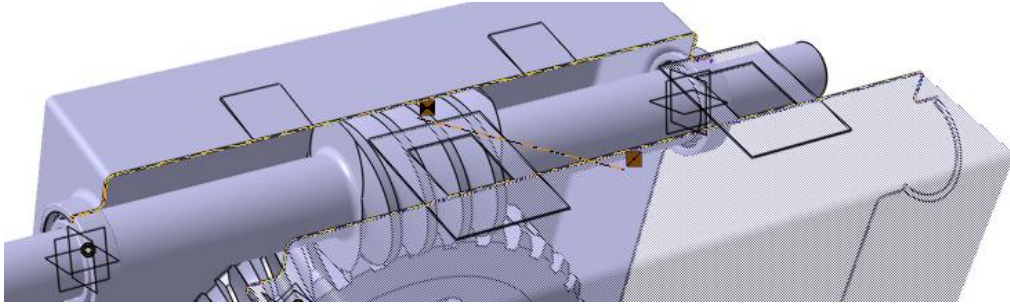
Слика 127.

Овим поступком је креирана кинематска веза пужног пара и њихов кинематски однос.

У окружењу **Assembly Design** врши се склапање последњег дела склопа тј. другог дела кућишта. Склапање се врши између делова кућишта опцијама **Coincidence Constraint** (слика 128., слика 129.) и **Contact Coinstraint** (слика 130.).

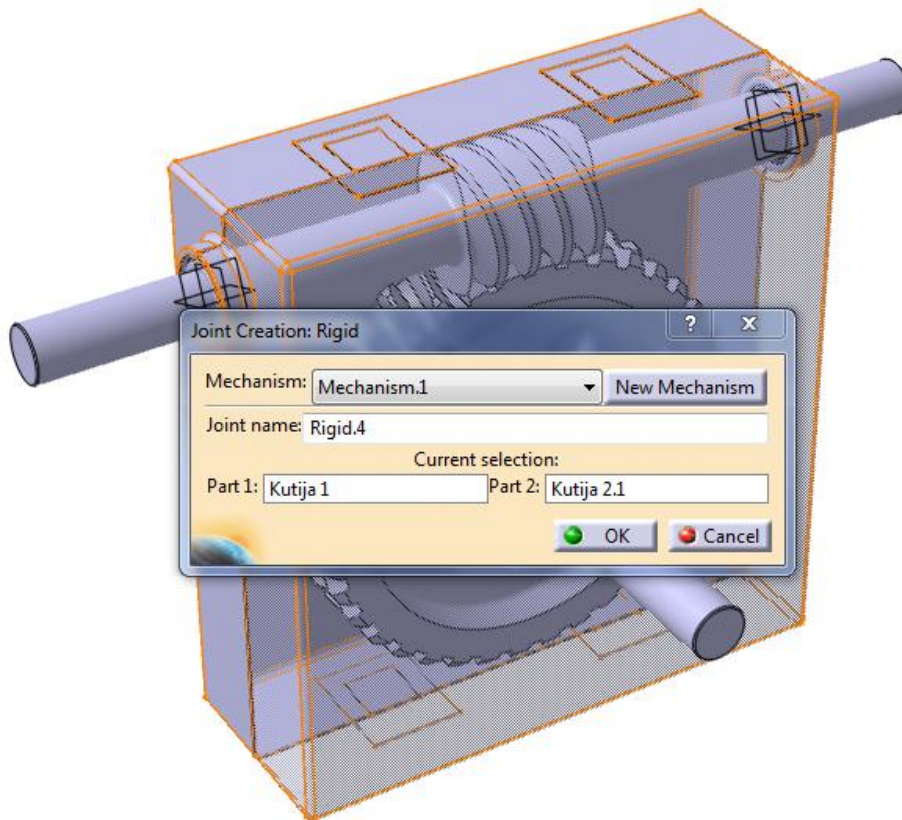


Слика 128. (лево); Слика 129. (десно)



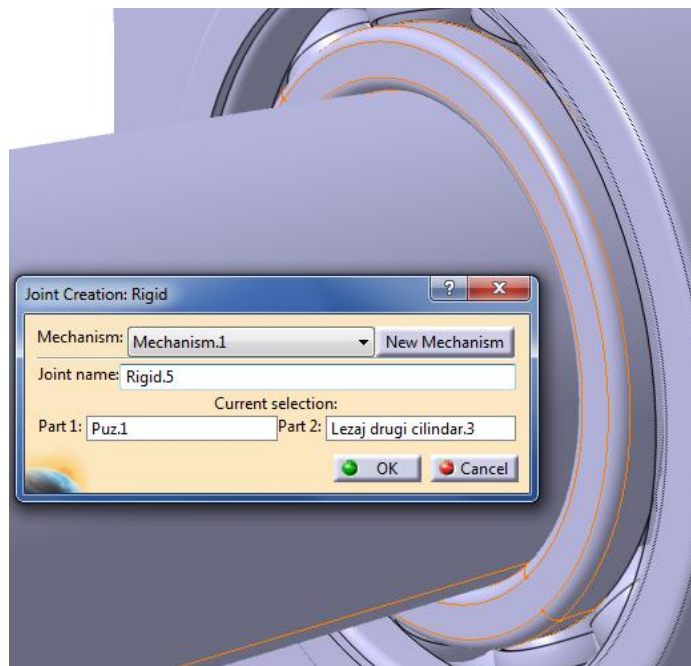
Слика 130.

Након тога образује се чврста веза **Rigid Joint**  између делова кућишта (слика 131.) у радном окружењу **DMU Kinematics**.



