

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос снаге флуидом

Број индекса: 118/2015

Давид Н. Илић

Пројектовање крилне пумпе променљиве радне запремине у софтверском пакету SolidWorks

-завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Владимир Вукашиновић, доцент**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

САДРЖАЈ

Резиме	3
Abstract	3
1. Увод	4
1.1. Пренос енергије	4
1.2 Хидраулика и принципи деловања хидрауличних система	4
1.3 Радне течности у системима хидрауличног преноса снаге	5
1.4 Величине стања и физичка својства радних течности	7
2. Запреминске хидрауличне машине	9
2.1 Основне дефиниције	9
2.2 Основна класификација запреминских пумпи и хидромотора	10
2.3 Зупчасте пумпе	11
2.3.1 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем	11
2.3.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем	12
2.3.3 Зупчасте пумпе са зупчастим прстеном	13
2.4 Клипне пумпе	13
2.4.1 Радијалне клипне пумпе	13
2.4.2 Аксијалне клипне пумпе	15
2.5 Параметри енергије пумпи	16
2.5.1 Параметри хидрауличне снаге	16
2.5.2 Запремински губици хидрауличних машина	18
2.5.3 Параметри механичке снаге пумпе	19
2.5.4 Губици обртног момента	19
2.5.5 Укупан степен корисности	20
3. Крилне пумпе	21
3.1 Крилне пумпе са ексцентрично постављеним ротором	21
3.2 Крилне пумпе променљиве радне запремине	23
3.3 Двокоморне крилне пумпе	24
3.4 Растеређење крилаца крилних пумпи	25
4. Израда 3D модела крилне пумпе променљиве радне запремине	26
4.1 Поступак моделирања компоненти пумпе	29
4.2 Поступак формирања склопа	36
4.3 Поступак израде визуализације склопа и делова склопа	40
Закључак	46
Литература	47

Резиме

Предмет овог завршног рада је приказ теоријских разматрања која се односе на запреминске хидрауличне машине са акцентом на крилне пумпе и посебним освртом на израду 3D модела крилне пумпе променљиве радне запремине у софтверском пакету *SolidWorks*. У првом делу описана су уводна разматрања која се односе на пренос енергије и принцип рада хидрауличних система. Садржина другог поглавља описује запреминске хидрауличне машине, њихову поделу и параметре као и уобичајена конструктивна решења запреминских машина. Треће поглавље посвећено је крилним пумпама, подели крилних пумпи, принципу рада и различитим конструктивним разматрањима истих. У следећа три поглавља, описани су поступци коришћења софтверског пакета *SolidWorks* који нуди широк спектар алата и команди за моделирање делова, склапање склопова, израду техничке документације, визуелизацију и сл.

Кључне речи: Хидраулични пренос снаге, запреминске машине, крилне пумпе, склоп, 3D модел.

Abstract

The theoretical considerations related to volumetric hydraulic machines are presented in this final work. An emphasis is on vane pumps and also on the modelling of variable displacement vane pump in the software package *SolidWorks*. The first part is related to introductory considerations of energy transmission and the principle of operation of hydraulic systems. Volumetric hydraulic machines, their classification and working parameters, as well as the usual constructive solutions, are described in the second chapter. The third chapter is dedicated to the working principle and classification of vane pumps, as well as to developed constructions. The third chapter is dedicated to the working principle and classification of vane pumps, as well as to main constructions of these pumps. Using the *SolidWorks* software package for parts modelling, creating an assembly, generating technical documentation and visualization are presented in the last three chapters.

Keywords: Hydraulic power transmission, volumetric machines, vane pumps, assembly, 3D model.

1. Увод

1.1. Пренос енергије

Основни видови преноса енергије са једног места на друго су механички, преко полуге, вратила и зупчаника. То је веома једноставан принцип преноса и може се применити код разних погона и машина. Међутим, са развојем технике повећава се и степен захтева у односу на: брзину кретања, сложеност конструкције, величину снаге, тачност помака и слично, које механички пренос не може увек испунити. То нарочито долази до изражаја када је:

- растојање од извора енергије до места њеног коришћења велико,
- честа измена смера и правца кретања,
- неопходно обезбедити континуирано кретање,
- потребно мењати оптерећење и брзину кретања,
- на располагању мали простор или преносник мора бити мале тежине, и у низу других случајева.

Такве, као и друге сложене захтеве, успешно могу да реше преносници хидрауличне енергије, који се најчешће називају: хидраулични системи или хидростатички преносници.

1.2 Хидраулика и принципи деловања хидрауличних система

Под појмом класичне хидраулике подразумевају се хидраулични системи комбиновани са компонентама код којих се довођење радних елемената из једног у други положај врши електричним, хидрауличним, пнеуматским или механичким погоном. Радни медији за овај тип хидраулике могу бити сви типови хидрауличних флуида (емулзија, синтетички флуиди, минерално уље). У стручној литератури је уобичајена подела хидрауличних система у две групе у односу на врсту флуида који преноси хидрауличну енергију. То је „уљна хидраулика“, која као радни флуид користи минерално уље или синтетички флуид, и „водена хидраулика“ која као радни флуид користи емулзију [1].

Под хидрауличним преносником подразумева се уређај у коме се помоћу течности преноси енергија са једног места на друго. У истом уређају обављају се и друге функције: трансформација једног облика енергије у други, регулација протока, притиска и тока кретања течности. У односу на начин преноса и трансформацију хидрауличне енергије, разликују се два типа преноса: хидростатички и хидродинамички. Код хидростатичких преносника потребне геометријске везе се остварују помоћу покретних запремина течности. Под хидростатичким преносником подразумева се сваки хидраулични преносник код кога је претварач механичке у хидрауличну енергију запреминска пумпа, а претварач хидрауличне у механичку енергију запремински хидраулични мотор. Пумпа и хидромотор су повезани цевима, а између њих се

постављају управно-регулишући елементи. Хидростатички преносник се најчешће назива хидрауличним системом [1].

Сваки хидраулични систем, без обзира на степен сложености, састоји се од три основне групе елемената:

- погонског агрегата (претварач електричне, топлотне или механичке у хидрауличну енергију),
- управно-регулисајућих елемената и
- извршног органа (претварача хидрауличне у механичку енергију).

Електрична енергија се претвара у механичку у електромотору, а топлотна енергија у мотору са унутрашњим сагоревањем. Она се преко ротирајућих елемената доводи до ротора пумпе у коме се трансформише у хидрауличну енергију. Посредством радне течности (вода, синтетички флуид, емулзија или минерално уље) енергија се транспортује кроз цевоводе до хидрауличног мотора у коме се опет претвара у механичку, преноси и предаје извршном органу, најчешће кинематском механизму. На улазној страни пумпе доводи се снага, пропорционална величини момента и броју обртаја ротирајућих елемената пумпе, а према извршним органима транспортује се енергија, пропорционална снази која је функција протока и притиска. На излазној страни хидромотора добија се корисна снага, чија је величина функција силе и брзине кретања клипа код линеарног мотора, а момента и броја обртаја код ротационог и осцилаторног мотора [1].

1.3 Радне течности у системима хидрауличног преноса снаге

Флуид у хидрауличном систему обавља две основне функције: преноси енергију и подмазује покретне делове хидрауличних компоненти. Поред тих, флуид у хидрауличним системима обавља и неке споредне функције, попут: преузимања и одвођења топлоте због губитака, вршења заштите површина компонената од корозије и заптивања зазора између покретних делова и друго. За обављање наведених функција у хидрауличним системима користе се уља и течности, које у односу на порекло и физикална својства могу бити: минерална хидраулична уља (парафинске или нафтне основе), синтетичке течности (флуиди) и емулзије. С обзиром на веома бројне сегменте примене хидрауличних система, из којих следе и различити услови експлоатације, развијен је велики број различитих хидрауличних уља и течности. Данас је уобичајено да се хидраулична уља и течности класификују према стандарду „ISO 67/43/4“ по коме се деле на две групе:

- нормално запаљиве течности (минерална уља) и
- тешко запаљиве течности (производи се разликују по пореклу и саставу)

Класификација радних течности према ISO стандарду приказана је у следећој табели [2]:

Табела 1. – Радне течности у системима хидрауличног преноса снаге.

