

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинскоинжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Инжењерски алати

Број индекса: 48/2012

Димитрије З. Ивановић 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:

- опише основне карактеристике савремених софтвера за конструисање подржано рачунаром,
- истражи и проучиначинетродимензионалноприказивањаобјеката,
- представи примену софтвера у моделирању сложених површина на примеру конкретног производа.

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.

Крагујевац,15.09.2016.Ментор:

др Ненад Марјановић, ред. проф.

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	1
1. УВОД	3
2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И КОНСТРУИСАЊЕ ПОДРЖАНО РАЧУНАРОМ	4
3. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ САВРЕМЕНИХ САД СОФТВЕРА	6
3.1. ПРОСТОРНО (3D) МОДЕЛИРАЊЕ	7
3.1.1. ПРЕДСТАВЉАЊЕ 3D ОБЈЕКТА	7
3.1.1.1. ЖИЧАНИ МОДЕЛИ	8
3.1.1.2. ПОВРШИНСКИ МОДЕЛИ	8
3.1.1.3. ЗАПРЕМИНСКИ МОДЕЛИ	10
Моделирање CSG моделапомоћугеометријскихпримитива	10
Моделирањеоперацијомизвлачења	12
Моделирање "граничном" презентацијом B-rep.	15
Хибридномоделирање	16
3.1.2. ИЗБОР МОДЕЛА	16
3.2. ДВОСМЕРНА АСОЦИЈАТИВНОСТ (BIDIRECTIONAL ASSOCIATIVITY)	17
3.3. ПАРАМЕТАРСКО МОДЕЛИРАЊЕ	18
3.4. МОДЕЛИРАЊЕ СКЛОПА	18
4. ПРИМЕНА СОФТВЕРСКОГ ПАКЕТА САТИА	20
4.1. МОДЕЛИРАЊЕ СЛОЖЕНИХ ПОВРШИНА	21
5. ЗАКЉУЧАК	33
6. ЛИТЕРАТУРА	34

Резиме

У оквиру завршног рада је показано на који начин се моделирају сложене површине у CAD софтверу. CAD софтвер који је коришћен у овом раду је CATIA. Почетак рада је посвећен функцији CAD софтвера и самом раду CATIA програма. У наставку је објашњено на који начин се моделирају сложене површине у CATIA софтверу. Наведени су неки типови моделирања, објашњене њихове функције као и њихове предности и мане. У последњој тачки рада су коришћене функције модула *Generative Shape Design Part Design*, показане њихове могућности кроз моделирање штампача.

Кључне речи: моделирање, сложене површине, штампач, CATIA.

Summary

Within the final work is showed how to model complex surfaces in CAD software. CAD software that has been used in this work is CATIA. Getting started it is dedicated to function of CAD software and the work of the CATIA program. In the process it is explained how to model the complex surfaces in CATIA software. Some types of modeling are listed, explanation of their functions and their advantages and disadvantages. In the last point of work used functions are *Generative Shape Design* and *Part Design*, it is showed their capabilities through modeling printer.

Key words: modeling, complex surfaces, printer, CATIA.

1. УВОД

Развој нових технологија, а посебно развој рачунара и информатике, омогућио је аутоматизацију процеса и поступака у многим фазама индустријске производње. Уз примену рачунара процес пројектовања и конструисања делова, као и израда техничке документације, одвијају се много брже и једноставније.

Данас је примена рачунарских технологија у пројектовању, моделирању, анализи и производњи постала традиција. Применом аутоматизације и рачунара рационализује се рад у фази конструисања производа, обезбеђена је поновљеност процеса, смањена могућност појаве грешака, што директно утиче на повећање квалитета производа. Поред тога, просторно моделирање омогућава квалитетнију презентацију и визуелацију производа.

На данашњем тржишту понуди је велики број програма за пројектовање, анализе, тестирање и израду производа, међу којима су најзаступљенији *Autodesk Inventor*, *Pro/Engineer*, *SolidWorks*, *Pro/Desktop*, *Catia*. Принципи моделирања у овим софтверима су слични и стога је тешко одредити који софтверски пакет је оптималан у датим условима. У овом завршном раду представљена је примена програмског пакета *Catia* у моделирању кућишта штампача.

После уводног дела, следи поглавље у коме су наведени основни појмови и дефиниције у области пројектовања и моделирања. Затим су представљене основне карактеристике савремених CAD софтвера и концепти програмског пакета *CATIA*. У наставку је дат преглед основних метода и начина за креирање просторних модела: жичани, површински и запремински модел. Следе резултати практичног рада, креиран просторни модел кућишта штампача и његов реалистични приказ. У оквиру овог поглавља описан је поступак како се креирају и модификују просторна тела и сложене површине. На крају рада дати су закључци и списак коришћене литературе.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И КОНСТРУИСАЊЕ ПОДРЖАНО РАЧУНАРОМ

Под пројектовањем се подразумева процес стварања новог производа, изналажење научно оправданог инжењерског решења, које се технички може остварити и које је економски исплативо. У оквиру пројектовања врши се избор начина функционисања, избор концепције, дефинисање система који може да обави постављени задатак, при датим условима и ограничењима, одређују се основни технички параметри, врши се њихова оптимизација и сл[1].

Под конструисањем се подразумева дефинисање и узајамно распоређивање елемената и подсклопова неке машине или уређаја. Конструисањем се дефинише и начин монтаже, узајамно дејство елемената, конструкциони облик, карактеристичне димензије, дозвољена одступања, материјал, термо-хемијска обрада, површинска храпавост, површинска заштита као и општи технички захтеви. Конструисање се базира на резултатима пројектовања и прецизира сва инжењерска решења која су настала при пројектовању. Конструисање је креативни процес који се одвија по узастопним етапама при чему се полази од идеје, а на крају се добија конструкционо технолошка документација за производњу машинског система[1].

Данас се све активности, при пројектовању и конструисању, обављају посредством рачунара. Основна предност примене рачунара је у томе што омогућава да се направи геометријски модел производа који се може подесити и изменити много лакше од физичког модела. Конструисање подржано рачунаром (*CAD – Computer Aided Design*) се може дефинисати као примена рачунара и графичког софтвера за помоћ при изради или побољшању конструкције производа, од конципирања до израде документације.

Применом CAD-а постижу се многоструке предности:

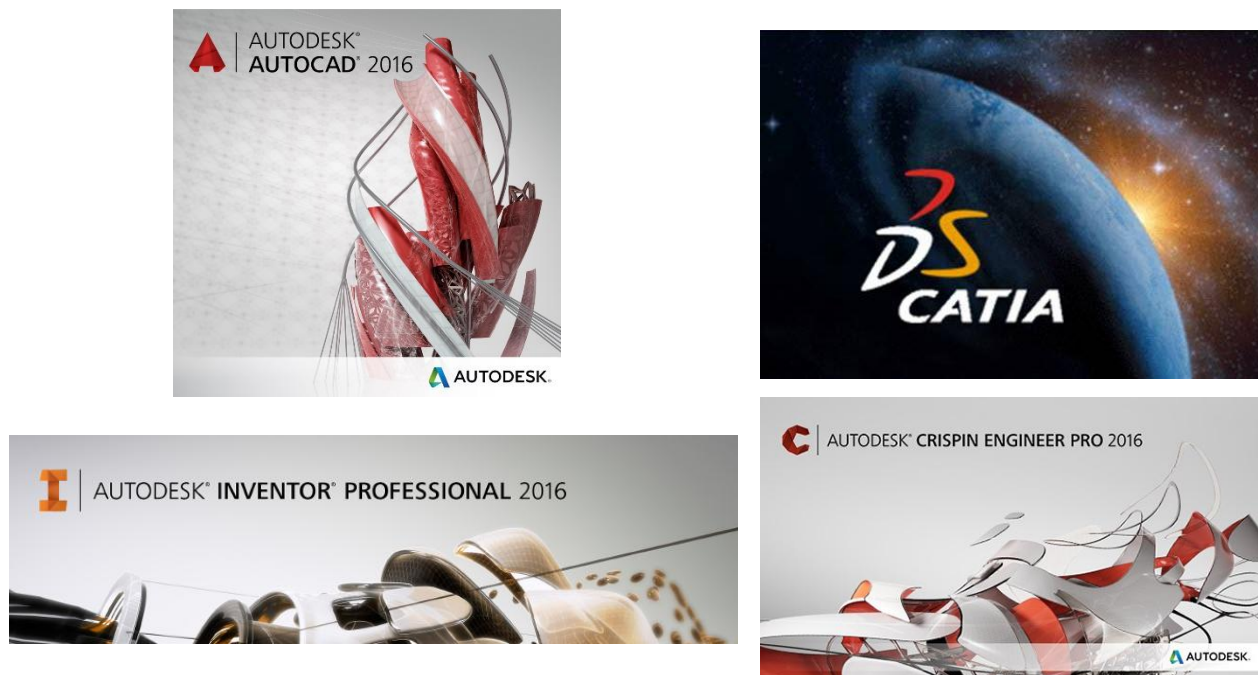
- Повећање продуктивности (брзина)
 - Аутоматизација рутинских послова ради повећања креативности,
 - Коришћење модела стандардних делова и облика,
 - Репид прототупинг.
- Подршка изменама на конструкцији
 - Нема потребе за поновним цртањем свих делова после сваке измене,
 - Чување претходних конструкционих итерација.
- Комуникација
 - Са другим тимовима/инжењерима (кооперанти, добављачи, наручиоци, ...),
 - Са другим софтверима (*CAD, CAM – Computer Aided Manufacturing* - рачунаром подржана производња, *CAE – Computer Aided Engineering* - рачунаром подржано инжењерство, ...),

- Са маркетингом (реалистичан приказ конструкције),
- Уредност (високо квалитетни цртежи).
- Неке основне анализе
 - Особине и напони (маса, моменти инерције, основи *FEA- Finite element analysis*-анализа методом коначних елемената, ...),
 - Неусаглашеност између делова склопа (преклапање).

Применом рачунара, при пројектовању и конструисању, омогућава се потпуна компјутеризација процеса производње (*CIM - Computer Integrated Manufacturing* - компјутером интегрисана производња) што је основни циљ савремене производње. Наиме, да би се обезбедила брза израда квалитетних и јефтиних производа неопходно је омогућити узајамну повезаност, свеобухватност и доступност свим подацима потребним за производњу[2], [3].

3. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ САВРЕМЕНИХ CAD СОФТВЕРА

Интензиван развој персоналних рачунара условио је и развој CAD софтвера. Из потребе за све краћим временом од идеје до готовог производа, јавила се потреба за све комплекснијим програмима, којима се могу ефикасније и брже решавати инжењерски проблеми. Од тренутно на тржишту доступних CAD програма могу да се издвоје следећи (слика 3.1): *AutoCAD*, *CATIA*, *Autodesk ENGINEER PRO*, *Autodesk Mechanical Desktop*, *Autodesk Inventor*, и многи други. Један од најпопуларнијих програма је *CATIA* – *Computer Aided Three Dimensional Interactive Application* (рачунаром подржан тродимензионални интерактивни програмски пакет) чија је основна карактеристика отвореност система преко многобројних директних транслятора и неутралних формата записа, као што су *DXF*, *IGES*, *STEP*, *SET*, итд.



Слика 3.1 Примери CAD софтвера

Основне карактеристике савремених CAD софтвера су:

- Просторно моделирање,
- Асоцијативност,

- Параметарско моделирање,
- Моделирање склопова и др.

3.1. ПРОСТОРНО (3D) МОДЕЛИРАЊЕ

Просторно моделирање подразумева да се будући производ и његови делови креирају, приказују и чувају као просторни (запремински) објекти, што они у стварности и јесу. То је процес виртуелног представљања објекта (модела) у циљу његовог развоја, трансформације, манипулације, чувања, али и даље примене[2], [3]. Модел је виртуелни објекат дефинисан скупом тачака, а који садржи одређени скуп информација које се могу користити и на основу којих се могу развијати нове информације[4].