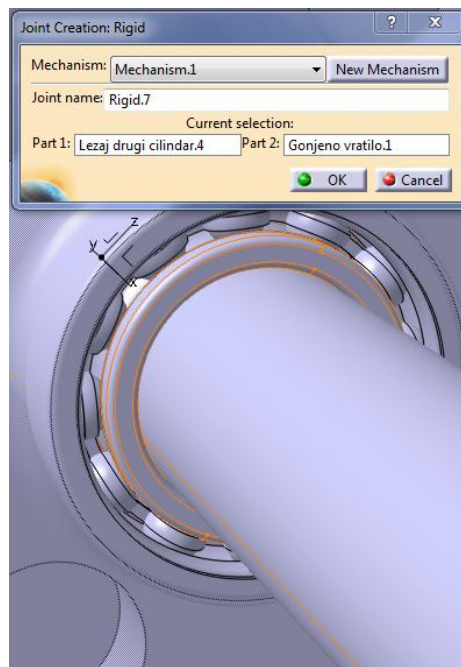
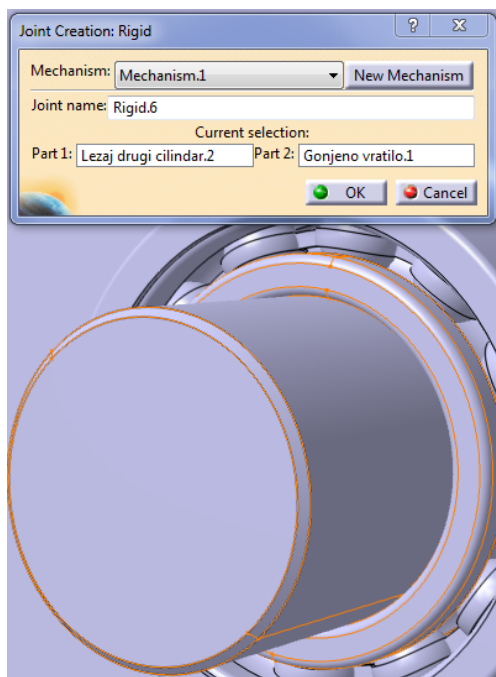
Слика 131.

У даљем раду, потребно је остварити чврсте везе опцијом **Rigid Joint**  између покретних делова лежајева и одговарајућих вратила. Формирање чврсте везе између покретног дела једног лежаја и пужа је приказан на слици 132.



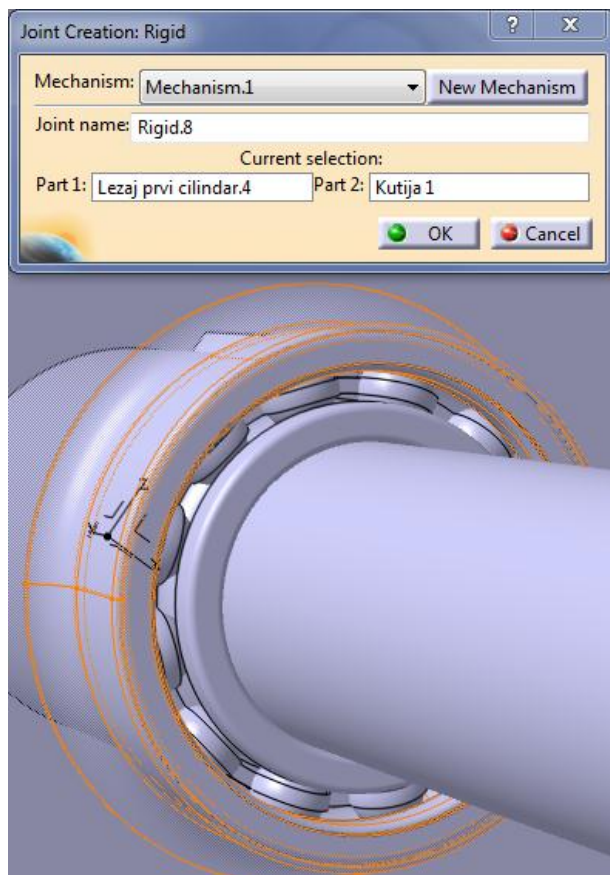
Слика 132.

Исти поступак се примењује и на другом крају пужа. Чврста веза између покретног дела задњег лежаја и гоњеног вратила се остварује опцијом **Rigid Joint**  (слика 133.), као и чврста веза између покретног дела предњег лежаја и гоњеног вратила (слика 134.)



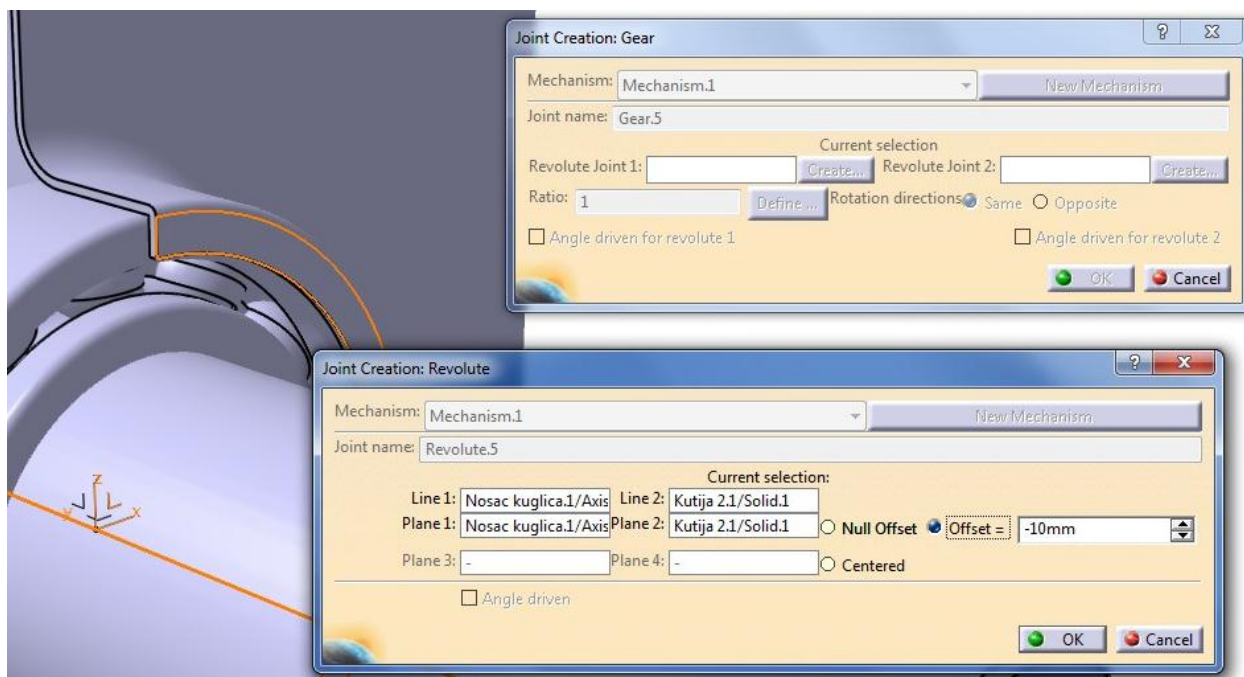
Слика 133. (лево); Слика 134. (десно)

Поред тога, потребно је остварити чврсту везу и између непокретног дела предњег лежаја и другог дела кућишта (слика 135.)