ISO ознака	Опис	
Минерална уља - H		
HH, H*	Стандардно рафинисано минерално уље без адитива	
HL	Рафинисано минерално уље са додатком адитива против оксидације и заштиту од корозије	
HM, HLP*	Минерално уље HL са побољшаним својствима против трошења	
HR	Минерално уље HL са додатком адитива за побољшање индекса вискозности (малим температурним утицајем на вискозност)	
HV	Минерално уље HM са додатком адитива за побољшање индекса вискозности	
HG, HLPD*	Минерално уље са адитивима који смањују “stick-slip” ефекат	
Тешко запаљиве течности - HF		
HFA	Уљно-водене емулзије или хемијски раствори са више од 80% воде	
	HFAE	Уљно-водена емулзија (обично 1-5% емулзионог уља)
	HFAS	Водени раствор (обично мање од 10% флуида у води)
HFB	Емулзија „вода у уљу“ са 40% садржајем воде	
HFC	Раствор полимера (гликола= у води са минимално 35% воде	
HFD	Тешко запаљиве синтетичке течности без воде у свом садржају	
	HFDR	Синтетичке течности на бази фосфатних естара
	HFDS*	Синтетичке течности на бази хлорисаних угљоводоника
	HFDT*	Мешавине HFDS и HFDR синтетичких течности
	HFDU	Остале синтетичке течности без воде у свом садржају
Био-разградиве течности - HE		
HETG	Триглицериди	
HEPG	Полигликоли	
HEES	Синтетички естри	
HEPR	Поли-алфа-олефини и слични угљоводоници	

1.4 Величине стања и физичка својства радних течности

Температура

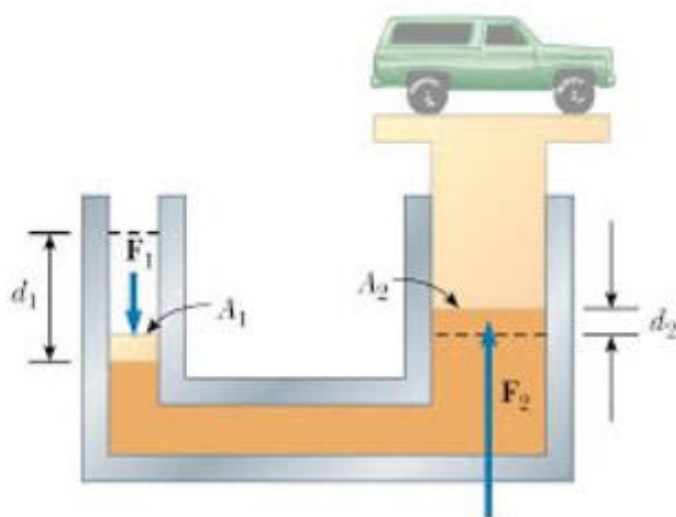
Уобичајене температуре радне течности у хидрауличним системима преноса снаге крећу се у интервалу од -40 до 120 ($^{\circ}\text{C}$) [2].

Притисак

Притисак у течностима има следећа својства:

1. Увек делује у правцу нормале на површину са којом је флуид у контакту
2. У произвољној тачки флуида који мирује, притисак има исту вредност без обзира на правац деловања
3. Промена притиска у било којој тачки течности у стању мировања изазива исту промену и свим тачкама простора коју та течност заузима (Паскалов закон)

Притисак у хидрауличним системима преноса снаге реда је 10^2 bar (10^7 Pa) и, по правилу мањи је од 450 bar [2].



Слика 1. – Примена Паскаловог закона

Густина

Густина радне течности (ρ) представља масу њене јединице запремине. Ова физичка величина зависна је од притиска и температуре [2]:

$$\rho = \rho_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{\beta} \cdot (p - p_0) - \alpha \cdot (T - T_0) \right]. \quad (1)$$

Где

су:

$\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ – густина радне течности при притиску $p[\text{Pa}]$ и температури $T[\text{K}]$

$\rho_0 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ – густина радне течности при притиску $p_0[\text{Pa}]$ и температури $T_0[\text{K}]$

$\beta [Pa]$ – изотермски модул стишљивости радне течности
 $\alpha [K^{-1}]$ – запремински коефицијент топлотног ширења

Стишљивост

Стишљивост је својство радног флуида да мења своју запремину под дејством притиска. При решавању највећег броја техничких проблема, може се сматрати да су радне течности нестишљиве. Стишљивост се квантификује коефицијентом стишљивости и његовом реципрочном вредношћу – модулом стишљивости $\beta [Pa]$. Ове физичке величине се мењају са поменом температуре и притиска радне течности, при чему је у стандардним радним режимима утицај температуре занемарљив. Иако је то просечне (осредњене) вредности ових коефицијената [2].

Еластичност зидова хидрауличних компонената (посебно цевовода) и присуство мехурића гасова (претежно ваздуха), смањују модул стишљивости.

Вискозност

Вискозност или унутрашње трење је својство радне течности да при кретању пружа отпор релативном померању, односно клизању својих флуидних делића. Код тзв. њутновских флуида, какве су углавном радне течности у системима хидрауличног преноса снаге, отпор релативном кретању флуидних делића, тј. одговарајући смичући напон $\tau [Pa]$ сразмеран је градијенту брзине $dv/dy [s^{-1}]$ [2]:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}. \quad (2)$$

Где је са $\mu [Pa \cdot s]$ означена динамичка вискозност радне течности.

Зависност динамичке вискозности од промене температуре[2]:

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{-\alpha_{\nu T} \cdot (T - T_0)}. \quad (3)$$

Док је зависност динамичке вискозности од промене притиска дата следећим изразом[2]:

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{\alpha_{\nu p} \cdot p}. \quad (4)$$

У пракси, заправо чешћу употребу има кинематска вискозност $\nu \left[\frac{m^2}{s} \right]$, која представља однос динамичке вискозности и густине[2]:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (5)$$

2. Запреминске хидрауличне машине

2.1 Основне дефиниције

Хидрауличне машине су уређаји за претварање механичке енергије (механичког рада) у енергију струјања радне течности (пумпе) или за претварање енергије струјања радне течности у механички рад (хидромотори).

Према начину трансформације једног у други вид енергије, разликују се:

- струјне (хидродинамичке) и
- запреминске (хидростатичке, притисне) машине.

Струјне пумпе имају употребу код транспорта флуида у системима код којих постојећом енергијом треба савладати отпоре који се супротстављају кретању флуида са циљем да се одређена количина течности транспортује са једног места на друго. Такве пумпе карактерише ниска вредност притиска и релативно велика количина протока.

У хидрауличним системима користе се запреминске пумпе и хидромотори. Код запреминских машина промена нивоа енергије струјања радне течности обавља се периодичном променом радне запремине. Под радном запремином подразумевају се ограничени, изоловани простори које образују покретни радни елементи машине са осталим покретним или непокретним конструкцијским деловима. У току сваког радног циклуса, радна течност се у запреминску машину усисава при повећању, а потискује при смањивању радне запремине. Усисавање, односно потискивање радне течности врши се у току транслаторног, обртног или обртно-транслаторног процеса кретања радних елемената. Радним елементом сматра се онај део пумпе или хидромотора (клип, зупчаник, крилце и др.) који доводи до промене запремине усисне и потисне коморе пумпе. Величина притиска у пумпи није одређена конструктивним карактеристикама пумпе, већ је функција величине укупних супротстављајућих отпора у систему. Конструктивне карактеристике пумпе одређују само максимални притисак који се у најнеповољнијим условима може обезбедити у систему.