Просторни приказ конструисаног дела или склопа омогућује да се већ у фази конструисања сагледа тачан изглед производа (који се уз то може и ротирати и померати у простору) тако да конструктор, већ у почетној фази стварања производа, може видети да ли га дати облик задовољава или не. Поред тога, захваљујући могућности "померања" делова у простору конструктор може видети да ли ће се дотични склоп моћи монтирати (саставити) или не и сл. Рачунаром је, такође, могуће извршити и разне симулације кретања делова у оквиру склопа тако да се већ у фази конструисања може установити функционалност склопа[1].

Рачунаром је могуће симулирати и понашање конструкције при дејству одређеног оптерећења тако да је могуће установити критичне тачке, ако постоје, и извршити реконструкцију производа (повећање дебљине, пречника, радијуса и сл.) чиме се знатно брже и без икаквих трошкова обезбеђује квалитетнији производ.

3.1.1. ПРЕДСТАВЉАЊЕ 3D ОБЈЕКТА

Рачунарски модел производа може да се представи помоћу 2D цртежа или 3D модела. Класичан приступ, по коме се 3D објекат представља помоћу његове три ортогоналне 2D пројекције, има више недостатака. Он захтева темељно познавање нацртне геометрије, а такође 3D објекат произвољног облика тешко се с довољном тачношћу представља помоћу његове три 2D пројекције[4].

Израда тродимензионалних 3D модела помоћу рачунара нуди више предности. Такви модели омогућавају даље анализе и знатно олакшавају накнадни процес производње делова. Од 3D модела и виртуелних склопова може се на лак начин израдити класични дводимензионални 2D технички цртеж[5].

У основи постоје три врсте рачунарских 3D модела:

- Жичани модел (*wireframe* модел),
- Површински модел (*surface* модел) и

- Запремински модел (*solid* модел).

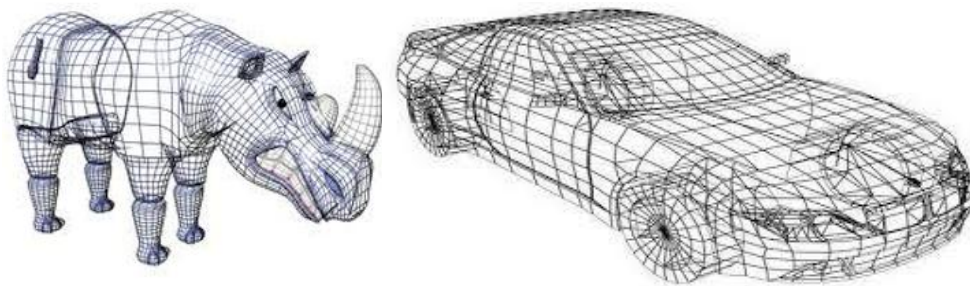
Разлике међу њима могу се илустровати на моделу правоугаоне кутије. Жичани модел кутије састоји се од 12 праволинијских сегмената. Њен површински модел садржи шест површина. Запремински (пуни) модел кутије представља јединствен, пун објекат (који има запремину).

3.1.1.1 ЖИЧАНИ МОДЕЛИ

Један од најједноставнијих метода креирања 3D објеката је њихово конструисање из скупа међусобно неповезаних кривих које идентификују његове главне геометријске особине. Такав метод је познат као жичани модел јер изгледа као да је објекат конструисан од жице[3], [4].

Жичани модел приказује објекат као скуп темених тачака и скуп тачака граничних ивица[6]. Он дефинише елементарна својства објекта: контуру (форму) објекта, оријентацију у односу на окружење и функцију. Креира се повезивањем врхова објекта правим или кривим линијама. Сходно томе, жичани модел не садржи никакве информације о површинама или запремини – само о ивицама и теменима[4].

На слици 3.2 приказани су жичани модели објеката произвољног облика. На њој се виде само ивице на којима се сусрећу површине, али самих површина нема у моделу. Пошто нема података о површини и запремини објекта, а „жице“су без дебљине, модел не може да се прикаже реалистично.



Слика 3.2 Жичани модели

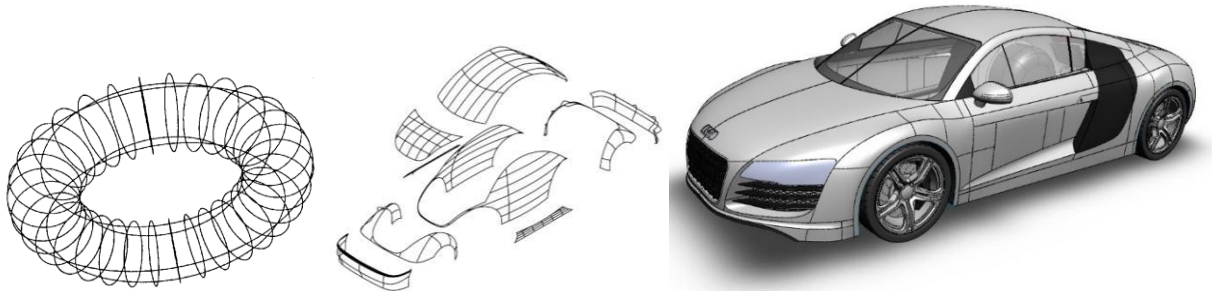
Жичани модел има ограничену примену у производњи делова. Помоћу жичаног модела не могу да се процене особине објекта (запремина, површина тежиште), да се открије неслагање саставних делова нити да се изведу друге важне анализе.

3.1.1.2. ПОВРШИНСКИ МОДЕЛИ

У циљу моделирања сложених површи, појавили су се површински модели, што је било посебно од значаја за аутомобилску и ваздухопловну индустрију. Површински модел је описан теменим тачкама, граничним ивицама и граничним површинама (скупом тачака на површинама)[6]. Овај опис је детаљнији од жичаног и омогућава формирање пресека елемената у склопу.

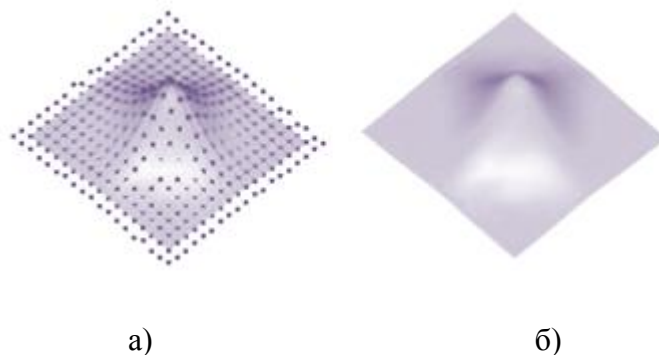
Површински модел представља надоградњу жичаног модела информацијама о површинама (лице/наличје, боје, спајање и континуитети). За површинско моделирање се користе равне, параметарске или интерполиране (*fillet*) површине.

Пошто површински модел представља скуп површина, за његово прављење потребно је конструисати појединачне површине. Оне се најлакше конструишу ако се нацрта скуп кривих од којих рачунар аутоматски ствара површину. На слици 3.3 су приказани површински модели торуса и аутомобила.

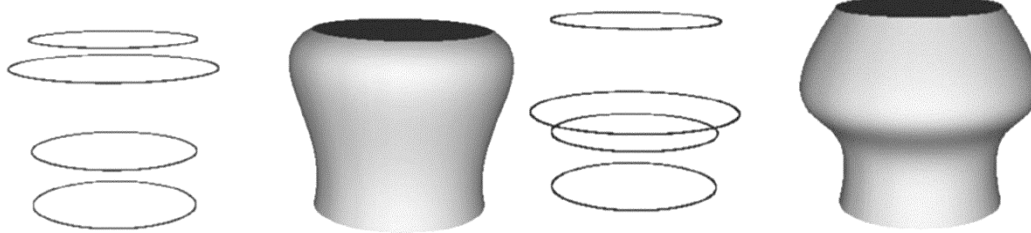


Слика 3.3 Површински модели

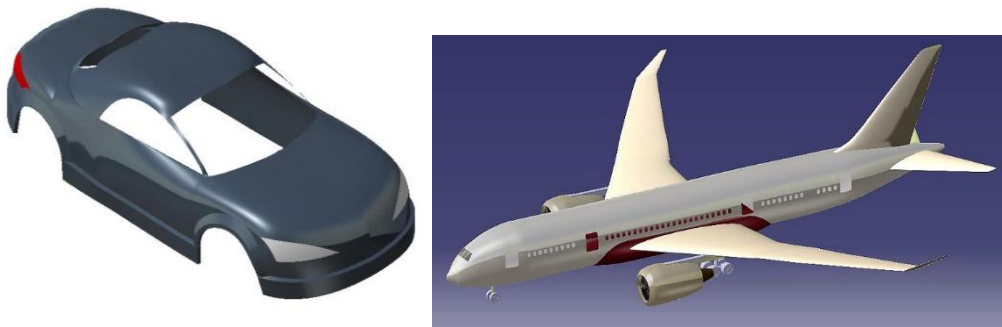
Површински модели се најчешће користе за представљање 3D објеката произвољног облика (енгл. *free-form objects*). Систем површинског моделирања ради помоћу објеката типа *NURBS* (неуниформна рационална крива типа Б – *Non-Uniform Rational B-Spline*), параметризоване математичке криве, које могу да се модификују померањем контролних тачака. При креирању површинског модела, прво треба да се конструише његов скелет (*framework*) од 3D кривих као подлогу за површину. После тога задаје се врста површине коју рачунар аутоматски генерише (слика 3.4, слика 3.5 и слика 3.6).



Слика 3.4 ПОВРШИНА ПРОИЗВОЉНОГ ОБЛИКА (*free-form surfaces*): (а) контролне тачке, (б) *NURBS* површина дефинисана преко контролних тачака



Слика 3.5 Површине произвољног облика генерисане применом различитих граничних услова



Слика 3.6 Примери сложених површина

3.1.1.3. ЗАПРЕМИНСКИ МОДЕЛИ

Пошто ни жичани ни површински модели нису могли произвести недвосмислен модел производа, развијени су запремински 3D модели (*3D solid models*) модели, у којима се користе два типа презентације: и моделирање коришћењем геометријских примитива запремине (*CSG - Constructive Solid Geometry*) и гранична репрезентација (*B-rep - Boundary representation*)

Запремински модели садрже највише података о објекту. Они обухватају интегрисане математичке податке о површинама, ивицама и запремини објекта[5]. Осим за визуелизацију и производњу, подаци које садржи запремински модел могу да се искористе и за пројектне прорачуне.

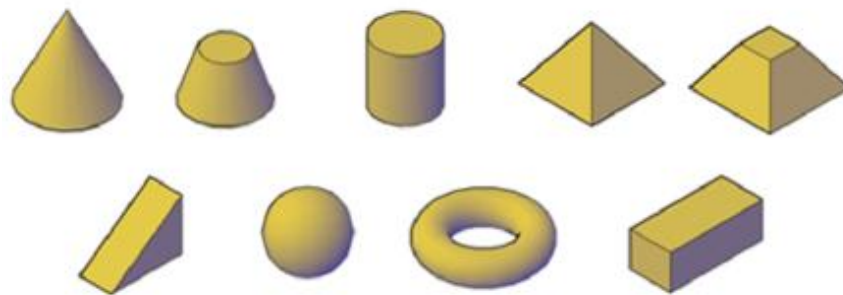
За формирање солид модела користе се Боолеове операције са примитивима или се модели креирају од скупа кривих које се затим трансформишу помоћу четири основне методе: извлачењем (*extrude*), обртањем (*revolve*), сложеним извлачењем дуж путање (*loft*) и простим извлачењем дуж путање (*sweep*).