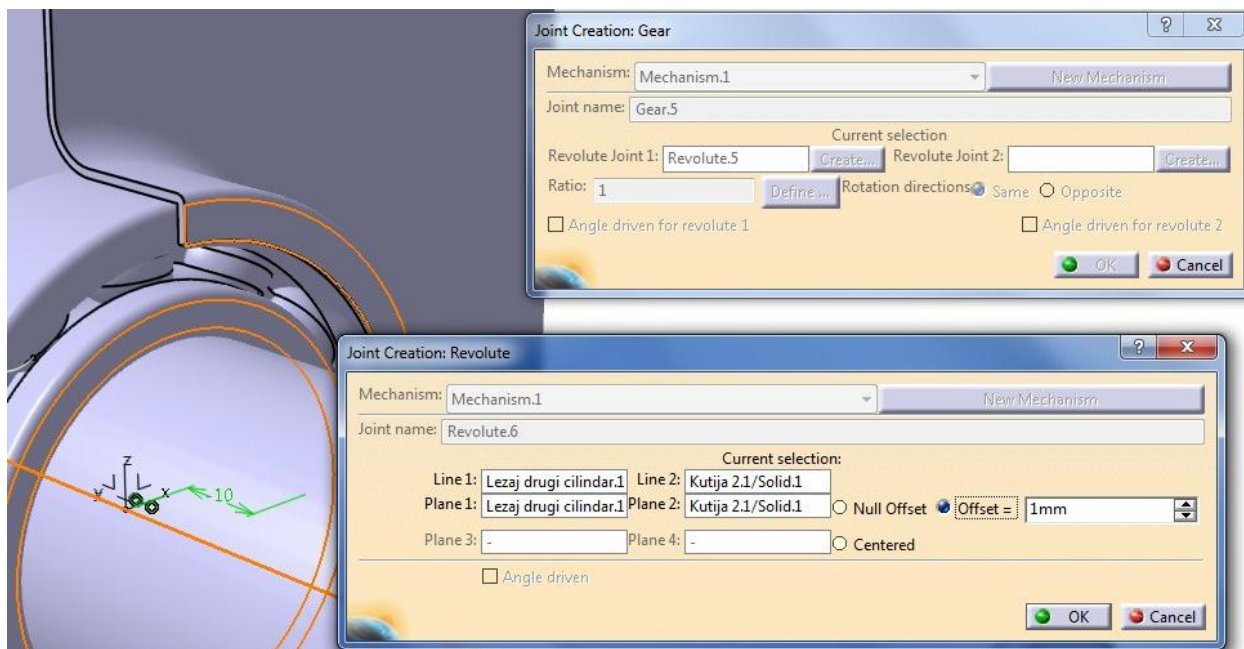
Слика 135.

Да би механизам могао да функционише потребно је дефинисати кинематске везе између носача гуглица и одговарајућег покретног дела лежаја. То се остварује опцијом **Gear Joint** . **Revolute Joint 1** се остварује селектовањем осе Y носача куглица и осе испупчења фиксног дела и селектовањем ZX равни носача и произвољне површине фиксног дела, паралелне равни ZX и чекирањем **Offseta**. Поступак је приказан на слици 136.



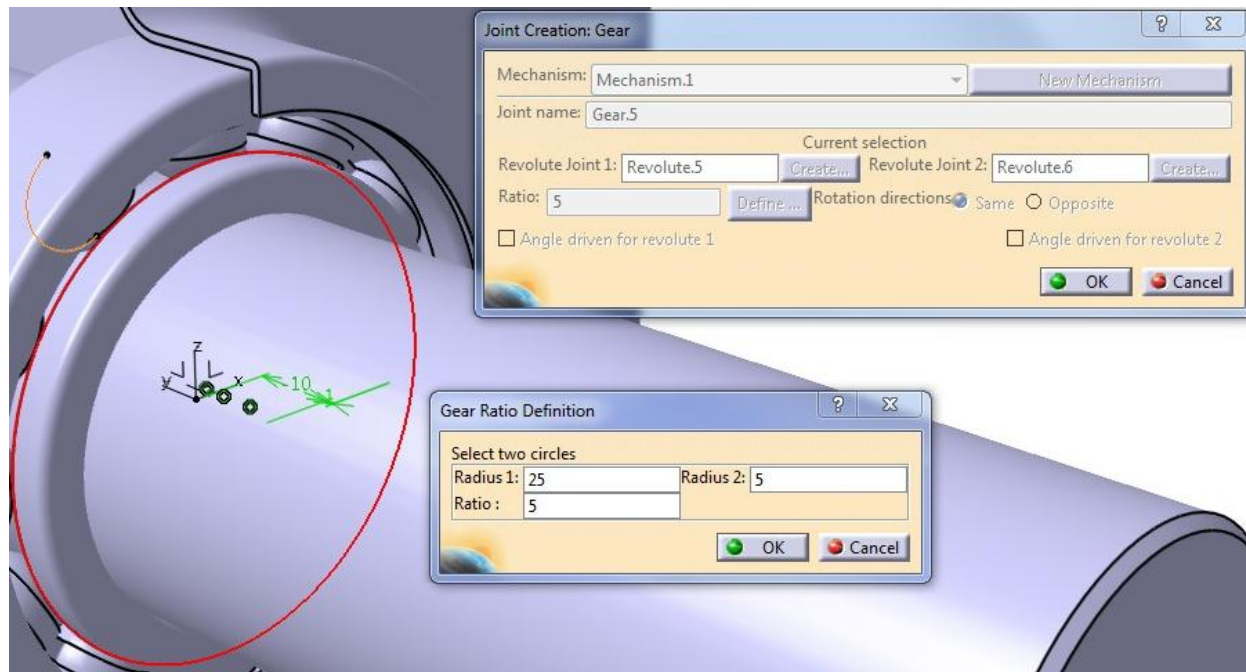
Слика 136.

Revolute Joint 2 се остварује селектовањем осе симетрије покретног дела лежаја и испупчења фиксног дела и међусобно паралелних површина као на слици 137. и чекирањем **Offset**-а.



Слика 137.