Запреминске пумпе добијају механичку енергију од погонског уређаја (електромотора или мотора СУС), док запремински хидромотори преко излазног елемента предају механичку енергију радној машини. У зависности од кретања излазног елемента, ови хидромотори (хидраулични извршни органи) се деле у три групе:

- Обртни (ротациони) хидромотори, код којих је кретање излазног елемента ротационо
- Линеарни (хидроцилиндри), код којих је кретање излазног елемента транслаторно и
- Закретни хидромотори, код којих је кретање излазног елемента осцилаторно или обртно, тако да је угао закретања мањи од пуног угла.

Неки типови пумпи односно хидромотора имају својство инверзности, тј. могу да раде и као обртни хидромотори и као пумпе, ако им се доводи радна течност под притиском, односно ако им се доводи механичка енергија у случају пумпе.

2.2 Основна класификација запреминских пумпи и хидромотора

Класификација односно подела запреминских хидрауличних машина може се извести према различитим параметрима. То могу бити конструктивне разлике, разлике у начину функционисања и сл. Прва и основна подела запреминских пумпи и хидромотора јесте на основу кретања радног елемента хидрауличне машине, с тога могу се поделити на [3]:

- Запреминске пумпе (хидромоторе) са ротационим кретањем
- Запреминске пумпе (хидромоторе) са транслаторним кретањем

Запреминске пумпе (хидромотори) са ротационим кретањем радног елемента деле се на:

- Зупчасте и завојне,
- Вијчане и
- Крилне

Имајући у виду претходну поделу запреминских пумпи са ротационим кретањем закључују се и разлике у конструкцији радних елемената поменутих хидрауличних машина. Према томе, зупчасте пумпе и хидромотори се могу поделити на [3]:

- Зупчасте пумпе и хидромоторе са спољашњим озубљењем
- Зупчасте пумпе и хидромоторе са унутрашњим озубљењем и
- Зупчасте пумпе и хидромоторе са зупчастим прстеном

Крилне пумпе и хидромотори се могу поделити на[3]:

- Крилне пумпе и хидромотори са крилцима у жљебовима статора и
- Крилне пумпе и хидромотори са крилцима у жљебовима ротора

Када је реч о транслаторном кретању радног елемента запреминских пумпи и хидромотора, њихова основна подела базирана је на положају радног елемента у односу на осу ротације, с тога постоје [3]:

- Радијално клипне пумпе и хидромотори и
- Аксијално клипне пумпе и хидромотори

Радијалне клипне пумпе (хидромотори) могу бити [3]:

- Са клиповима у статору (редне)
- Са клиповима у ротору (ротационе)

Док се аксијалне клипне пумпе (хидромотори) деле на:

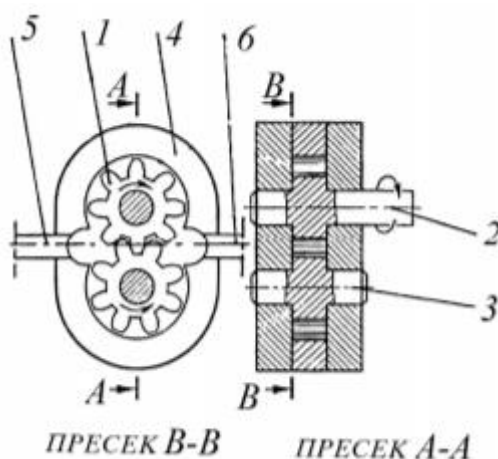
- Аксијалне клипне пумпе и хидромотори са косом нагибном плочом и
- Аксијалне клипне пумпе и хидромотори са косим цилиндарским блоком.

2.3 Зупчасте пумпе

Зупчасте пумпе спадају у групу запреминских пумпи код којих су радни елементи за потискивање течности зупци зупчаника. Према конструктивном решењу разликујемо зупчасте пумпе и хидромоторе са: спољашњим и унутрашњим озубљењем.

2.3.1 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

Зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем спадају у најпростије и најјефтиније запреминске пумпе. Обртањем погонског зупчаника (позиција 2, слика 2) доводи се у погон гоњени зупчаник (осовина 3, слика 2). Најчешћи је случај да су погонски и гоњени зупчаник исте величине. Зупчаници у свом међузубљу преносе радну течност из усисног до потисног радног простора пумпе. При томе се услед смањења количине течности у усисном делу радног простора пумпе ствара потпритисак, док се у његовом потисном делу због повећања количине радног флуида ствара натпритисак. Због настанка потпритиска у усисном делу, изазива се усисавање течности у радни простор пумпе и даље транспортовање ка потисној страни. Радна течност се транспортује у међузубљу уз постепено повећање притиска течности, тако да је најнижи када се налази у међузубљу до усисне стране, а највиши када се помери и дође до потисне стране пумпе [3].



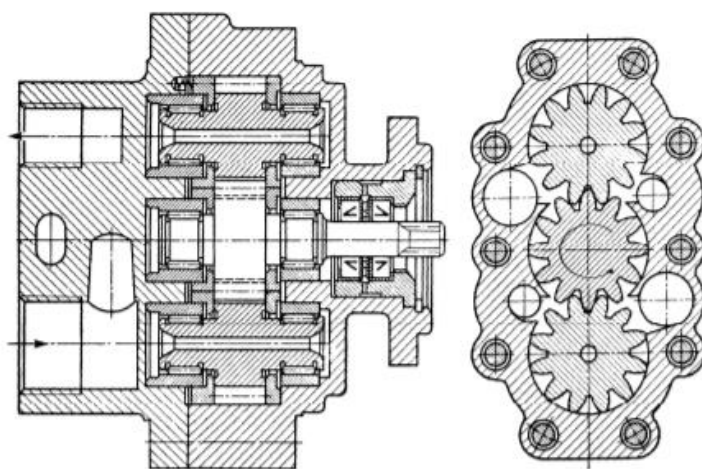
Слика 2. – Шематски приказ зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем
1 – зупчаник, 2- погонско вратило, 3- осовина, 4- кућиште, 5- усисно грло, 6- потисно грло [3]

Губици снаге у зупчастој пумпи или хидромотору настају због хидрауличних и механичких губитака а нарочито услед губитака истицања тј. цурења радне течности кроз зазоре из коморе вишег у комору нижег притиска. До истицања течности из простора вишег у простор нижег притиска долази због поменутих, присутних

(неопходних) зазора на чеоним (између површине зуба и кућишта) и бочним странама (између бокова зуба и страна кућишта). Код оштећених зуба који су услед хабања изгубили првобитни профил, као и код пумпи код којих је извршена погрешна монтажа зупчаника или лежаја, до протицања радне течности може доћи и на месту захвата зупчаника по линији додира зуба [3].

Зупчасте пумпе са спољним озубљењем се производе за притиске до 200 bar и протоке 250 l/min , а ређе и за протоке до 500 l/min . Раде са бројевима обртаја од 500 до 3000 o/min .

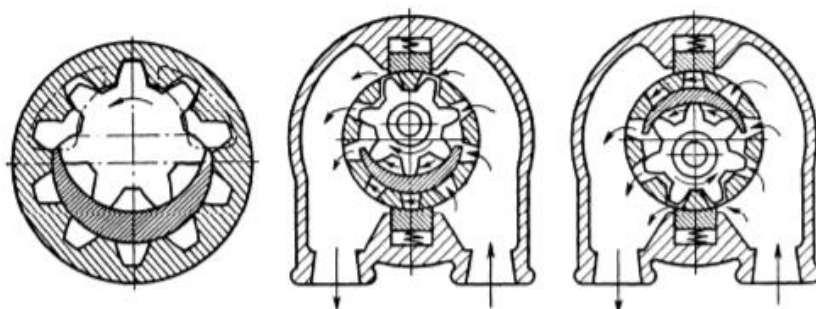
Зупчасте пумпе са три спрегнута зупчаника се нешто ређе израђују. Од три зупчаника, један је погонски, а два су гоњена. Ова пумпа има две усисне и две потисне стране, које се међусобно могу повезати, али могу и остати одвојене. Шема такве пумпе приказана је на слици 3 [3].