Моделирање CSG модела помоћу геометријских примитива

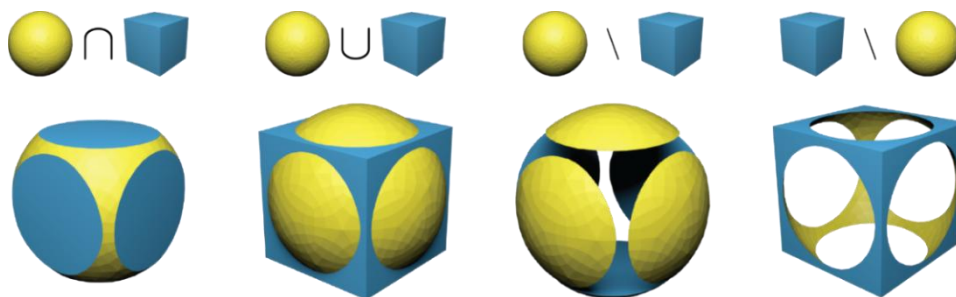
Многи објекти могу бити математички описани помоћу основних геометријских облика тзв. "примитива" као што су коцка, права четворострана и тространа призма, сфера, конус,

торус, цилиндар (слика 3.7). CSG је метод за креирање запремина коришћењем примитива објеката који се повезују операцијама Булове(*Boolean*) алгебре (унија, пресек и разлика). Слика 3.8 приказује како се свака од поменутих операција користи за дефинисање различитих форми. Критично место је простор где се два објекта преклапају и ту су евидентне разлике у Буловим операцијама. Унија представља у принципу сабирање два објекта који се комбинују. Запремина финалног објекта, и на месту преклапања, је јединствена. Код операције одузимања треба пазити шта се одузима и од чега, и овде се поље преклапања уклања. Са операцијом пресека дефинише се, практично, поље преклапања два објекта.

Код операција уније, слично математичкој операцији сабирања, нема утицаја редослед примитива код сабирања. Са друге стране, код операције разлике, редослед примитива је веома важан (слика 3.8). Код Булове операције разлике резултујућа геометрија зависи од тога која примитива је прва у једначини[1].

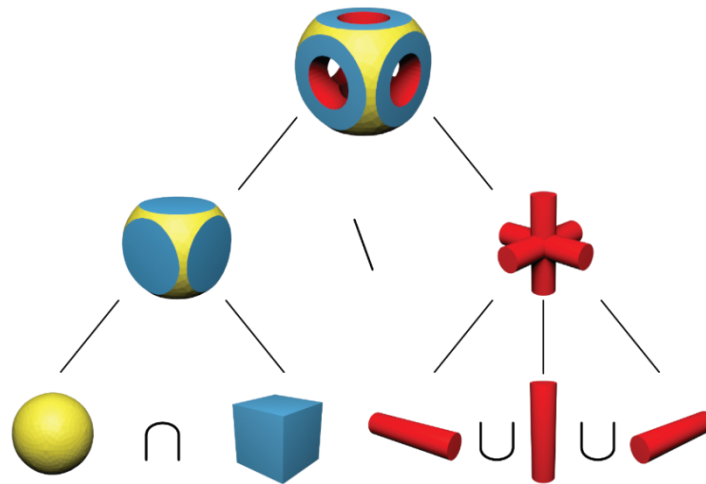


Слика 3.7 Геометријски 3D примитиви



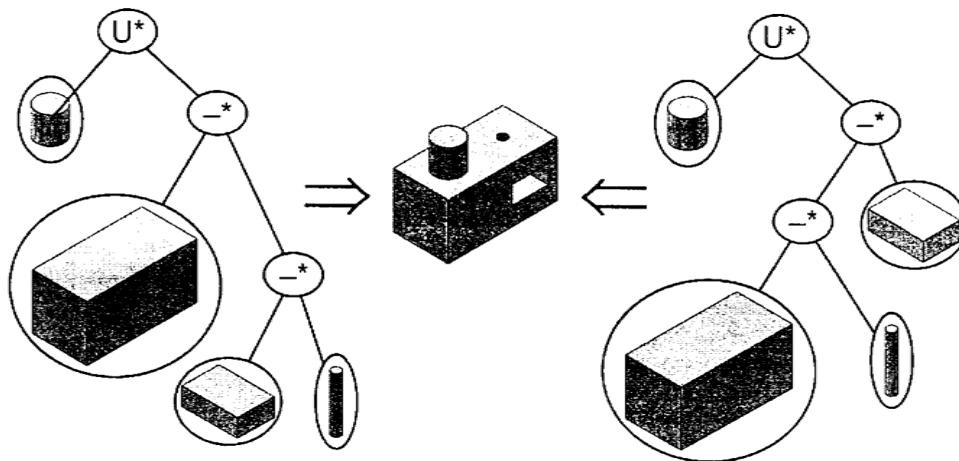
Слика 3.8 Примери примене Булових операција [7]

Објекти се меморишу у облику структуре разгранатог стабла са операторима као унутрашњим чворовима и примитивима и интермедијалним сложеним објектима као листовима (слика 3.9). Позитивна карактеристика CSG модела је у томе што се “историја” процеса моделирања дела чува заједно са моделом[1].



Слика 3.9 Пример примене Булових операција [7]

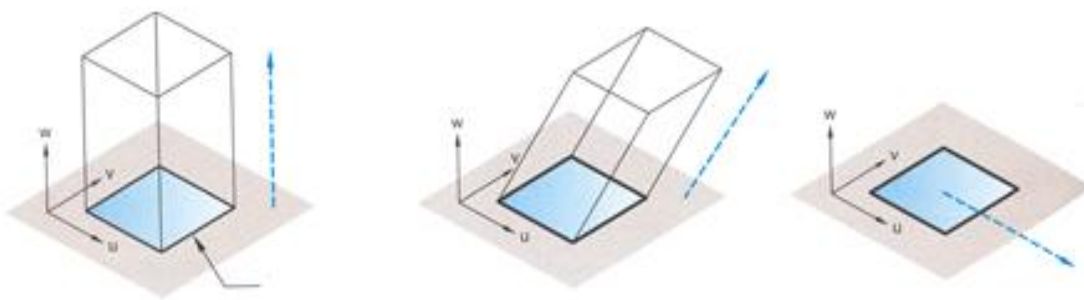
Историја моделирања не мора бити јединствена, тј. постоји много различитих начина на које се примитиви, трансформације и оператори могу искористити тако да се добије један исти модел (слика 3.10)[8].



Слика 3.10 Различити начини добијања коначног модела коришћењем геометријских примитива [8]

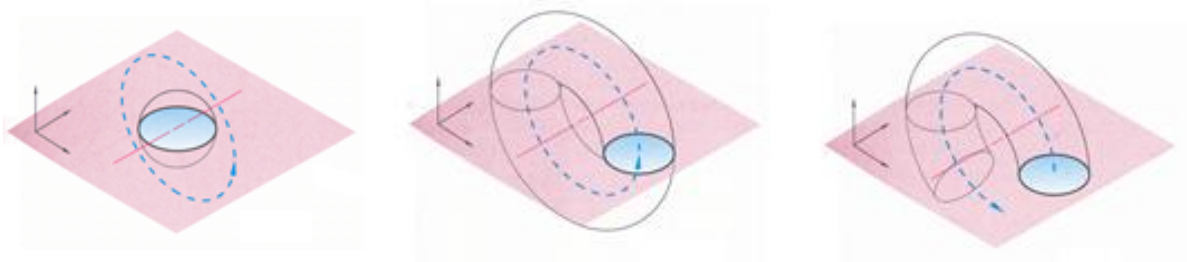
Моделирање операцијом извлачења

Код овог поступка моделирања, затворени полигон - профил нацртан у равни се транслаторно помера или извлачи дуж дефинисане путање за дефинисану дужину. У најједноставнијем случају, путања извлачења је линеарна и резултат извлачења је призматични солид модел (слика 3.11). У зависности од угла нагиба поменуте путање призма може бити права и коса. Угао нагиба путање не сме бити 0° , пошто се у том случају не добија 3D облик[1].



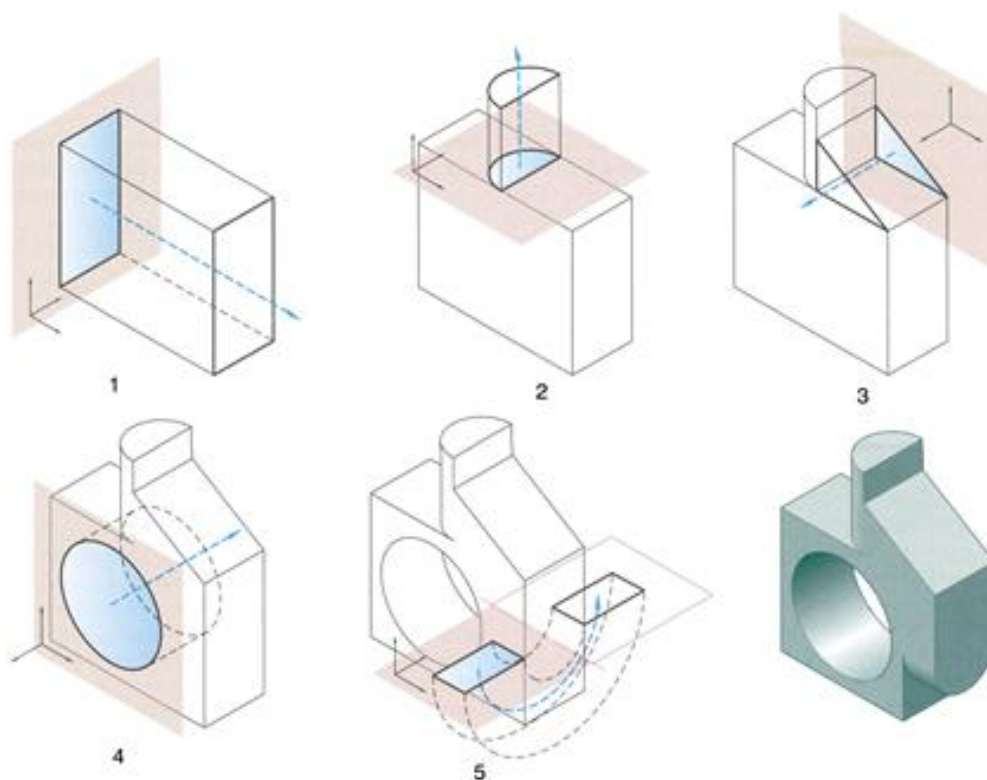
Слика 3.11 Моделирање извлачењем профила [1]

Путања извлачења може бити и кружна, и у том случају прецизно мора да се дефинише оса ротације и у смислу оријентације и локације, као и угао ротације (слика 3.12).



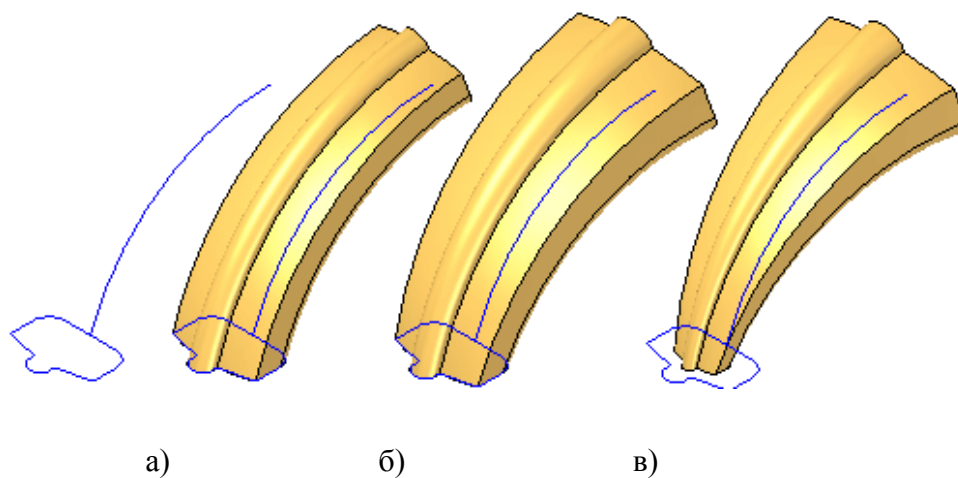
Слика 3.12 Моделирање ротацијом профила [1]

На слици 3.13 дат је пример креирања једног комплекснијег модела операцијом извлачења и приказ одговарајућих корака моделирања.