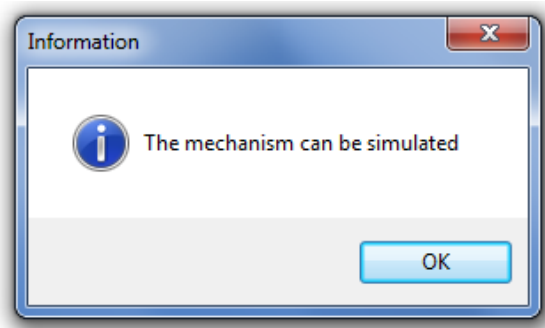
Након тога потребно је дефинисати кинемтски однос кликом на **Define** и селектовањем кружница покретног дела лежаја и куглице које су у контакту (слика 138.). Селектовањем кружница, аутоматски се дефинише кинематски однос у рубрици **Ratio**.



Слика 138.

На овај начин се дефинишу кинематске везе између осталих лежајева и одговарајућег вратила односно пужа.

Дефинисањем ових кинематских веза, дефинише се цео механизам у потпуности, када се појављује Pop Up прозор (слика 139.) који говори је механизам спреман за симулацију.



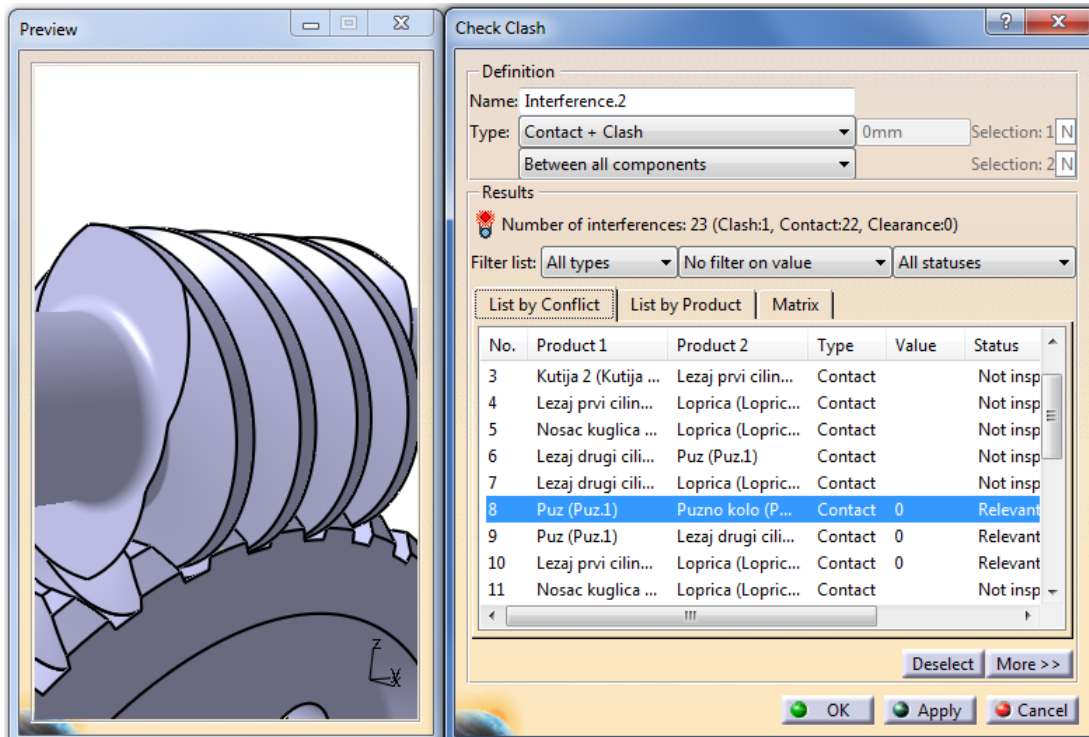
Слика 139.

Пре покретања симулације потребно је правилно позиционирати пужни зупчаник простом ротацијом око сопствене осе симетрије, опцијом **Manipulation** . Покретањем ове опције отвара се прозор (слика 140.) који нуди могућности манипулације делова склопа.



Слика 140.

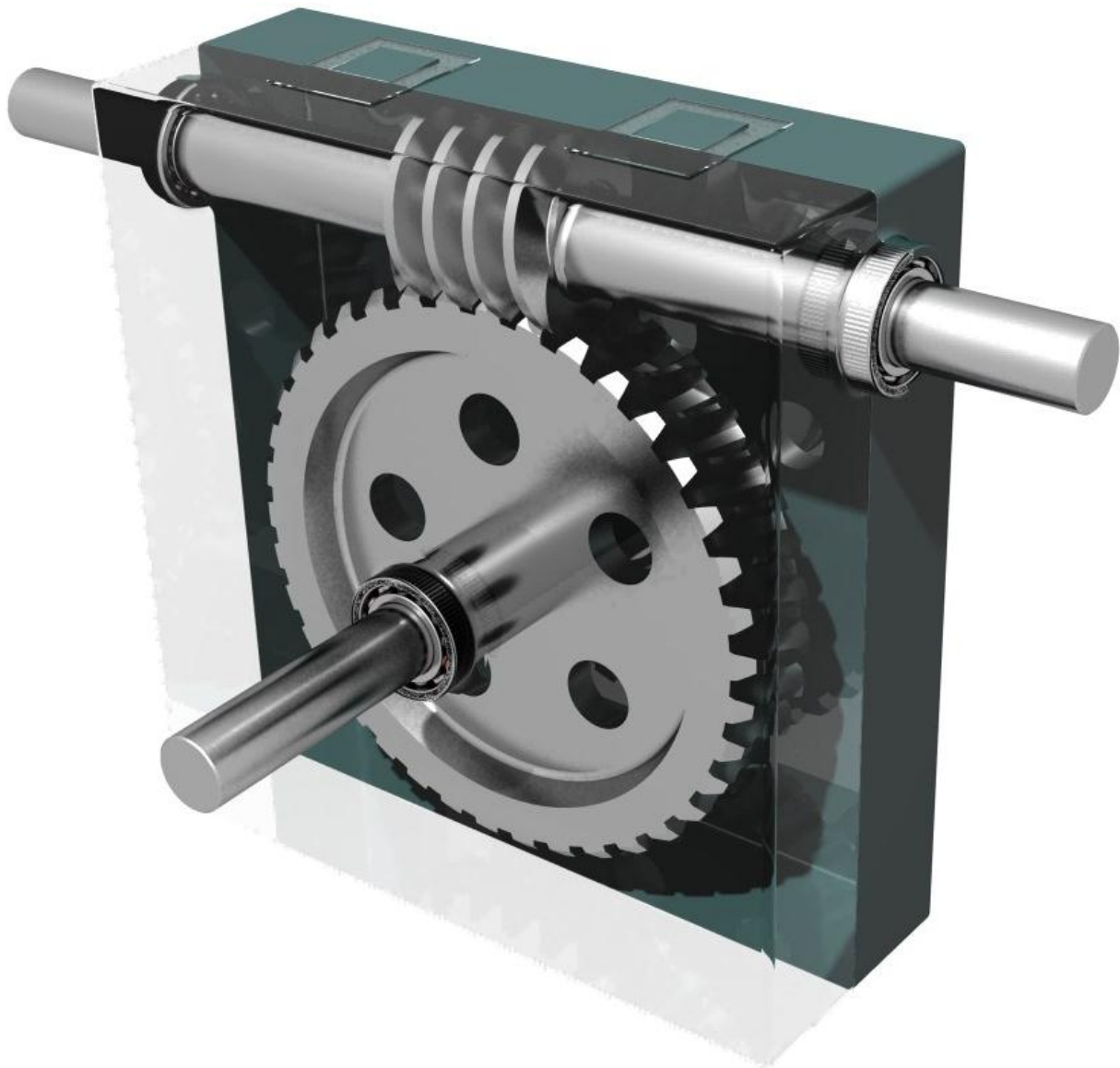
Правилно позициониран пужни зупчаник подразумева да не постоји преклопа у пужном пару, што се проверава опцијом **Clash** . Покретањем ове опције отвара се прозор где је потребно кликнути на **Apply** после чега се отвара прозор у коме се врши провера преклопа (слика 141.)