Слика 3. – Зупчаста пумпа са три зупчаника[3].

2.3.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем

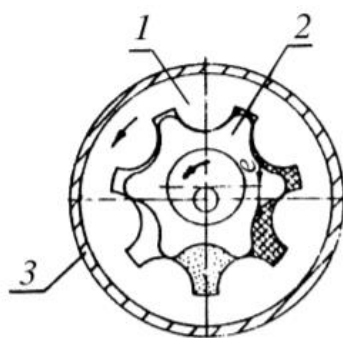
Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем (слика 4) су нешто сложеније израде, али за разлику од зупчастих пумпи са спољашњим спрезањем, мањег су габарита (за исту вредност протока) и готово да су бешумне при раду, а такође и степен пулзације протока им је мали. скоро. Пумпа се састоји од кућишта, зупчаника са спољашњим и зупчаника са унутрашњим озубљењем. Производе се за радне притиске до 150 bar и протоке до 100 l/min , а раде са бројевима обртаја од 500 до 3000 o/min [3].



Слика 4. – Зупчасте пумпе са унутрашњим спрезањем[3].

2.3.3 Зупчасте пумпе са зупчастим прстеном

Из основне конструкције зупчасте пумпе са унутрашњим спрезањем развијена је конструкција пумпе са зупчастим прстеном (слика 5). Зупчасти прстен са унутрашњим озубљењем постављен је слободно у кућишту пумпе и поседује један зубац више од зупчастог сегмента на ротору. Током ротације зупчастог сегмента повећава се слободан простор на уписној страни, док се на потисној овај простор смањује. Заједно са прстеном помера се и радна течност (која испуњава међузубље) од уписне према потисној страни [3].



Слика 5 – Пумпа са зупчастим прстеном[4].

Овај тип пумпе је мањих габарита, а карактерише их и дуговечност, због тога зупчасте пумпе са унутрашњим спрезањем и пумпе са зупчастим прстеном имају велику примену у уљно-хидрауличним системима за управљање.

2.4 Клипне пумпе

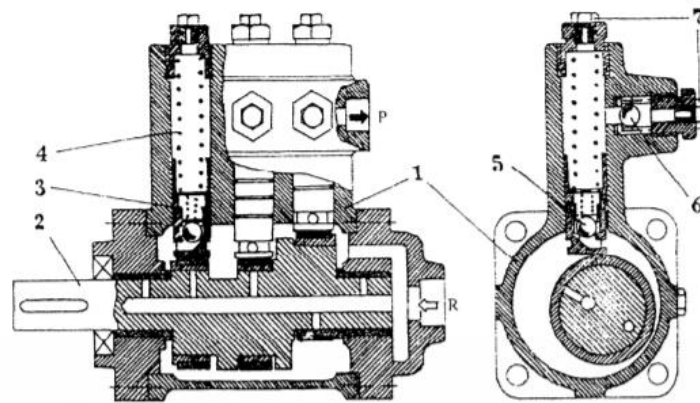
2.4.1 Радијалне клипне пумпе

Радијалне клипне пумпе и хидромотори добили су назив по распореду клипова у односу на осу ротације. По конструкцији могу бити:

- Са клиповима у статору (редне клипне пумпе и радијалне клипне пумпе са ексцентром) и
- Са клиповима у ротору (ротационе радијалне клипне пумпе)

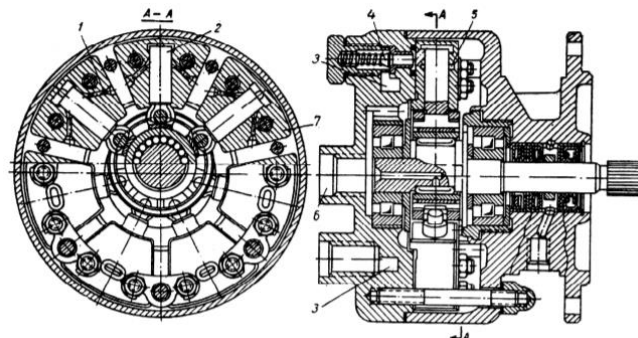
Код редне клипне пумпе (слика 6), клипови (слика 6, позиција 3) су постављени дуж осе ротације и доњим крајем ослањају се на ексцентричне сегменте коленастог вратила (слика 6, позиција 2). Помоћу алтернативног извора енергије поспешује се ротационо кретање коленастог вратила које се преко ексцентара преноси на клипове који

се крећу транслаторно дуж своје осе. Опруге обезбеђују стално налагање клипова на површине сегмената коленастог вратила. Највише тачке ексцентричних сегмената заокренуте су за 120 степени. У току кретања клипа навише, усисни вентил је затворен и клип преко потисног вентила потискује радну течност из цилиндра, односно из пумпе кроз потисни отвор. Обрнуто кретање клипа, из горњег у доњи положај врши се дејством силе опруге. При овом кретању затвара се потисни вентил, притисак у цилиндру опада, услед чега се отвара усисни вентил и цилиндар се испуњава радном течношћу. Због повећаних отвора на усису, ове пумпе постављају се тако да им радна течност дотиче слободним падом. Редне клипне пумпе се производе за притиске и до 640bar. Раде са бројевима обртаја од 300 до 1000o/min и са релативно ниским степеном корисности, запреминским: 0,75-0.85, а укупним 0,60-0,70 [3].



Слика 6. – Шематски приказ редне клипне пумпе
1- тело са три цилиндра, 2- ексцентрично вратило, 3- клип, 4- опруга, 5- усисни вентил, 6- потисни вентил, 7-завртњи за испуст ваздуха[3].

Ако посматрамо радијалну клипну пумпу са ексцентром, приметимо да су радни клипови постављени у статору. У односу на центар статора ексцентрично је постављено главно погонско вратило и оно ротира око центра. На горње површине клипова делују силе опруга па клипови стално приањају на површину погонског вратила. Због ексцентричности осе вратила у односу на осу ротације, клипови се померају дуж цилиндара у којима су постављени. Слободни простори цилиндара у којима су смештене опруге повезани су заједничким каналом са усисном, односно потисном страном пумпе. Код кретања клипова према погонском вратилу уље се усава, а код кретања клипова од погонског вратила уље се под притиском потискује из пумпе. На слици 7 приказана је конструкција распрострањене радијалне клипне пумпе са ексцентром [3].



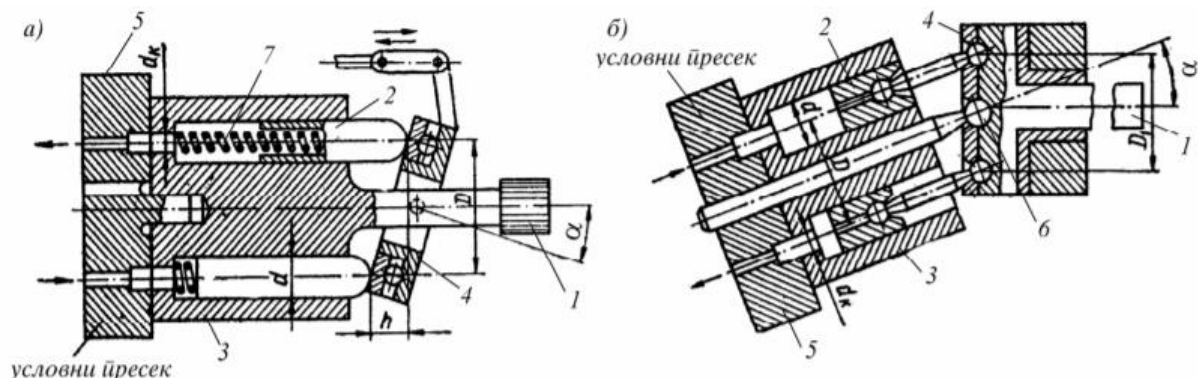
Слика 7 – Шематски приказ радијалне клипне пумпе са ексцентром
1- усисни разводни канал, 2- клип, 3- потисни прикључак, 4- вентил, 5- усисни вентил, 6- усисни прикључак, 7- цилиндар[3].