Слика 3.13 Генерисање комплексног модела [1]

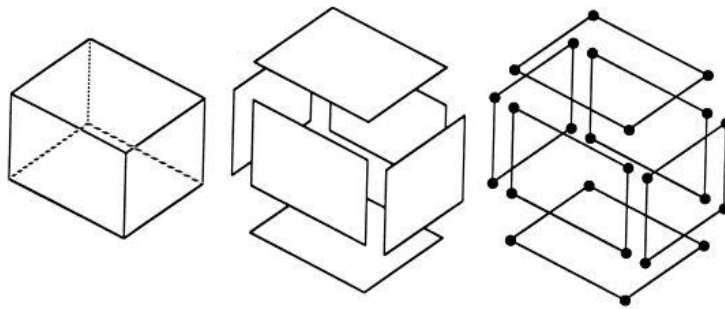
Метода извлачења може да се користи и за генерисање модела дуж криве путање која се унапред, у зависности од потреба, дефинише (слика 3.14).



Слика 3.14 Генерисање модела комбинацијом опција извлачења и размене: а) без размене б) размена од 1 до 1.5, в) размена од 0.5 до 1.5 [9]

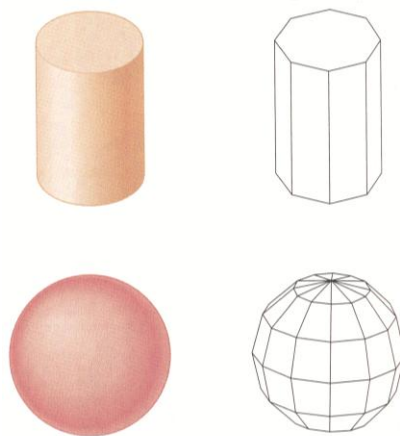
Моделирање "граничном" презентацијом *B-rep*

B-rep (*Boundary representation*) модел индиректно представља солид модел преко приказа његових граничних површина заједно са тополошким информацијама које дефинишу везе између тих површина. То је тополошка структура која се састоји од једноставних геометријских форми (примитива): тачке, ивице и странице, које ограничавају запремину. Код *B-rep* моделирања површине или странице представљају основ за дефинисање запреминског тела. Гранична површина солид модела одваја тачке у унутрашњем делу од тачака на спољашњем делу модела (празна страна)[1]. Једноставан пример *B-rep* модела генерисаног помоћу 6 површина приказан је на слици 3.15.



Слика 3.15 Генерисање једноставног *B-rep* модела

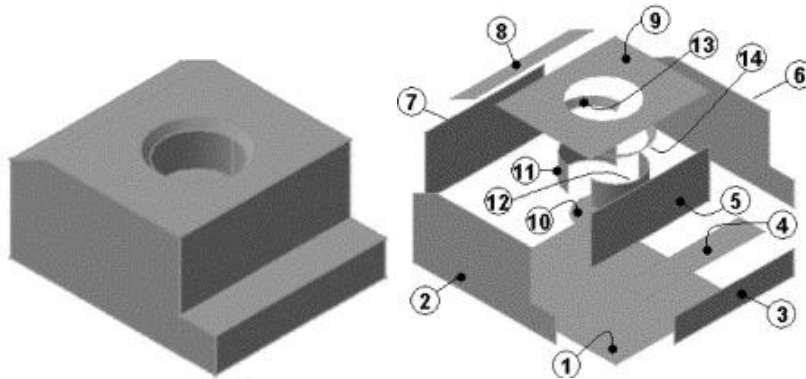
Странице, ивице и темена и одговарајуће геометријске информације представљају основне компоненте *B-rep* модела. Геометријске информације садрже једначине за странице и ивице и координате темена. Често се закривљене површине апроксимирају низом равних површина. Ово се назива и приказом помоћу "фацета" (слика 3.16)[1].



Слика 3.16 Приказ модела помоћу "фацета"[1]

Облици *B-rep* модела се креирају помоћу Ојлерових операција. Темена и ивице се додају или одузимају од модела уз стриктно поштовање правила за дефинисање нових страница.

Посебно је генерисање темена солид модела веома компликовано. На слици 3.17 дат је пример модела генерисаног *B-rep* методом са карактеристичним површинама[1].



Слика 3.17 *B-Rep* модел са карактеристичним површинама [1]

Хибридно моделирање

Оба типа запременске репрезентације *CSG* и *B-rep* имају своје предности и мане. *B-rep* је меморијски доста захтевнија од *CSG* и тешко је направити измене у моделу јер се не чува историја процеса моделирања. Са друге стране, *B-rep* омогућује приступ свакој страни, ивици и темену појединачно јер их чува у експлицитној форми. Из тих разлога, пројектовање помоћу већине комерцијалних 3D софтвера се заснива на хибридном приступу: моделирање се врши коришћењем *CSG* репрезентације, а евалуација коришћењем *B-rep*. То је омогућено чињеницом да се *CSG* репрезентација може конвертовати у *B-rep*, док обрнута конверзија не важи. Хибридни модел комбинује функционалност *CSG* и базу података *B-rep* модела. Овај тип солид модела подржава Булове операције, генерисање комплексних површина и комплетне информације о моделу. Корисник може креирати или појединачни модел коришћењем *CSG* или *B-rep* алата или два паралелна модела коришћењем обе технике[1], [2]. Сметње код хибридног модела настају приликом превођења једне структуре података у другу. Оно може бити нетачно и садржати одређене промене у моделу.

3.1.2. ИЗБОР МОДЕЛА

Жичани модел представља само ивице и темена 3D објекта. Због недостатка информација о површини и запремини објекта, он има врло ограничену примену у производњи[4].

Осим ивица и темена, површински модел садржи површине и силуете 3D објекта. Када се упореде површински и пун модел, треба рећи да се пун модел лакше конструише. Међутим, он непотпуно приказује сложене објекте произвољног облика. За представљање 3D објекта који имају сложене профиле и силуете, неопходан је површински модел[4].

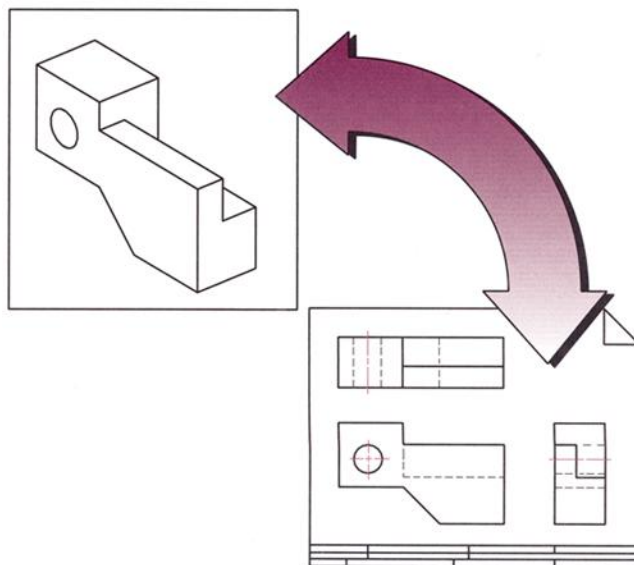
Пуни 3D модели погоднији су за конструисање 3D објекта правилних геометријских облика, док су површински 3D модели преваходно намењени конструисању 3D објекта

произвољног облика. Површински модел, састављен од скупа површина које „херметички“ обухватају одређену запремину, могуће је претворити у пун модел. Иако се 3D криве не користе за конструисање жичаних 3D модела, могу се искористити као подлогу за прављење 3D површина и пуних 3D тела[4].

3.2. ДВОСМЕРНА АСОЦИЈАТИВНОСТ (BIDIRECTIONAL ASSOCIATIVITY)

Двосмерна асоцијативност обезбеђује да се свакаизмена у било ком радном окружењу аутоматски и тренутно рефлектује и на друга окружења[2], [3].

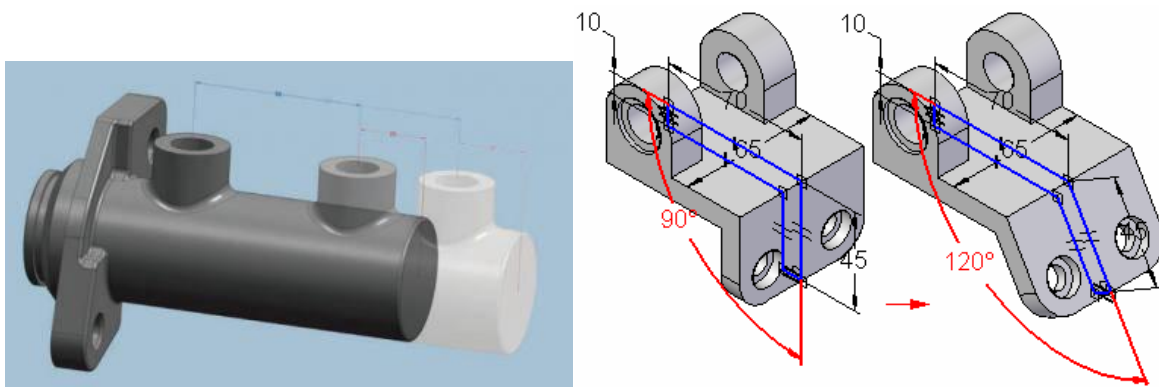
Модел дела треба сматрати као део велике базе података о делу којом се може управљати и која може бити иновирана од стране радне организације. Динамичко повезивање најактуелнијих информација значи да сви инжењери, техничари, стручњаци у маркетингу и менаџменту имају приступ поменутим информацијама. То се може урадити повезивањем, односно, асоцијативношћу, података. Асоцијативност може бити једносмерна и двосмерна. Код једносмерне асоцијативности промене података у 3D моделу се рефлектују код осталих производних алата, али у супротном правцу се то не дешава. Код двосмерне асоцијативности промене података или у 3D моделу или код других производних алата се рефлектују на ону другу и обрнуто[1]. На слици 3.18 приказана је асоцијативност код 3D модела и 2D цртежа.



Слика 3.18 Асоцијативност 3D модела и 2D цртежа[1]

3.3. ПАРАМЕТАРСКО МОДЕЛИРАЊЕ

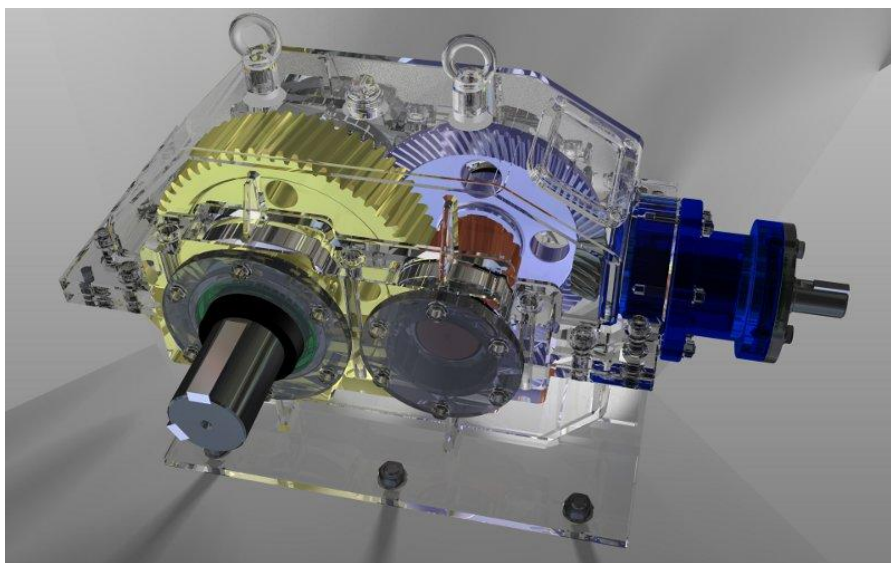
Значајан напредак у процесу моделирања је остварен применом параметарског моделирања. Параметарско моделирање омогућава да се променом вредности параметра мења и сам просторни модел објекта (слика 3.19). Највећа предност овог типа моделирања се истиче у могућности брзе промене димензија, а тиме и облика и положаја моделираног елемента у склопу. Ова особина је погодна за примену приликом развоја фамилије неких елемената и при генерисању фамилије стандардних делова[2].