Слика 141.

У прилогу се види да постоји један преклоп. Тај преклоп представља чврсто налагање клина и главчине пужног зупчаника.

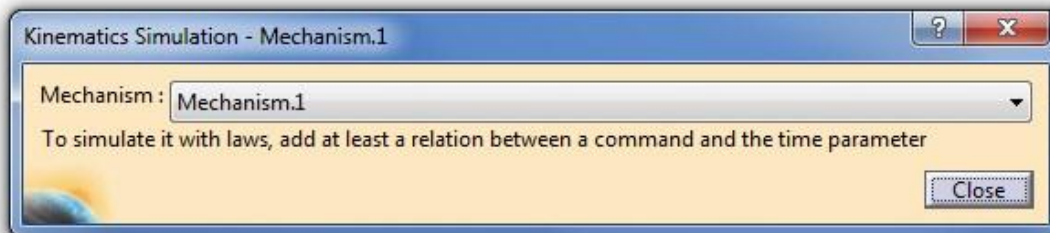
Финални изглед склопа са дефинисаним кинематским везама је приказан на слици 142.



Слика 142.

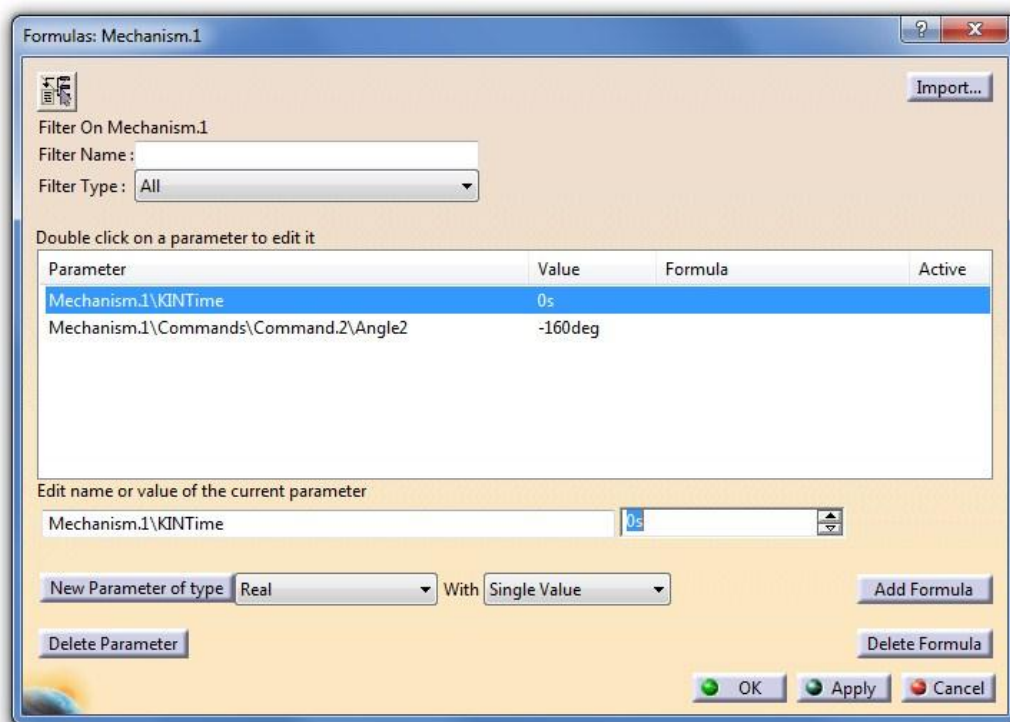
9. Симулација задавањем закона кратања

Одабиром опције **Simulation with Law**  из палете алата **Simulation**, аутоматски се отвара прозор (слика 143.) у коме је потребно навести механизам за који се жели извршити симулација.



Слика 143.

Покретањем опције **Formula**  из стандардне САТА палете, отвара се прозор за формуле са свим могућим параметрима. Селектовањем **Mechanism.1, DOF=0** из стабла, у прозору за формуле издвојени су параметри који су везани за одабрани механизам (слика 144.).