На приказаној шеми радијалне клипне пумпе може се приметити да се течност из резервоара кроз прикључни отвор (6) доводи у унутрашњу шупљину тела пумпе. Одатле, кроз отворе (5) и канале (1) бива усисана у цилиндри при ходу клипова у смеру ка центру пумпе. Када се клип креће у супротном смеру, од центра, отвор је прекривен и радна течност се потискује кроз вентил (4) у потисну комору пумпе (3). Овакви типови клипних пумпи обезбеђују притиске вредности реда 600bar до чак 1000bar [3].

2.4.2 Аксијалне клипне пумпе

Аксијалне клипне пумпе (слика 8) и хидромотори су због низа изванредних својстава најчешће коришћени агрегати у хидрауличним системима преноса снаге. Одликује их компактна конструкција, мали момент инерције, висок радни притисак, велика радна запремина и погодна конструктивна могућност за уградњу уређаја за регулацију величине радне запремине и смера струјања. Недостатак им је што захтевају радну течност високог степена чистоте. Према конструкцији аксијалне клипне пумпе се деле на [3]:

- Аксијалне клипне пумпе са косом нагибном плочом и
- Аксијалне клипне пумпе са косим цилиндарским блоком



Слика 8 – Шематски приказ аксијалних клипних пумпи

а) са косом нагибном плочом, б) са косим цилиндарским блоком

1- погонско вратило, 2- клип, 3- цилиндарски блок, 4-а нагибна плоча, 4-б вертикална плоча, 5- чеона разводна плоча, 6- кардански зглоб, 7- опруга [3].

За конструкције на слици 8 (а и б) може се рећи да су сличне и састоје се од цилиндарског блока који ротира, у којем су дуж осе ротације постављени клипови. Увек је непаран број клипова; најчешће се поставља седам или 9 комада. Тако се постиже висок степен равномерности потискивања уља у систем, а истовремено достиже се и горња граница сложености конструкције.

Код пумпе са нагибном плочом (слика 8-а), осе чеоне разводне плоче (5), цилиндарског блока (3) и погонског вратила (1) се поклапају. Разводна плоча мирује. На једној њеној половини (левој) је постављен усисни канал, а на другој (десној), канал кроз који се врши потискивање уља под притиском. У цилиндрима су смештени радни

клипови који су притиснути опругама (7) које су смештене у истим, тако да заобљеним крајем (цилиндри) остварују контакт и клизе по нагнутој плочи. Пошто су цилиндарски блок и погонско вратило чврсто везани, заједно врше обртно кретање, а са њима се обрћу и клипови у цилиндрима, који се притом крећу и трансляторно – осцилаторно у цилиндрима [3].

Дужина хода клипа је функција величине угла нагиба плоче. Клипови који се нађу у крајњем доњем положају, код даљих ротација почињу са извлачењем из цилиндра. У његовој цилиндарској комори се услед тога ствара потпритисак, а како је она спојена са усисном комором и усисним цевоводом, долази до испуњавања коморе радном течностју. Исту функцију обављају сви клипови постављени у левој половини кућишта повезани са усисном комором. Када клип достигне крајњи горњи положај, почиње се померати у супротном смеру, па долази до потискивања уља из цилиндра у потисну комору. Доласком клипа у крајњи доњи положај, завршава се потискивање уља у потисну комору и поново почиње процес усисавања уља [3].

2.5 Параметри енергије пумпи

2.5.1 Параметри хидрауличне снаге

Напор запреминских хидрауличних машина који код пумпи представља повећање, а код хидромотора смањење енергије струјања јединице масе радне течности једнак је разлици притисака на улазу и излазу из пумпе (Δp_p) односно на улазу и излазу из хидромотора (Δp_m). Па се хидраулична снага пумпе дефинише као [2]:

$$P_{hp}[W] = Q_p \cdot \Delta p_p \quad (6)$$

Где је са $Q_p[m^3/s]$ означен запремински проток пумпе на излазу.

Пораст притиска који ствара запреминска пумпа у хидрауличним системима зависи од спољашњег оптерећења хидромотора и отпора насталих у хидрауличном систему услед трења радне течности. Како се, по правилу, радна течност пумпи доводи из резервоара, а из хидромотора шаље у резервоар, у коме је најчешће притисак радне течности атмосферски (отворени резервоар, притисак приближно 1бар), то се најчешће при анализи биланса снаге запреминских хидрауличних машина, притисак на улазу у пумпу занемарује као много мањи од притиска на излазу из пумпе $p_p[Pa]$. Сходно томе, може се писати [2]:

$$P_{hp} = Q_p \cdot p_p \quad (7)$$

Запремински проток пумпе дефинише се као запреминска количина радне течности која у јединици времена излази из пумпе. Док, теоријски (геометријски) проток пумпе $Q_{tp}[m^3/s]$ представља промену радне запремине пумпе у јединици времена. Теоријски

проток пумпе дефинише се као производ специфичног протока пумпе $q_p[m^3/o]$ и угаоне брзине вратила пумпе $\omega_p[o/s]$, односно математички записано[2]:

$$Q_{tp} = q_p \cdot \omega_p \quad (8)$$

При чему се под специфичним протоком пумпе подразумева укупна промена радне запремине при једном обртају њеног вратила. Величина специфичног протока q зависи од типа и конструктивног решења запреминске хидрауличне машине, с тога се за различите хидрауличне машине другачије израчунава. Примера ради, за крилне пумпе које су тема овог рада, израчунава се следећим изразима [2]:

а) крилне пумпе са крилцима у ротору једноструког дејства

$$q = 2 \cdot e \cdot b \cdot \left(D_s \cdot \pi - \frac{s \cdot z}{\cos \beta} \right) \quad (9)$$

Где

су:

- $e[m]$ - ексцентрицитет пумпе,
- $b[m]$ - ширина статора,
- $D_s[m]$ - пречник статора,
- $s[m]$ - дебљина крилаца,
- $z[-]$ - број крилаца,
- $\beta[rad]$ - угао закошења крилаца у односу на радијус ротора.

б) крилне пумпе са крилцима у ротору двоструког дејства

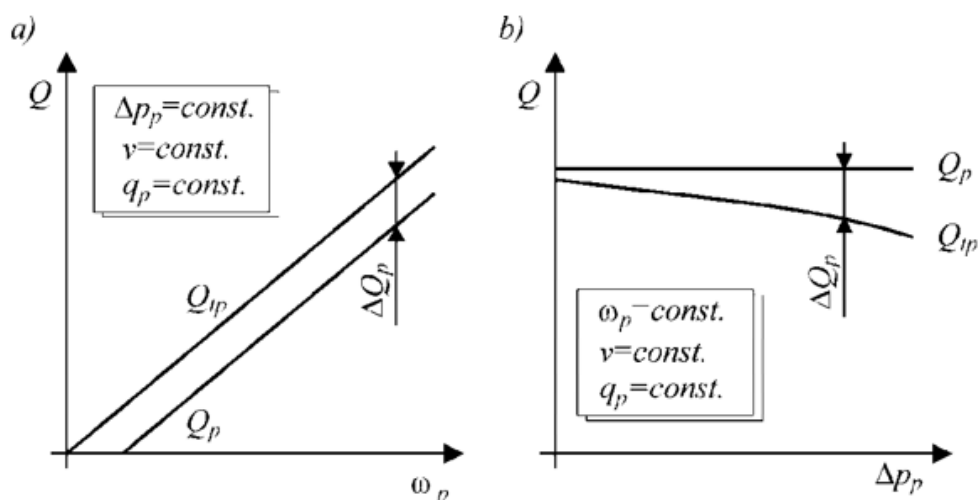
$$q = 2 \cdot b \cdot (R_s - r_s) \cdot \left[\pi \cdot (R_s + r_s) - \frac{s \cdot z}{\cos \beta} \right] \quad (10)$$

Где су:

- $b[m]$ - ширина статора,
- $R_s[m]$ - велики радијус елипсе статора,
- $r_s[m]$ - мали радијус елипсе статора,
- $s[m]$ - дебљина крилаца,
- $z[-]$ - број крилаца,
- $\beta[rad]$ - угао закошења крилаца у односу на радијус ротора.