Слика 3.19 Приказ измена модела применом параметарског моделирања [2]

3.4. МОДЕЛИРАЊЕ СКЛОПА

Производ или систем обично има више компонената (тј. саставних делова). Модели склопова се праве тако што се више компонената укључује у јединствену датотеку склопа (*Assembly file*). Пошто дефиниције 3D модела већ постоје у датотекама појединачних компонената, датотека склопа само описује начин склапања компонената и њихове геометријске односе. Моделирање склопа обезбеђује постављање модела делова у захтевани (потребни) међусобни положај. На слици 3.20 приказан је склоп редуктора са укрштеним осама вртила[10].



Слика 3.20 *Склоп редуктора (рад студента Машинског факултета у Нишу Марка Ристића, добитника награде “Петар Дамјановић”) [10]*

4. ПРИМЕНА СОФТВЕРСКОГ ПАКЕТА CATIA

Софтвер *CATIA* је развила француска компанија *Dassault Systemes*, раних осамдесетих година прошлог века, првенствено за потребе авио индустрије[11]. Даље је развијан уз подршку компаније *IBM*. *CATIA* је програм нове генерације који интегрише све аспекте процеса развоја производа. Обухвата симултану употребу података и геометријских информација, од конципирања производа до дефинисања производног процеса.

CATIA се првенствено користи у аутомобилској и авио индустрији, а може се срести у различитим гранама као што су: свемирски програм, индустријски прибори, архитектура, грађевинарство, производи широке потрошње, електротехника, медицина, индустрија намештаја, производња алатних машина, алати за ливње и дубоко извлачење, бродоградња итд.

Увођењем програма *CATIA V5* постављен је нови стандард, кроз значајна побољшања у архитектура система и корисничком радном окружењу. Програм *CATIA V5* је интегрисани пакет који се састоји од софтверских алата за пројектовање машинских елемената коришћењем рачунара. Написан је као решење независно од оперативног система рачунара и нуди бројне могућности за структурирање програмских модула и прилагођавање кориснику. Овај програмски пакет се заснива се на графичком корисничком окружењу (*Graphical User Interface - GUI*), које је развијено коришћењем *Microsoft Windows* и *Web* технологија, што значи да је усклађен са познатим *Windows* окружењем.

CATIA V5 садржи програмске модуле који кроз окружења са палетама алата омогућавају кориснику да се бави различитим пословима у процесу развоја производа, као што су: Инфраструктура, Пројектовање машинских елемената и конструкција, Обликовање и стилизовање производа, Анализа-испитивање и симулација производа, Машинска обрада и *NC* машине, Дигитални модели, Опрема и пројектовање система, Дигитални процес за обраду-производњу, Симулација машинске обраде и машина, Ергономска пројектовања машинских елемената и анализа, Познавање готових производа, Мрежни рад преко интернета, ...

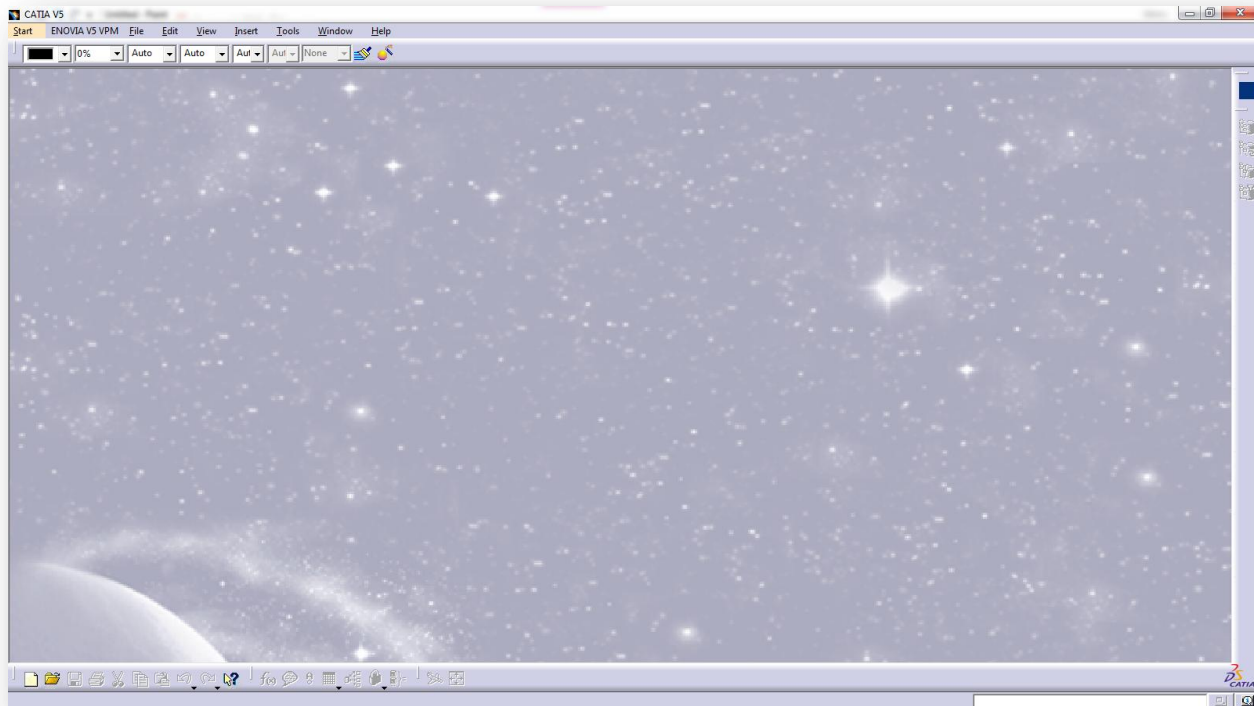
Организација *CATIA V5* је дефинисана кроз три платформе означене са *P1*, *P2* и *P3*, тако да нуде различите процесе развоја производа употребом програма. Платформа *P1* даје основне могућности за просторно моделирање. Ова платформа је идеално решење за почетнике који желе да пређу на са раванског на просторно моделирање. Производи креирани у овој платформи употребљиви су и у платформи *P2*. Платформа *P2* омогућава интегрисано пројектовање, анализу, производњу и развој инфраструктуре производа. Конфигурационо стабло је интегрисано у прозор за креирање геометрије. Платформа *P3*

даје напредна решења посебно прилагођена за аутомобилску и авио индустрију.Изглед корисничког окружења је сличан као и код платформе P2[11].

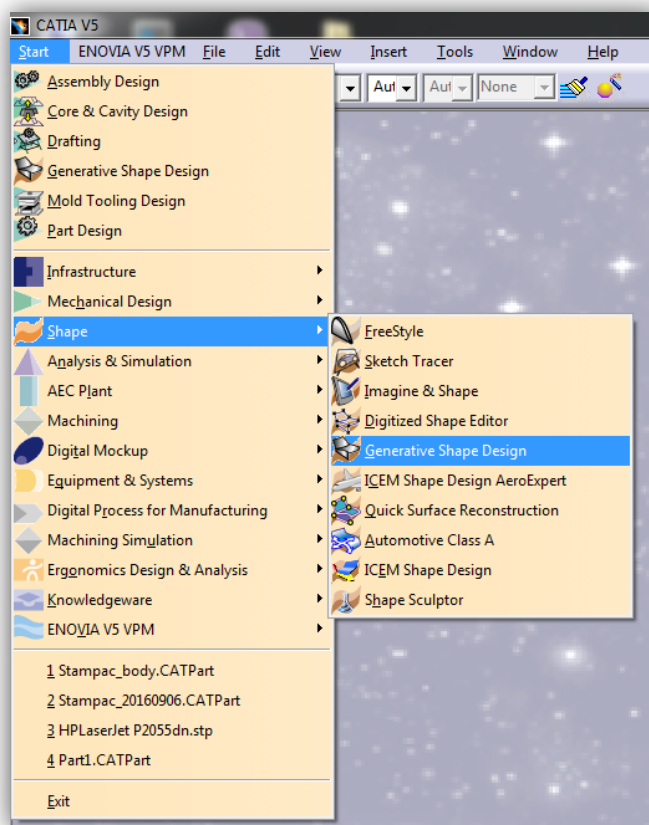
4.1.МОДЕЛИРАЊЕ СЛОЖЕНИХ ПОВРШИНА

У овом поглављу приказан је и описан један начин израде модела кућишта штампача коришћењем софтверског алата *CATIA*. Приликом израде модела коришћени су модули *Part Design* и *Generative Shape Design*. *CATIA Generative Shape Design* омогућава брзо моделирање, како једноставних тако и сложених облика, користећи карактеристике жичаних и површинских модела. Он пружа велики скуп алата за креирање и уређивање облика и, када се комбинује са другим модулима, као што је *Part Design*, испуњава захтеве хибридног моделирања.Његов интуитиван интерфејс нуди могућност да се креира сложени облик високе прецизности са врло мало интеракције. Дијалози су разумљиви и практично не захтевају посебну методологију, већ је све дефинисано корацима.

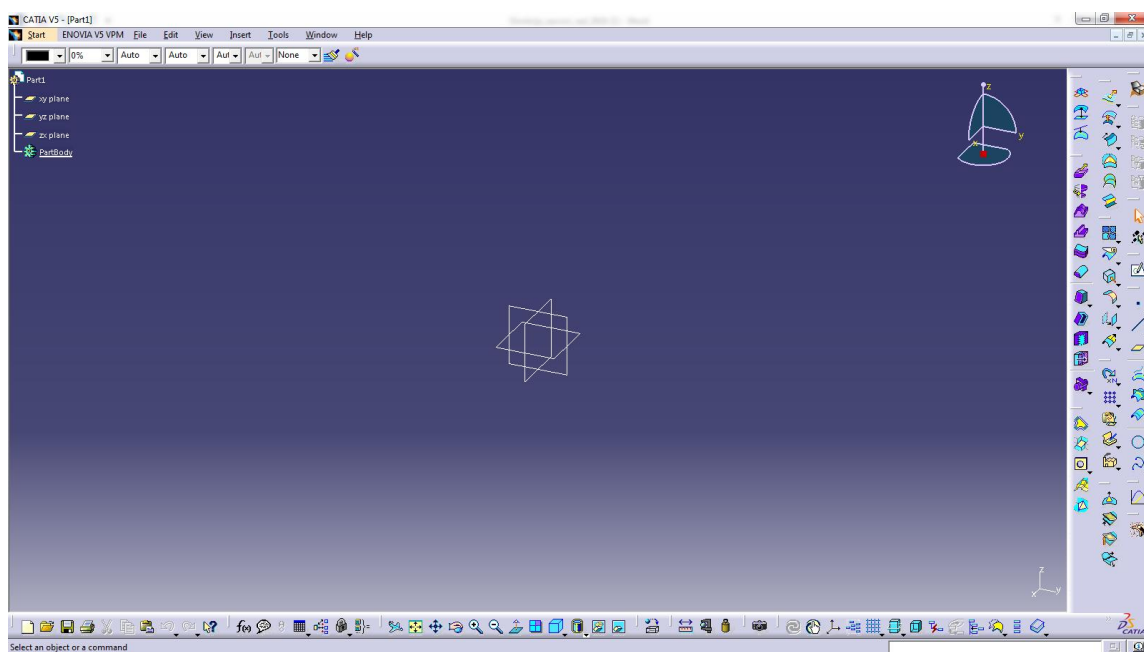
Покретањем програма отвара се почетни екран (слика 4.1). Следећи корак је одабир радног окружења у ком ће конструктор наставити свој рад. У овом случају то је *Structure Design* (Конструкције). Ово окружење се проналази кликом на *Start* у горњем левом углу, када се отвара падајући мени на коме се налази *Shape Design*. Кликом на *Shape Design* појавиће се још један мени у ком се налази *Generative Shape Design* (слике 4.2 и 4.3).