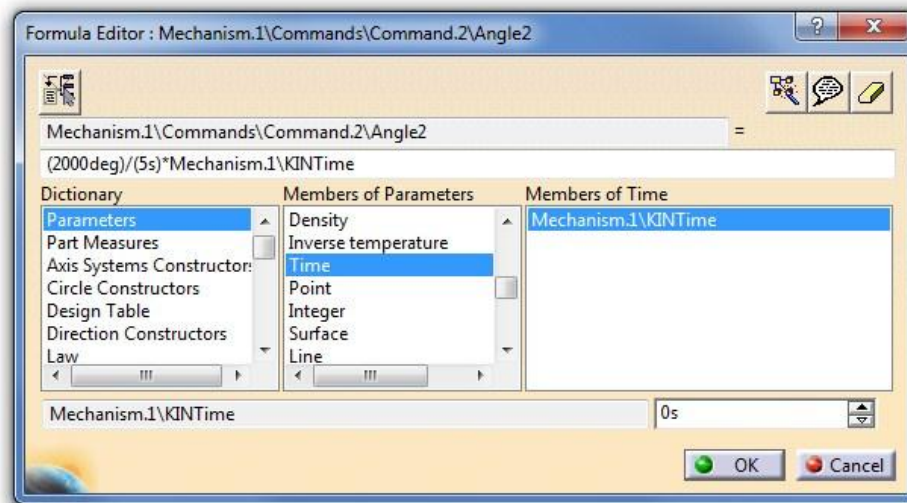


Слика 144.

Да би се унео закон кретања потребно је селектовати **Mechanism.1\Commands\Command.2\Angle2** а потом кликнути на **Apply**, чиме се отвара **Formula Editor** (слика 145.).

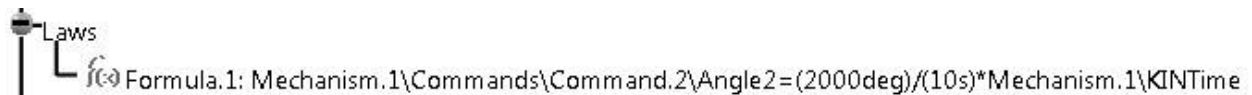
Из опције **Members of parameters**, селекује се време (**Time**) да би се оно појавило као аргумент функције. Формула која се уноси има облик:

Mechanism.1\Commands\Command.2\Angle2=(2000deg)/(5s)*Mechanism.1\KINTime



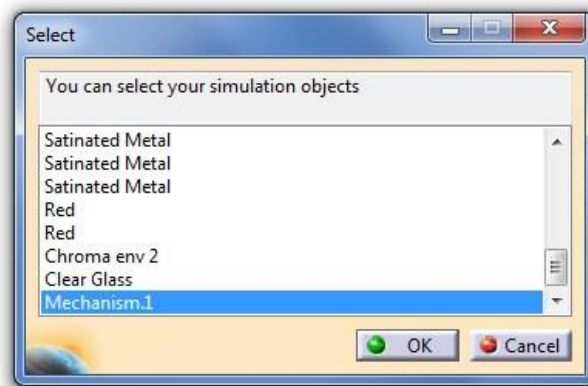
Слика 145.

Грана **Laws** има следећи облик:



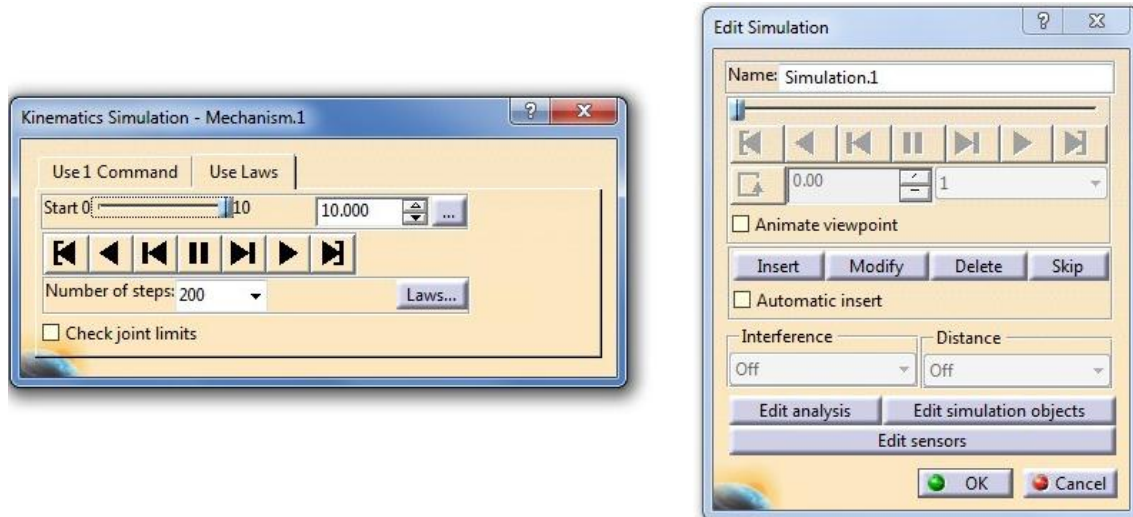
10. Симулација помоћу команди видео-плејера

Из палете алата **DMU Generic Animation** активира се опција **Simulation** . У Pop Up прозору треба селектовати **Mechanism.1** и кликнути на **OK** (Слика 146.).



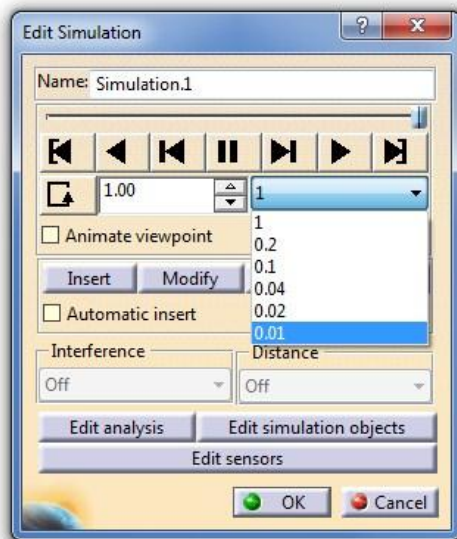
Слика 146.

Након тога, отварају се два Pop Up прозора (слика 147.).



Слика 147.