Стварни проток запреминских машина се разликује од теоријског протока због постојања запреминских губитака $\Delta Q[m^3/s]$, што се може протумачити и са дијаграма приказаног на слици 9. Код пумпи, стварни проток увек је мањи од теоријског за вредност поменутих губитака[2]:

$$Q_p = Q_{tp} - \Delta Q_p \quad (11)$$



Слика 9 – Зависност протока запреминске пумпе од а) угаоне брзине и б) разлике притисака [2].

2.5.2 Запремински губици хидрауличних машина

Према начину настајања запремински губици хидрауличне машине могу бити:

1. Губици протока услед цурења радне течности кроз зазоре из области вишег притиска у област нижег притиска (практично линеарно зависни од разлике притисака на улазу и излазу из пумпе), при чему се коефицијент пропорционалности назива коефицијентом цурења $k_c [m^3/s \cdot Pa]$
2. Волуметријско-кавитациони губици, односно губици протока због непопуњености радне запремине. Настају само код запреминских пумпи и практично су константни до одређеног броја обртаја вратила пумпе, а након тога расту.
3. Губици протока због стишљивости течности, који се, за уобичајене радне притиске запреминских хидрауличних машина, са инжењерског становишта практично могу занемарити [2].

Запремински губици најчешће се изражавају запреминским степеном корисности η_v , који се код пумпи дефинише изразом[2]:

$$\eta_{vp} = \frac{Q_p}{Q_{tp}} \quad (12)$$

Када се занемаре губици протока због непопуњености радне запремине, запремински губици настају само због цурења течности, па се коефицијент цурења пумпе може писати као[2]:

$$k_{cp} = \frac{\Delta Q_p}{\Delta p_p} = q_p \cdot \omega_p \cdot \frac{1 - \eta_{vp}}{\Delta p_p} \quad (13)$$

2.5.3 Параметри механичке снаге пумпе

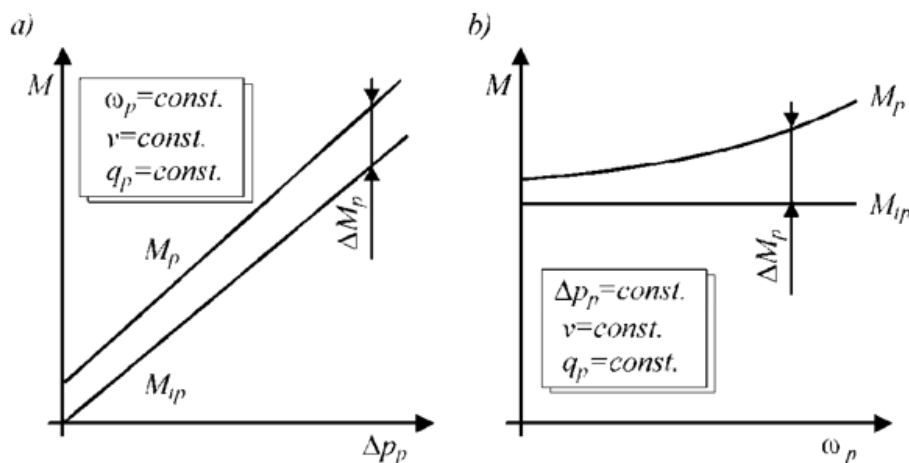
Под механичком снагом пумпе подразумева се снага која се на вратило пумпе доводи из погонског агрегата (електромотор или мотор СУС), дефинише се као производ обртног момента на вратилу пумпе $M_p [N \cdot m]$ и угаоне брзине ω_p , математички записано[2]:

$$P_{mp} = M_p \cdot \omega_p \quad (14)$$

Обртни момент на вратилу пумпе је обртни момент који је потребан за погон исте. Теоријски обртни момент запреминске хидрауличне машине $M_t [N \cdot m]$ представља фиктивни момент којег ствара притисак радне течности у радном простору машине. Као и код хидрауличних параметара, стварни обртни момент се разликује од теоријског за вредност губитака (моментних губитака) $\Delta M_p [N \cdot m]$ који у овом случају представљају добитак (прираштај) енергије када је у питању пумпа[2]:

$$M_p = M_{tp} + \Delta M_p \quad (15)$$

Разлика између теоријског и стварног обртног момента за вредност губитака може се видети на дијаграмима зависности приказаним на слици 10:



Слика 10 – Зависност обртног момента запреминске пумпе од а) разлике притисака и б) угаоне брзине [2].

2.5.4 Губици обртног момента

Губици обртног момента код запреминских хидрауличних машина настају као последица:

1. Хидрауличних губитака и вискозног трења између покретних делова машине,
2. Сувог трења између покретних делова хидрауличне машине,
3. Деформација делова машине које настају услед притиска радне течности

Губици обртног момента хидрауличне машине изражава се механичким степеном корисности, при чему је механички степен корисности пумпе η_{mp} дефинисан следећим изразом[2]:

$$\eta_{mp} = \frac{M_{tp}}{M_p} \quad (16)$$

Често се у анализи биланса снаге хидрауличних машина користи појам теоријске снаге, под којим се подразумева снага еквивалентна теоријском протоку при датој промени притиска хидрауличне машине. Ова снага се разликује од механичке снаге такође због губитака обртног момента, па се за теоријску снагу пумпе $P_{tp}[W]$ може писати[2]:

$$P_{tp} = Q_{tp} \cdot \Delta p_p = M_{tp} \cdot \omega_p \quad (17)$$

2.5.5 Укупан степен корисности

Укупан степен корисности хидрауличне машине је однос снага на њеном излазу и улазу. Код запреминске пумпе, укупан степен корисности је[2]:

$$\eta_p = \frac{P_{hp}}{P_{mp}} \quad (18)$$

Укупан степен корисности пумпе изражен преко механичког и хидрауличног степена корисности је[2]:

$$\eta_p = \eta_{mp} \cdot \eta_{vp} \quad (19)$$

3. Крилне пумпе

Конструктивно се разликују крилне пумпе са:

1. Крилцима у жљебовима ротора
2. Крилцима у жљебовима статора

Крилне пумпе са крилцима у жљебовима ротора могу бити:

- а) Једноструког дејства са ексцентрично постављеним ротором у односу на статорски прстен и
- б) Двоструког дејства са центрично постављеним ротором у елиптичном или специјално обликованом статорском прстену.



Слика 11 – крилна пумпа са ротором ексцентрично постављеним у односу на статорски прстен

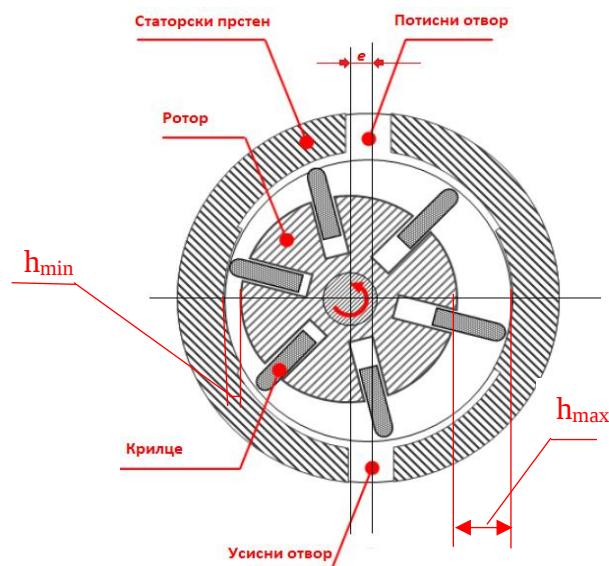
3.1 Крилне пумпе са ексцентрично постављеним ротором

Крилне пумпе и хидромотори са ексцентрично постављеним ротором (слика 11) спадају у групу најједноставнијих запреминских хидрауличних машина

Крилна пумпа се састоји од статора, ротора и крилаца која су уметнута у жљебове усечене у ротору. Центар ротора померен је у односу на осу статора за величину e , која се назива ексцентрицитетом. Од величине ексцентрицитета зависи капацитет пумпе.