Слика 4.1Почетни екран



Слика 4.2 Начин проналаска *Generative Shape Design*-а

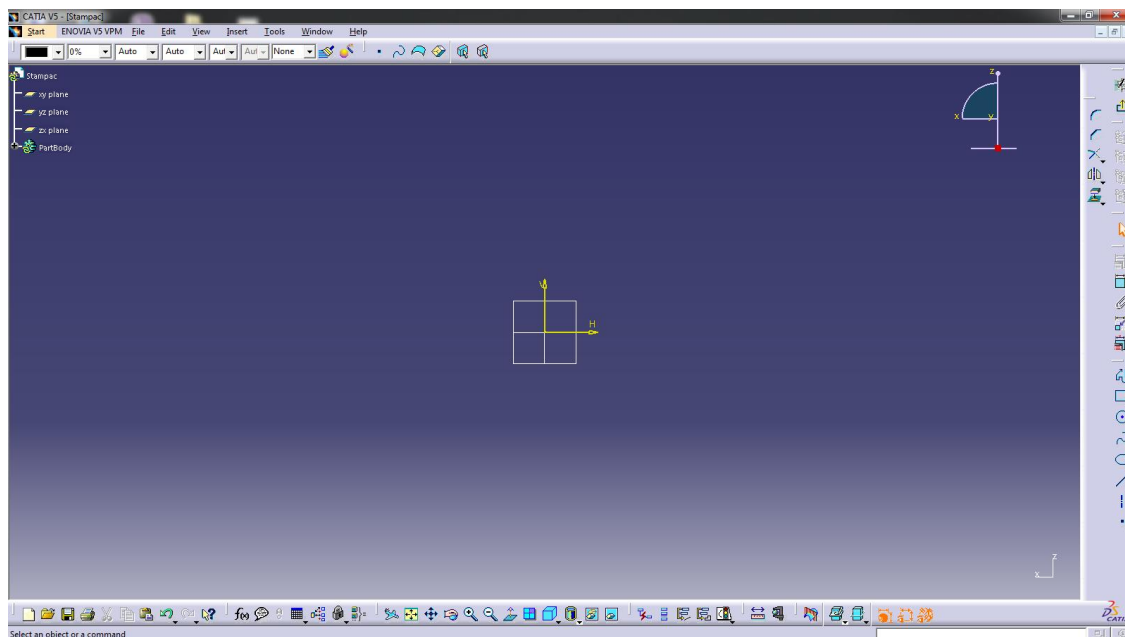


Слика 4.3 Простор за моделирање у окружењу *Generative Shape Design*

Следећи корак је направити тродимензионални скуп линија преко којих ће се пројектовати сложена површина. Почетак прављења скице је кликом на алатку *Sketch* (слика 4.4). Избором равни у којој се планира израда скице, а затим одабиром ове алатке отвара се простор за цртање дводимензионалне скице (слика 4.5).

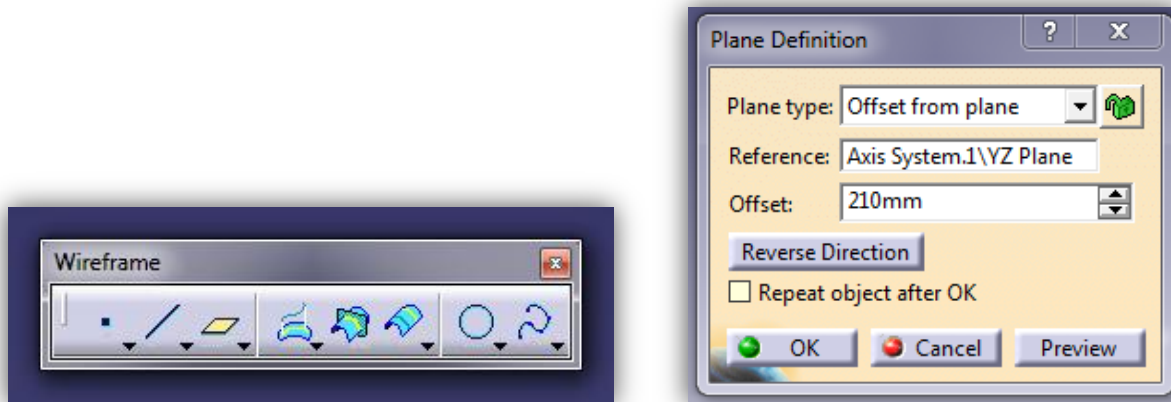


Слика 4.4 *Палета алата Sketch*



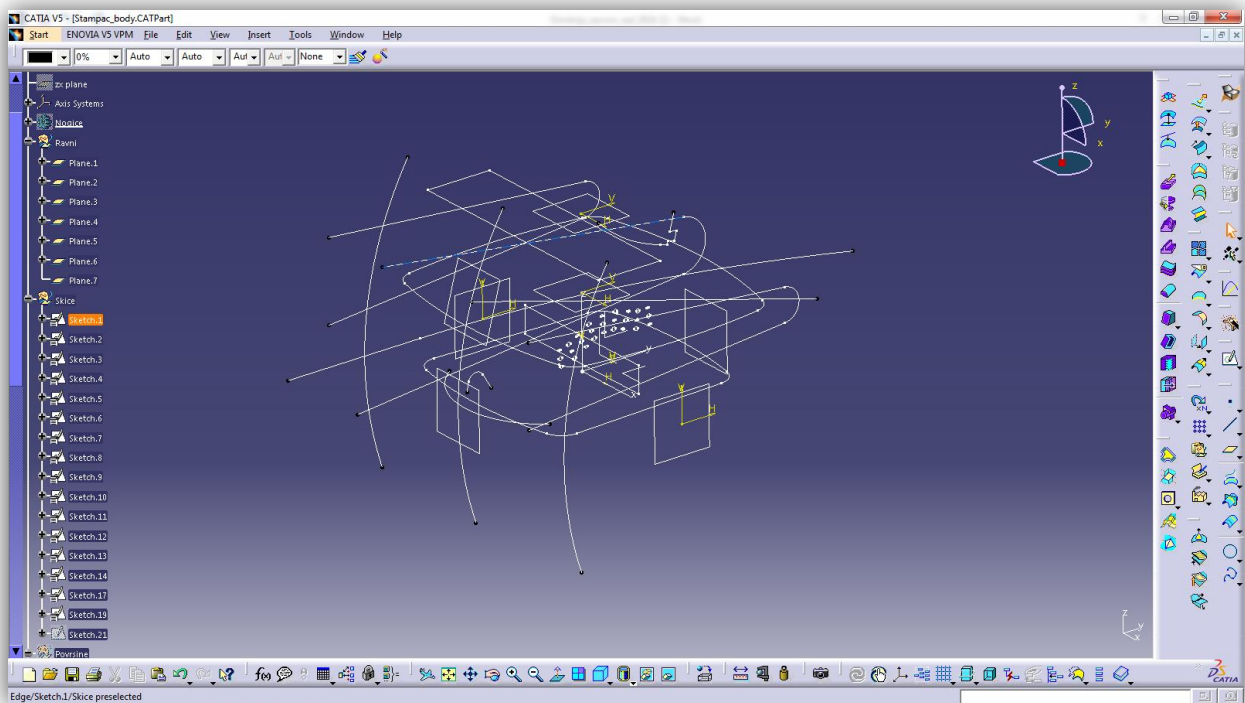
Слика 4.5 *Простор за цртање дводимензионалних скица*

Користећи алатку *Plane*, која се налази у палети алата *Wireframe*, додаје се нова раван, кликом на њу отвара се прозор *Plane Definition* где се уноси референтни елемент и њена позиција у односу на тај елемент (слика 4.6).



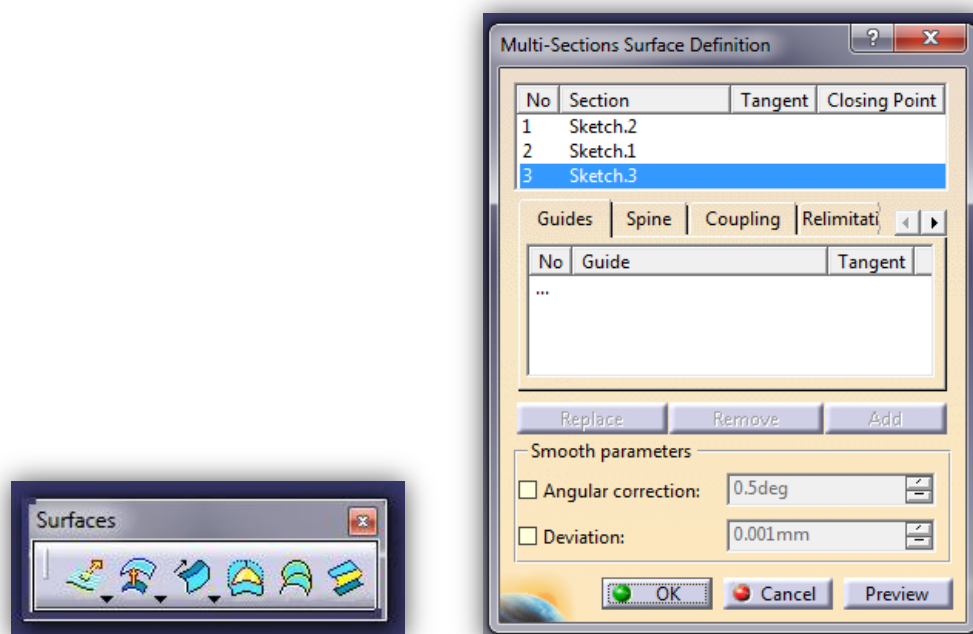
Слика 4.6 Палета алата *Wireframe* и *Plane Definition*

После додавања тачака и равни добија се крајњи изглед скице (слика 4.7).

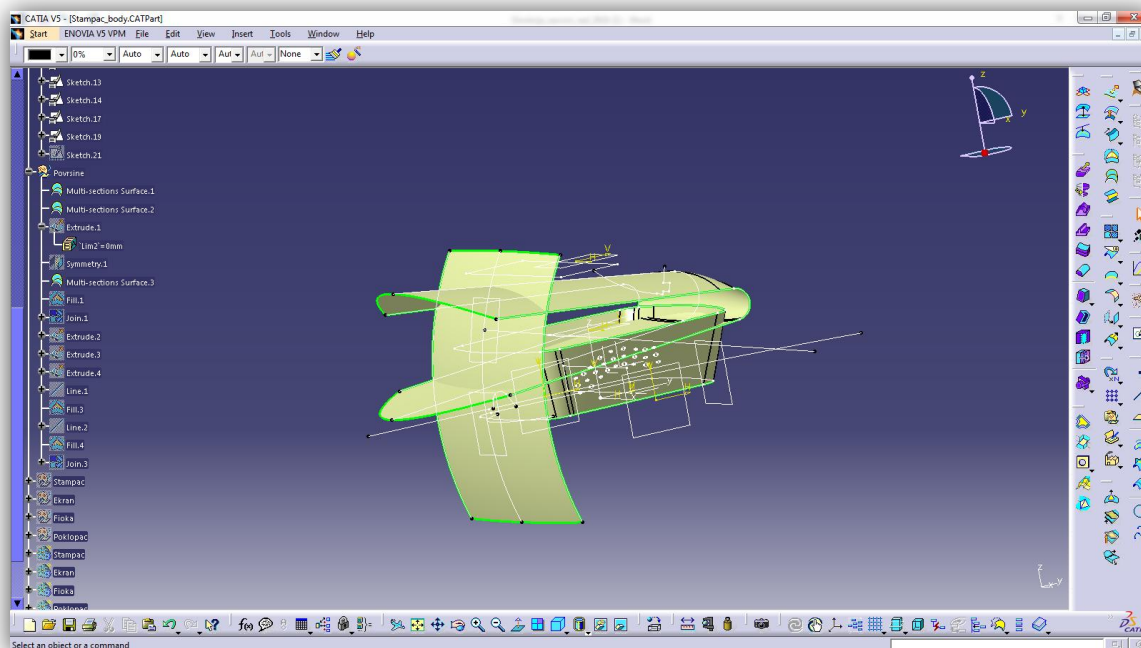


Слика 4.7 Крајњи изглед скице

После завршетка скице, следи моделирање површина користећи алатку *Multi-Sections Surface*. Покретањем се отвара прозор *Multi-Sections Surface Definition* коме се бирају скице преко којих ће се пројектовати површина, из палете алата *Surface* (слика 4.8). Добијена површина је приказана на слици 4.9.