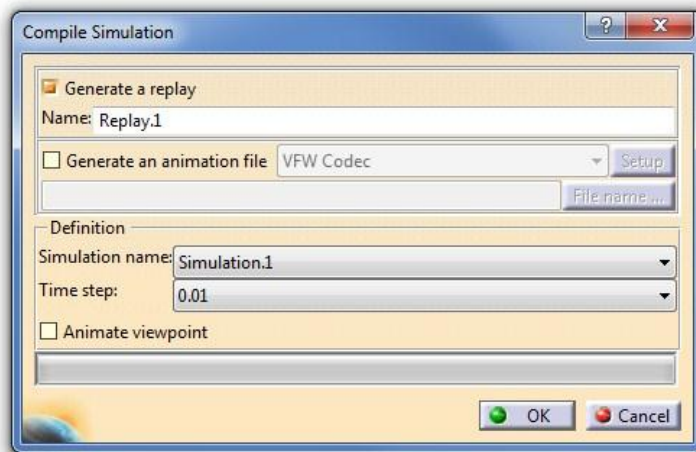
У **Kinematics Simulation** прозору, селекује се картица **Use Laws** а затим кликне **Play**. Када клизач дође у задњи положај, потребно је кликнути на **Insert**. Након тога, у прозору **Edit simulation** могуће је симуирати кретање (слика 148.).



Слика 148.

У селектованом дијалогу као на слици, могуће је подешавати корак симулације.

Да би се снимила симулација неопходно је из палете алата **Generic Animation** изабрати опцију **Compile Simulation** , којом се отвара прозор за уношење фајла, ко и брзине симулације, која се регулише помоћу временског корака **Time step** (слика 149.).

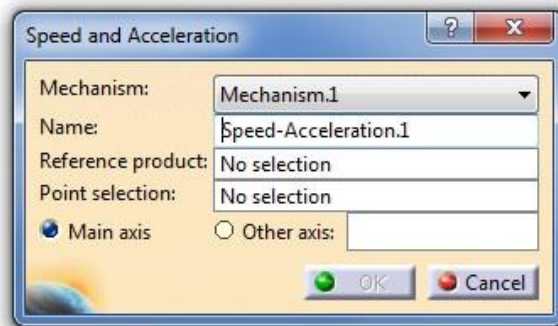


Слика 149.

Да би се симулација поновила, неопходно је из палете алата **Generic Animation** изабрати опцију **Replay** .

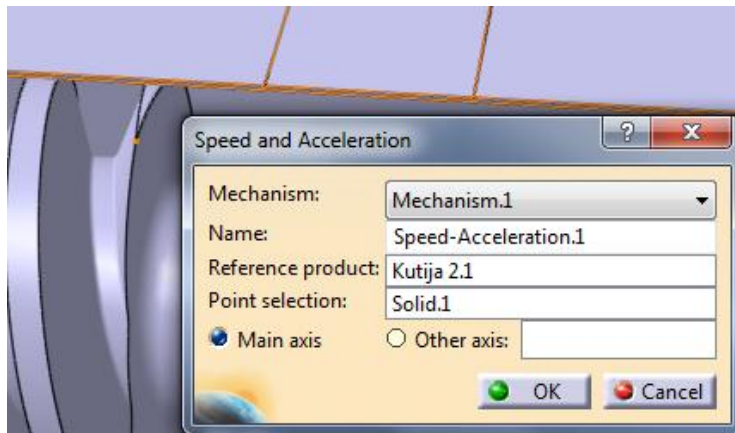
11. Дијаграмски приказ кинемтских величина

Из плете алата изабрати опцију **Speed And Acceleration** , чиме се отвара нови прозор (слика 150.).



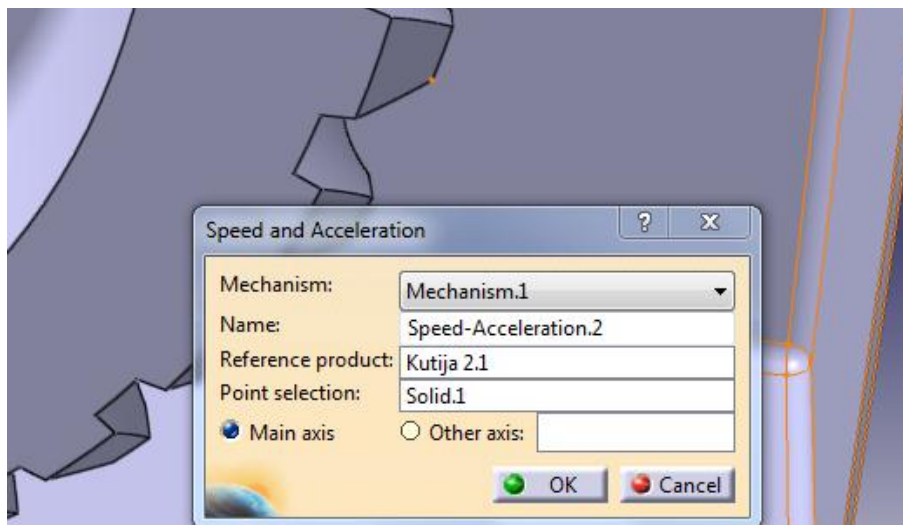
Слика 150.

За **Reference Product** потребно је изабрати фиксни део (део кућишта) а за **Point Selection**, тачку на пужном зупчанику (слика 151.).



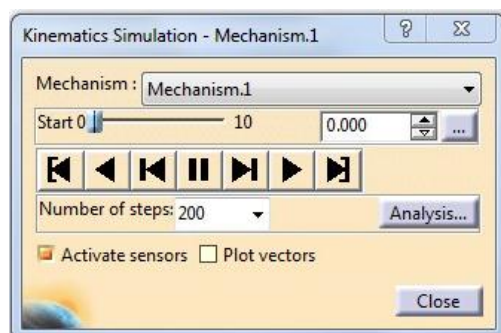
Слика 151.

Након тога, потребно је поновити поступак с тим што се за тачку узима тачка на пужном зупчанику (слика 152.).