Принцип рада крилне пумпе базиран је на обртању ротора при чему врхови крилаца клизе по статорском прстену. Константно пријањање крилаца на статорски прстен може бити узроковано из више разлога: због принудног вођења или услед дејства центрифугалне силе и силе опруге која је у жљебу испод крилаца, или због дејства притиска радне течности која се каналима доводи у жљеб испод крилаца. Радне коморе (запремине којима се течност потискује из усисне у потисну комору пумпе) су простори између два суседна крилаца, добоша ротора, статорског прстена и бочних страна. Због

клизања крилаца по статорском прстену, радне коморе се повећавају (пуне радном течношћу у усисној комори пумпе) и смањују (потискују радну течност у потисну комору пумпе) [3].



Слика 12 – Шематски приказ крилне пумпе са ексцентрично постављеним ротором у односу на статорски прстен

У подручју повећања зазора, крилца се извлаче из жљебова па се запремина радних комора повећава, повећањем запремине ствара се потпритисак који „усисава“ радну течност и испуњава радне коморе пумпе. У тренутку смањења зазора услед деловања силе притиска која се јавља на месту контакта површине статора и крилца, крилца се увлаче у ротор, па самим тим долази до смањења запремине комора, повећања притиска и потискивања радне течности из пумпе [3].

Капацитет пумпе се може прорачунати у односу на корисну величину запремине коморе, која се добије као разлика највеће и најмање запремине радне коморе. На слици 12, приказана је шема крилне пумпе код које се ротор налази у међуположају, с' тога је $0 < e < e_{max}$, а то значи да је код свих радних комора, радна запремина смањена за величину пропорционалну вредности h_{min} . У карактеристичним случајевима, односно када је: $e = e_{max}$, тада је $h_{min} = 0$ и капацитет пумпе има највећу вредност, односно у случају када је $e = 0$, тада је $h_{min} = h_{max}$, капацитет пумпе је једнак нули.

Запремински проток крилних пумпи израчунава се као производ специфичног протока и угаоне брзине:

$$Q_t = q \cdot \omega_p \quad (20)$$

Начин израчунавања специфичног протока приказан је у једначинама (9) и (10).

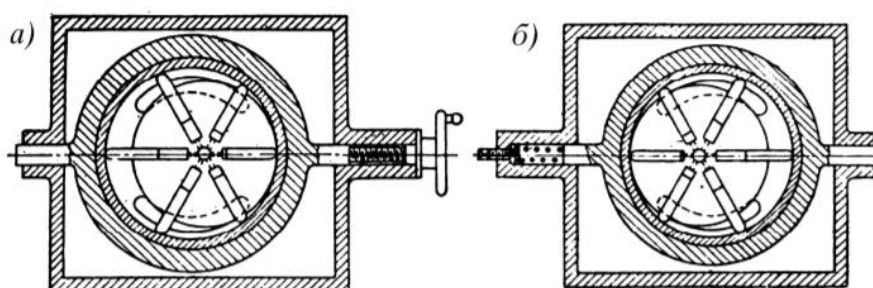
Постоји и конструктивно решење крилне пумпе са ексцентрично постављеним ротором код које се течност доводи кроз осне и радијалне канале на ротору. Усисни и потисни водови тада су раздвојени разводним рукавцем. Овакво конструктивно решење

крилне пумпе омогућава рад са вишим угаоним брзинама него пумпе са разводом кроз отворе на статору.

Код пумпи са ексцентрично постављеним ротором, у току једног обртаја ротора, радна комора изврши један циклус пуњења (усисавања) и један циклус потискивања радне течности, па отуда и назив крилне пумпе једноструког дејства.

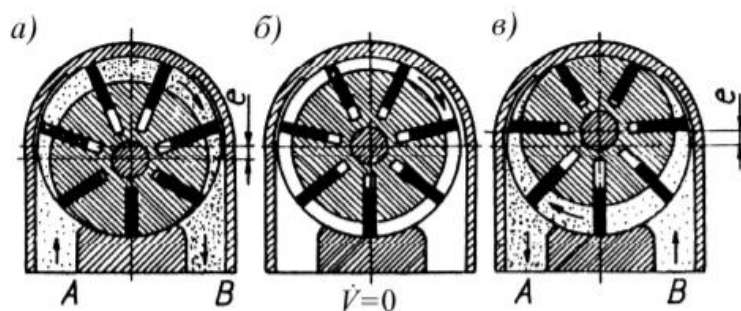
3.2 Крилне пумпе променљиве радне запремине

Крилну пумпу са ексцентрично постављеним ротором могуће је конструктивно тако извести да се ексцентрицитет ротора може мењати (слика 13). Назив крилне пумпе са ексцентрично постављеним ротором устаљен је у пракси, међутим, ексцентрицитет се остварује померањем статора дуж оса (не ротора) па би самим тим назив крилне пумпе са „ексцентрично постављеним статорским прстеном“ више одговарао. Померање статора најчешће се врши регулишућим завртњем или опругом. У зависности од конструкције крилне пумпе, померање статора дуж двеју оса може се вршити некада и у три различита смера [3].



Слика 13 – Начин регулисања ексцентрицитета крилне пумпе, а)регулишућим завртњем, б)опругом[4].

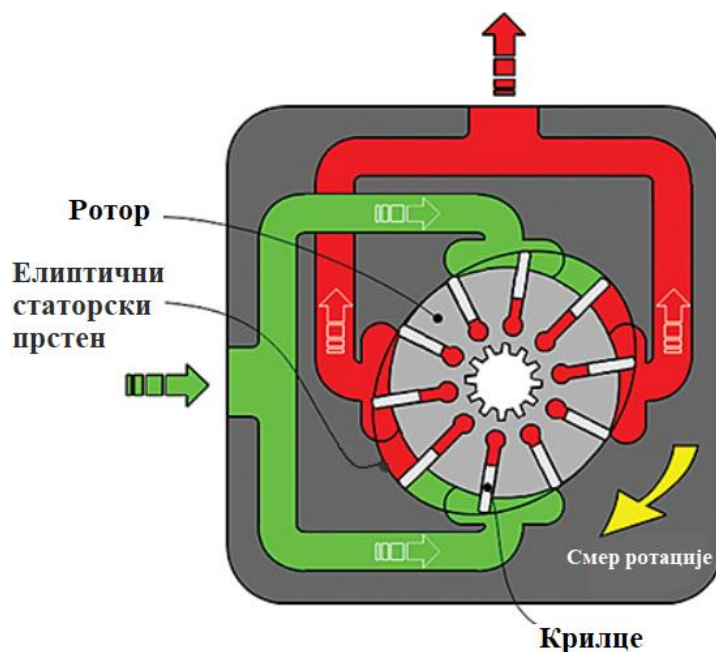
При промени ексцентрицитета мења се радна запремина пумпе, а самим тим и проток пумпе. Довођењем ротора у центрични положај, ексцентрицитет је једнак нули, прекида се проток (пумпа тада ради са нултим протоком), док променом ексцентрицитета са једне на другу страну мења се смер струјања радне течности кроз пумпу (пумпа двосмерног дејства). Као што је приказано на слици 14, у зависности од положаја ротора у односу на статор и променом ексцентрицитета, струјање радне течности може бити као у случају под а, када је $e > 0$, и смер струјања је А-В, када је ексцентрицитет нула, струјања нема, и трећи случај под в када је вредност ексцентрицитета мања од 0, смер струјања је од В ка А [3].