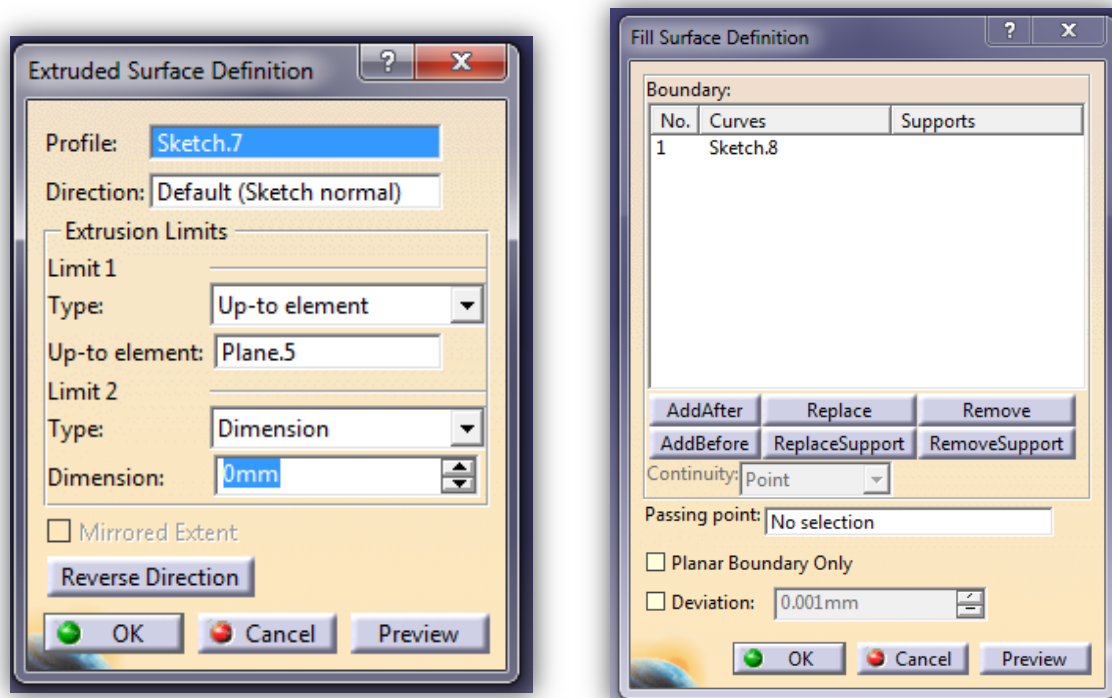


Слика 4.8 Палета алата *Surface* и *Multi-Sections Surface Definition*

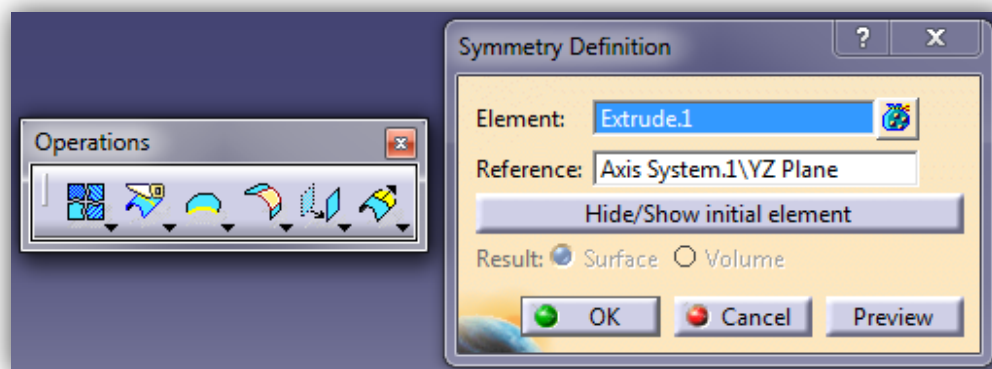


Слика 4.9 Добијена површина

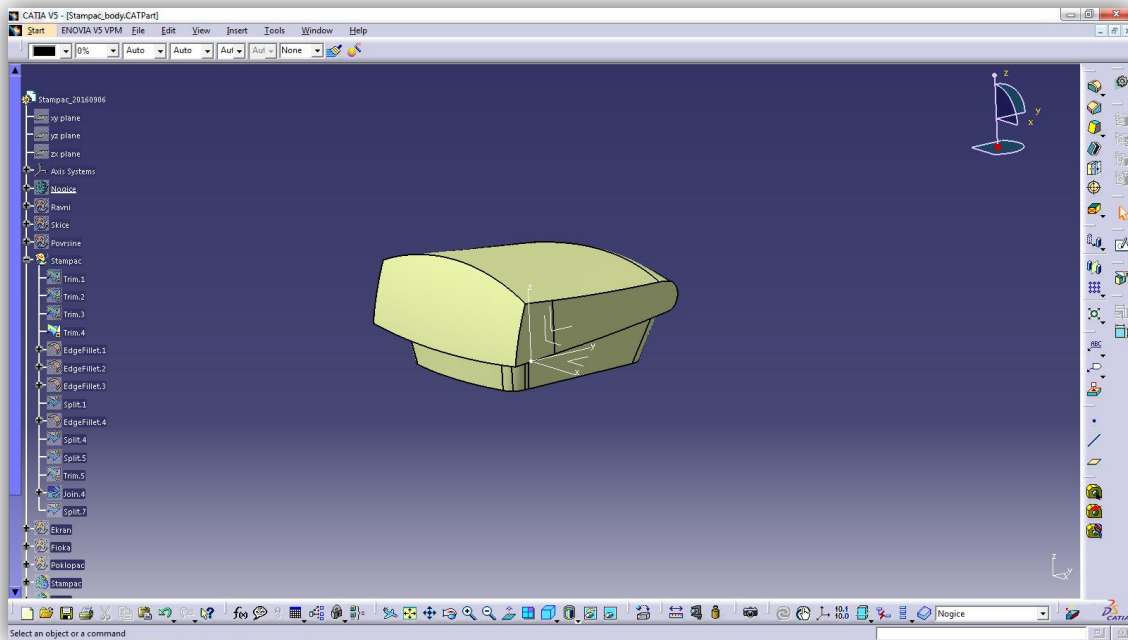
Бокови штампача, фиоке за папир и кетрици, контролна табла, као и излаз за папир пројектују се уз помоћ алатке *Extrude*. Покретањем се отвара прозор *Extrude Surface Definition*, у оквиру кога се бира урађена скица. Отворене површине се затварају алтком *Fill*, бирањем одговарајуће површине у прозору *Fill Surface Definition*, из палете алата *Surface* (слика 4.10). За пројектовање друге стране бока штампача коришћена је алатка *Symmetry* из палете алата *Operations* (слика 4.11). Добијене површине су приказане на слици 4.12.



Слика 4.10 *Extrude Surface Definition* и *Fill Surface Definition*

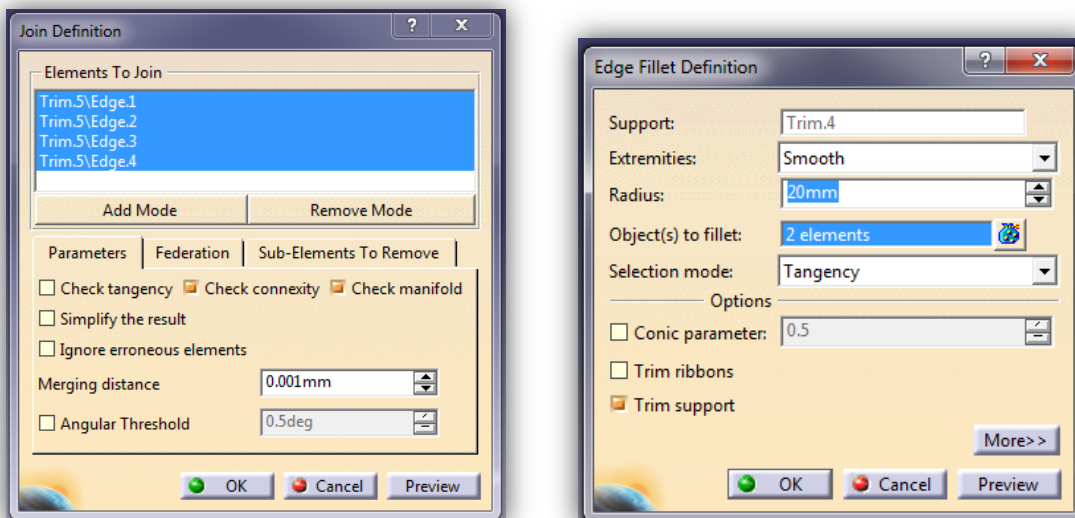


Слика 4.11 Палета алата *Operations* и *Symmetry Definition*

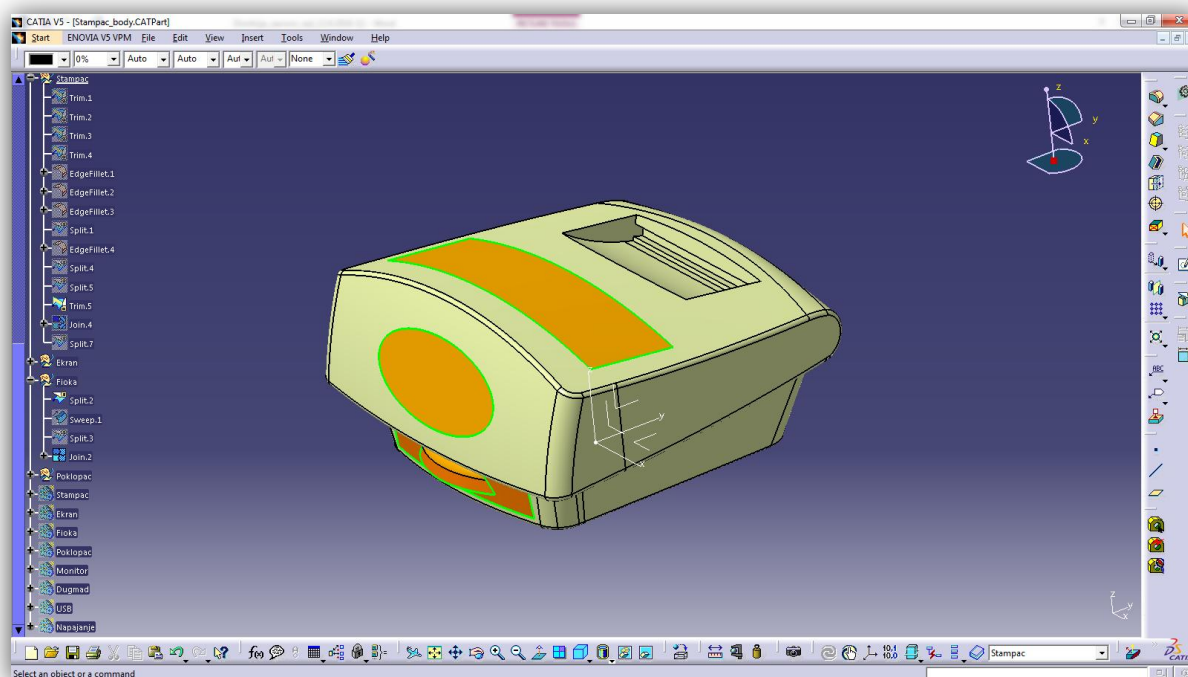


Слика 4.14 Површина добијена након тримовања

После тога се, преко алатке *Join*, површине спајају у једну целину. Користећи алатку *EdgeFillet*, врши се заобљавање оштрих ивица, како због сигурности тако и због естетског изгледа (слика 4.15). Ове алатке се налазе у палети *Operations*. Добијени модел штампача приказан је на слици 4.16.