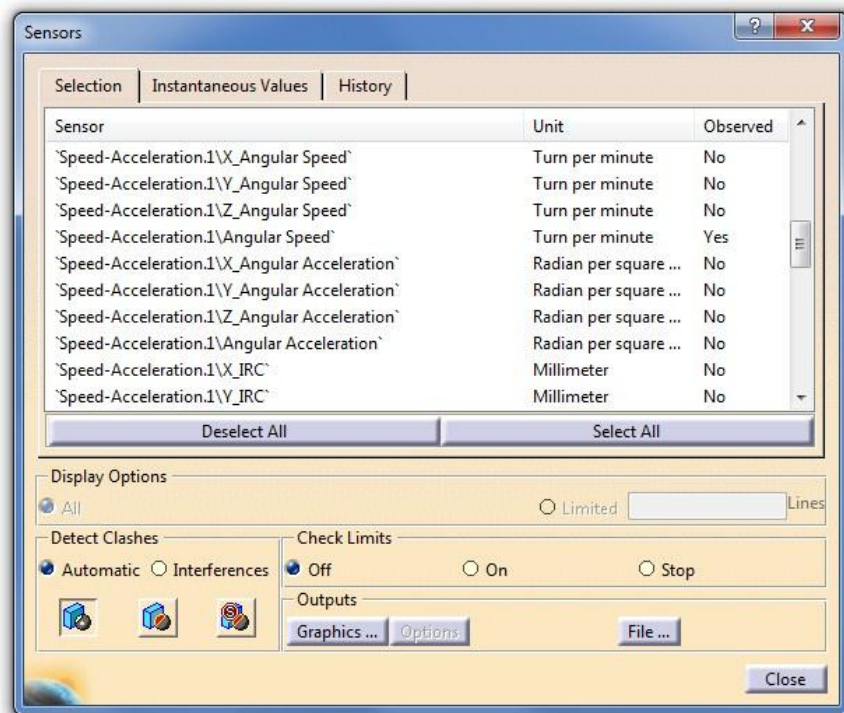
Слика 152.

Из палете алата **Simulation** неопходно је изабрати опцију **Simulation with Law**  којом се аутоматски отвара прозор за симулацију са активним тастерима видео плејера (слика 153.).



Слика 153.

Да би се графички преставила функција зависности угаоне брзине од времена, неопходно је чекирати **Active sensors** чиме се отвара прозор приказан на слици 154.



Слика 154.

Из групе сензора потребно је кликом активирати кинематске променљиве за које желимо графички приказ зависности. Како у овом механизму не постоји угаоно убрзање, потребно је активирати следеће кинематске променљиве:

Speed-Acceleration.1\Angular Speed

Speed-Acceleration.2\Angular Speed

Покретањем симулације ***Play***, описује се график који се по завршетку симулације може приказати кликом на тастер ***Graphics*** у прозору ***Sensors***.



График 1. Зависност угаоне брзине пужа од времена (жута линија)

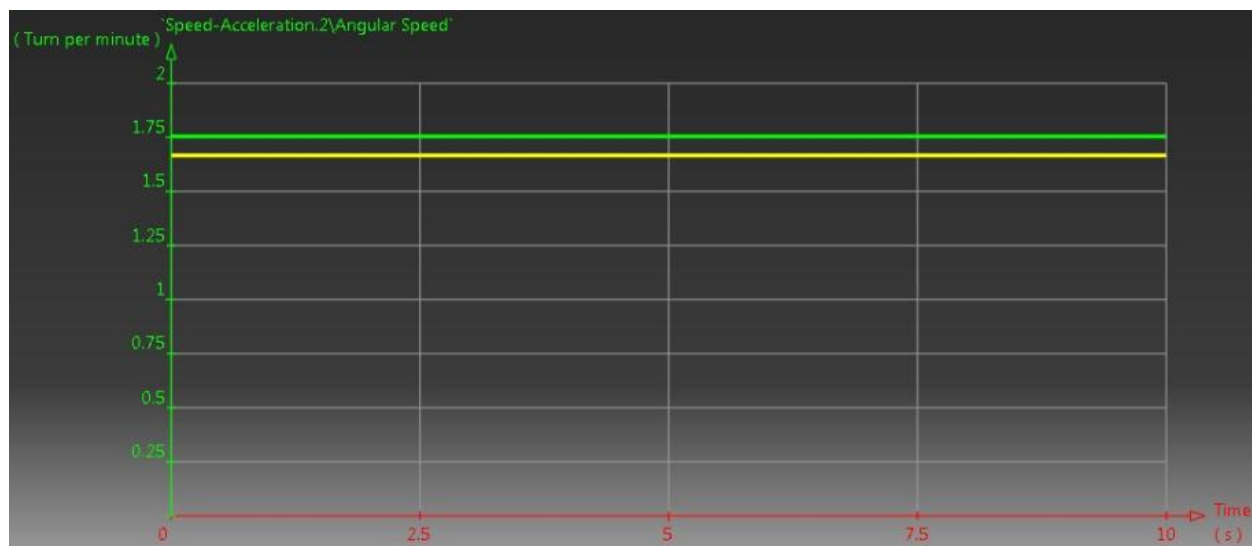


График 2. Зависност угаоне брзине пужног зупчаника (зелена линија)

Закључак

У овом раду су детаљно приказане смернице за израду 3D модела помоћу CAD алата у програму CATIA, израду склопа, дефинисање кинематских веза и симулације његовог рада. За израду модела коришћени су модули Part Design, Generative Shape Design, Assembly Design док је за симулацију рада коришћен модул DMU Kinematics. Циљ завршног рада на тему Кинематска симулација 3D модела пужног зупчастог пара механизма елевације код артиљериског оруђа био је да се на основу задатих вредности изврши прорачун, креира 3D модел и симулација његовог рада.

Моделирање и симулацију представљају активности на креирању модела реалног система, његовог склопова и симулацију рада и производње на рачунару. Циљ моделирања и симулације је употребљавање модела уместо реалног система ради одређеног сазнања, при чему се избегавају опасности експеримента над реалним системом. Модел не треба да репродукује стварност у потпуности већ да искаже само део структуре или понашања реалног система и што верније да пресликва стварност у складу са траженом сложености и ценом развоја.

CATIA се као пакет у овом процесу конструисања показао изузетно користан и брз алат те уз примену, у радну наведених смерница, цео процес израде модела и симулације урађен је за око 2,5 радна сата. Цена модела уз просечних 5€ по сату рада инжењера не прелази 1500 динара. Модел је у комплетности израђен од челика (из визуелних разлога, предњи део кутије је представљен од стакла) и његова укупна маса износи 36 kg. Од велике важности је познавање производне технологије и геометрије алата који се користе за израду делова како не би дошло до накнадног дорађивања модела и додатног утrophка времена и новца (погрешно је креирати модел који није могуће изградити технологијом која се тренутно користи у свету).

Литература

- [1] **Richard Cozzens**: *CATIA V5R17*, 8. издање, Јута, 2008.
- [2] **Г. Јовичић, Г. Бошковић**: *Компијутерски подржано инжењерство*, наставни материјал, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2015.
- [3] **Војислав Милтеновић**: *Машински елементи (облици, прорачун, примена)*, 7. издање, Ниш, 2009.
- [4] **Вера Николић**: *Машински елементи*, Крагујевац, 2004.