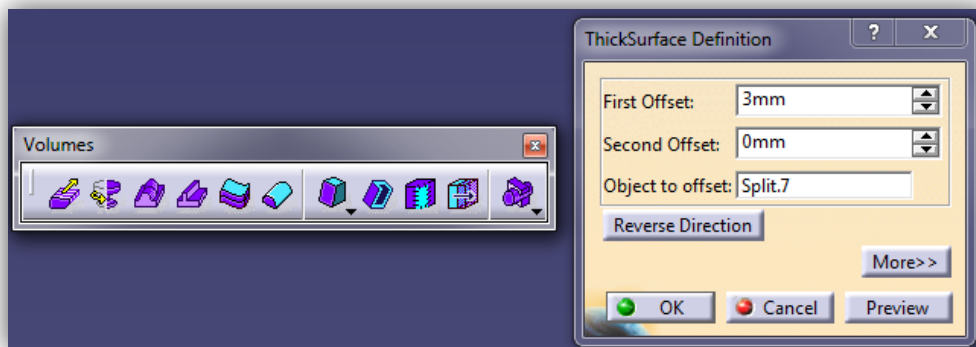


Слика 4.15 Join Definition и Edge Fillet Definition



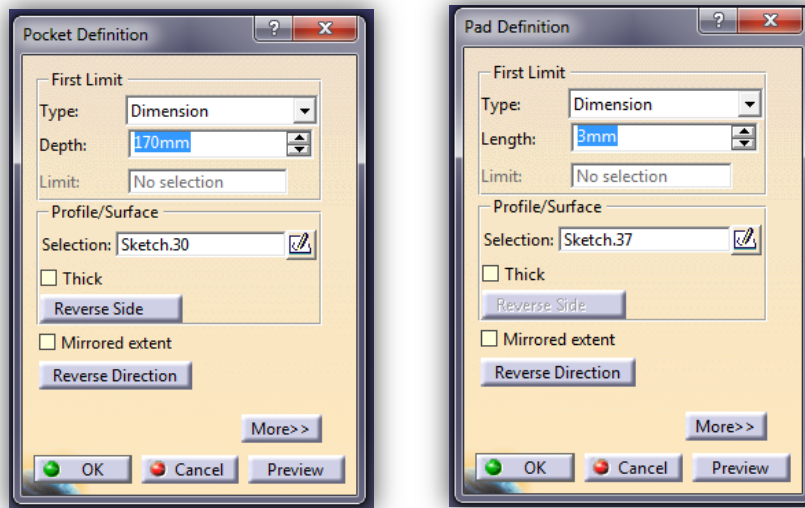
Слика 4.16 Добијени модел штампача

Алатком *ThickSurface* додељује се дебљина зида штампача, из палете алата *Volumes* (слика 4.17).



Слика 4.17 Палета алата *Volumes* и *ThickSurface Definition*

У окружењу *Part Design* моделирани су монитор, дугмад, улази за *USB*и кабл за напајање, отвори за хлађење, као и ножице штампача, користећи алатке *Pocket* и *Pad*(слика 4.18)из палете алата *Sketch-Based Features*(слика 4.19).

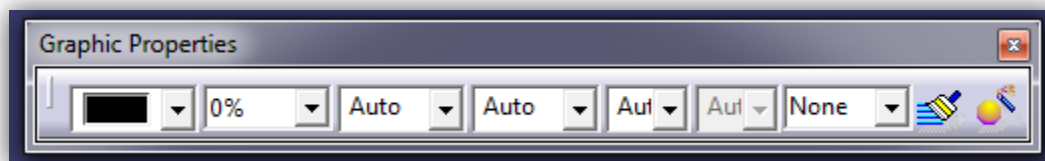


Слика 4.18 *PocketDefinition* и *PadDefinition*



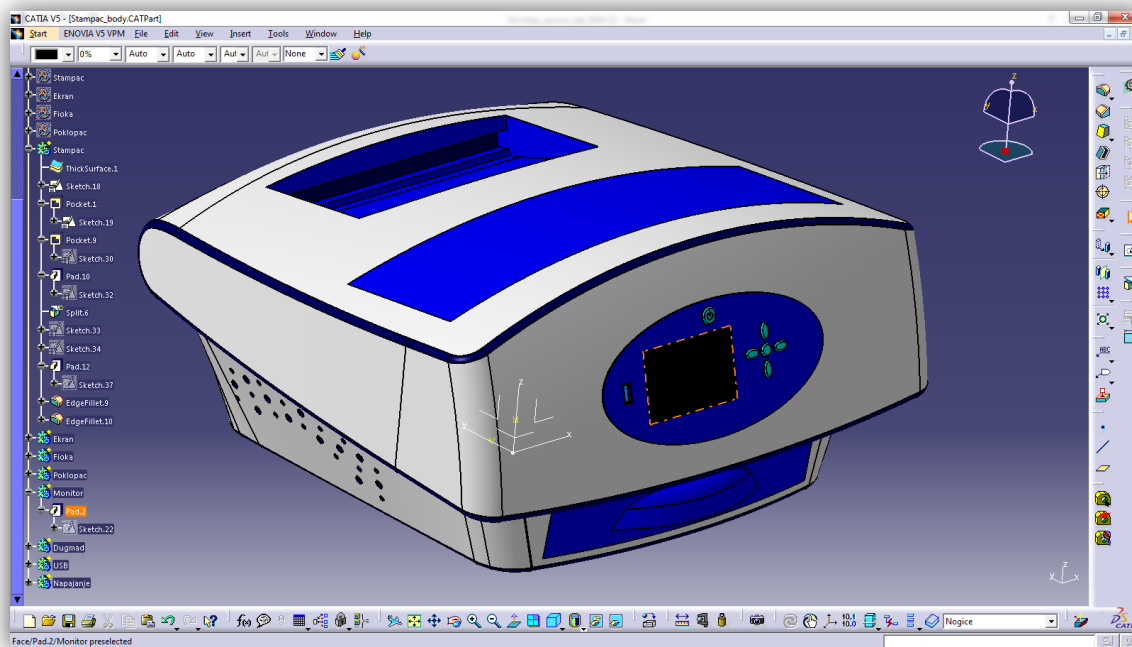
Слика 4.19 Палета алата *Sketch-Based Features*

На крају, боја штампача бира се из палете боја која се налази у палети алата *Graphic Properties*(слика 4.20).

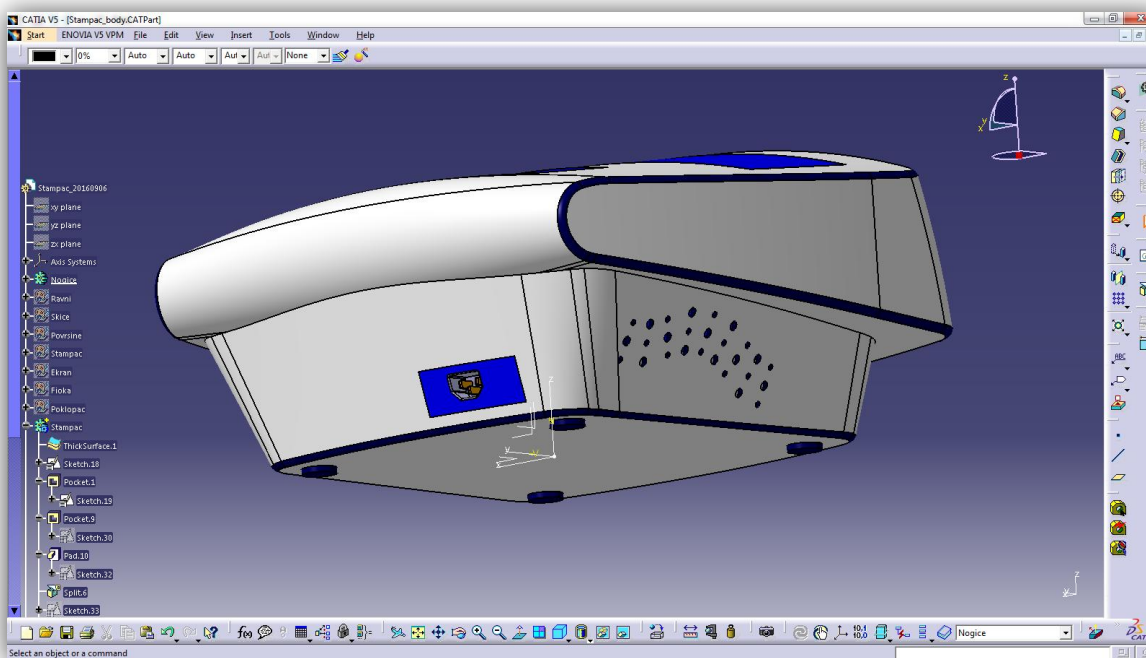


Слика 4.20 Палета алата *Graphic Properties*

Каначан изглед штампача може се видети на сликама 4.20 (предња страна штампача) и 4.21 (задња страна штампача).



Слика 4.20 Каначан изглед штампача(предња страна)



Слика 4.21 Каначан изглед штампача(задња страна)

5. ЗАКЉУЧАК

Просторно(3D) моделирање је процес стварања виртуелног модела објекта, што омогућава најпрецизније представљање његовог облика, величине, текстуре, као и процену изгледа и ергономије производа. Просторно моделирање је данас стандард за пројектовање производа и то је основа за даље унапређење процеса развоја производа.

У раду је приказан и описан један начин израде модела производа кућишта штампача коришћењем софтверског алата *CATIA*. *CATIA* је данас водећи програм у најзахтевнијој категорији програма за пројектовање и готово да не постоји део индустријске производње где се не примењује. Приликом израде модела у раду коришћени су модули *Part Design* и *Generative Shape 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 и 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*.

3D моделирање је одличан алат за различите компаније и индустријска постројења, а посебно у фази припреме за производњу нових производа. Просторни модели даље могу бити искоришћени за 3D анимације - симулацију стварног живота у виртуелном простору, које имају значајну примену у презентацијама или рекламама производа.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зоран Милојевић, Милан Рацков, Сениша 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
- [2] Ненад Марјановић, Инжењерски алати, ауторизована предавања
- [3] Ненад Марјановић, Основе 3D моделирања у CAD софтверима, Крагујевац 2014.
[http://iprod.masfak.ni.ac.rs/resources/project_results/wp_3_3/UNIKG -
_Basics_of_3D_modeling_of_parts_in_CAD_software.pdf](http://iprod.masfak.ni.ac.rs/resources/project_results/wp_3_3/UNIKG_-_Basics_of_3D_modeling_of_parts_in_CAD_software.pdf), приступљено 14.08.2016. године
- [4] Ron K. C. Cheng, Autodesk Mechanical Desktop 2005, Микро књига, 2005, ISBN: 86-7555-281-5
- [5] Снежана Врекић, Параметарско моделирање у софтверским CAD/CAM/CAE пакетима, Зборник радова YU ИНФО 2010
- [6] Миомир Јовановић, CAD- Геометријско моделирање, ауторизована предавања <http://ttl.masfak.ni.ac.rs/CAD/Predavanje-3%20CAD%202007.pdf>, приступљено 17.08.2016. године
- [7] http://pymesh.readthedocs.io/en/latest/mesh_boolean.html, приступљено 17.08.2016.
- [8] <http://www.dpm.ftn.uns.ac.rs/dokumenti/TodicV/CAPP/Predavanja%207%20i%208.pdf>, приступљено 17.08.2016.
- [9] http://www.soliddna.com/SEHelp/ST5/EN/i_v/swept1a_optionsdb1.htm, приступљено 17.08.2016.
- [10] <http://pcpress.rs/osa-dodeljene-nagrade-petar-damjanovic/>, приступљено 21.08.2016.
- [11] Данило Микић, Моделирање машинских елемената и конструкција у образовању применом софтверског пакета CATIA, Техника и информатика у образовању, 3. Интернационална Конференција, Технички факултет Чачак, 7–9. мај 2010.