Слика 14 – а) $e > 0$ – смер струјања А-В, б) $e = 0$ – нема струјања, в) $e < 0$ – смер струјања В-А[3].

3.3 Двокоморне крилне пумпе

Са циљем да се повећа капацитет крилних пумпи, дошло се и до конструкцијских решења израде кућишта са две, три, четири или више комора (слика 15). Код таквих конструкција крилне пумпе, у свакој комори се обави по један процес усисавања и потискивања пумпе. Конструкција овог типа крилне пумпе у односу на остале разликује се и по томе што су ротор и статор центрично постављени, с тим што је статорски прстен у овом случају елиптичног облика. Код двокоморних или више-коморних пумпи није могуће мењати капацитет, а ни усисне и потисне стране међусобно [1].



Слика 15 – Шема двокоморне крилне пумпе

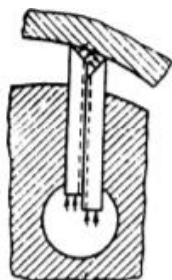
Запремина радне коморе између крилаца се повећава у квадрантима доведене течности (зеленом бојом), а смањује у потисним квадрантима (црвена боја).

3.4 Растерећење крилаца крилних пумпи

Најоптерећенији делови крилних пумпи су места додира врхова крилаца и статора, те свих страна крилаца са површинама жљеба у ротору и бочним површинама статора. Најкритичније је место додира врха крилаца и овалне површине статора где се јављају висока специфична оптерећења, високи коефицијенти трења и интензивни процеси абразивног хабања [1].

Да би се смањио ефекат уклињавања крилаца у статорски прстен, у неким конструкцијама се крилца постављају под углом од 10-15 степени у односу на радијални правац. Код оваквих конструкција није могућ двосмеран рад [3].

Ради смањења величина радијалне силе којом крилца притискају унутрашњу површину статора, уместо једног, у жљеб ротора се постављају по два крилца. Крилца се слободно померају у жљебу ротора при чему је обезбеђено чврсто налегање врха сваког крилца посебно на површину статора. Простори испод и изнад крилаца се могу спојити међусобно каналима, услед чега у шупљини испод крилаца ће се притисак у простору изнад и испод крилаца изједначити, а то обезбеђује боље налегање врха крилца на површину статорског прстена. Приказ изведбе двоструког крилца дат је на следећој слици:



Слика 16 – Изглед двоструког крилца[3].

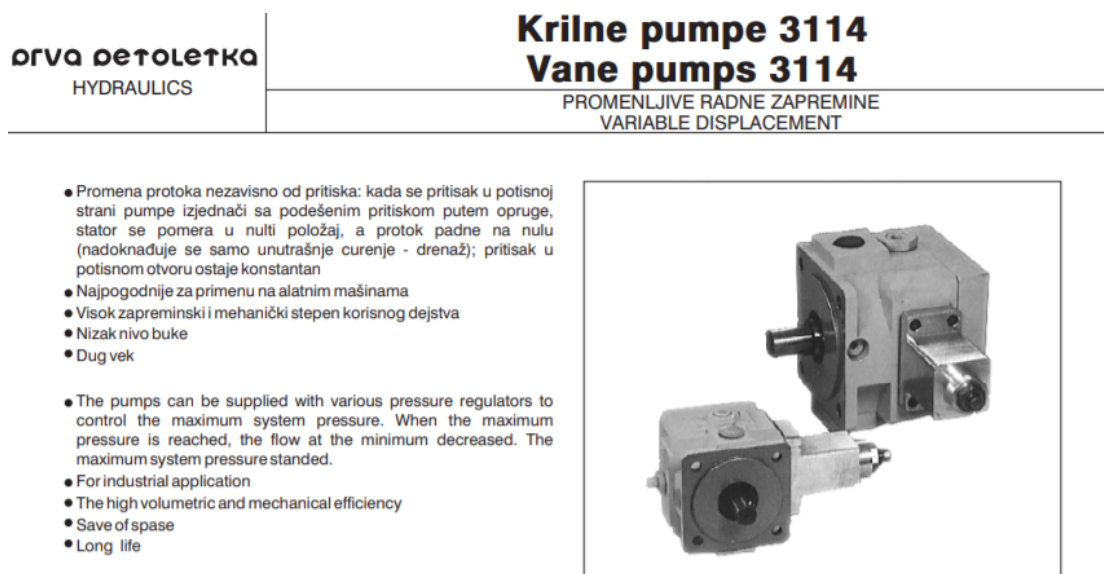
Крилце је сачињено из два дела, који се, у зависности од облика површина крећу независно једно од другог дуж жљеба. На овај начин постиже се и ефикасније заптивање јер су лева и десна комора испуњене уљем различитог притиска, међусобно одвојена са два крилца.

Делимично растеређивање у радијалном правцу од сила притиска течности постиже се израдом жљеба на три од четири чеоне површине. Сличан ефекат се постиже и израдом жљеба на горњој чеоној површини која је у контакту са статорским прстеном и отвора који везује горњу и доњу чеону површину [3].

4. Израда 3D модела крилне пумпе променљиве радне запремине

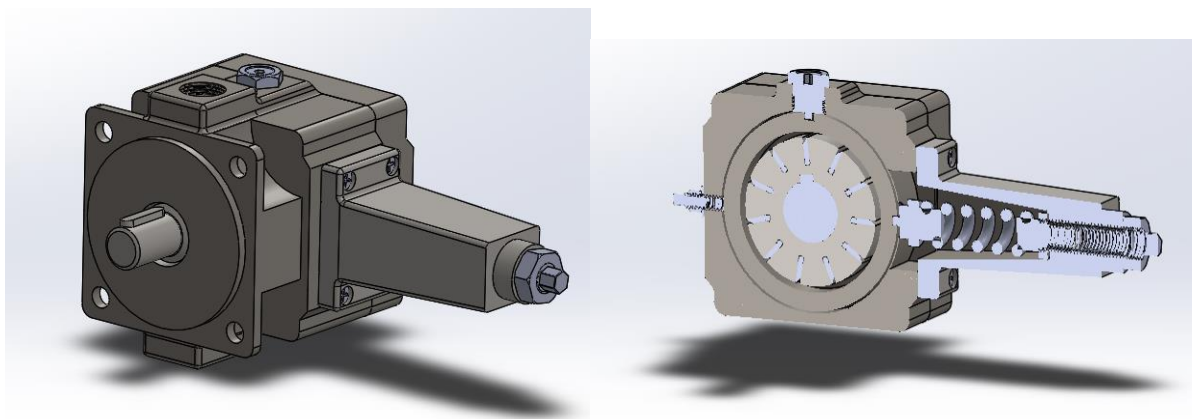
Завршни део овог рада односи се на израду 3D модела дате крилне пумпе софтверском пакету “SolidWorks”. SolidWorks 3D CAD (Computer Aided Design - Компјутерски подржано дизајнирање) је софтверски пакет који се користи у процесима развоја производа, технологије, израде техничких упутстава, симулацијама, прорачунима, изради сложених машинских делова и склопова. Пружа лаку израду радионичке и склопне документације са пратећим спецификацијама неопходним са производњу, набавку и анализу трошкова. Садржи различите специјализоване модуле за пројектовање алата и калупа за пластику, делова од лима, заварених конструкција, цевовода и електро инсталација. Поред тога, садржи напредне алате за дефинисање сложене геометрије и површина, великих склопова, креирања различитих варијација решења и скупа производа, симулације механизма и равних склопова, визуализацију идеја кроз израду филмова и фотореалних приказа и сл [4].

Поступак моделирања крилне пумпе променљиве радне запремине (ППТ 3114, слика 17) описан је у тексту који следи.



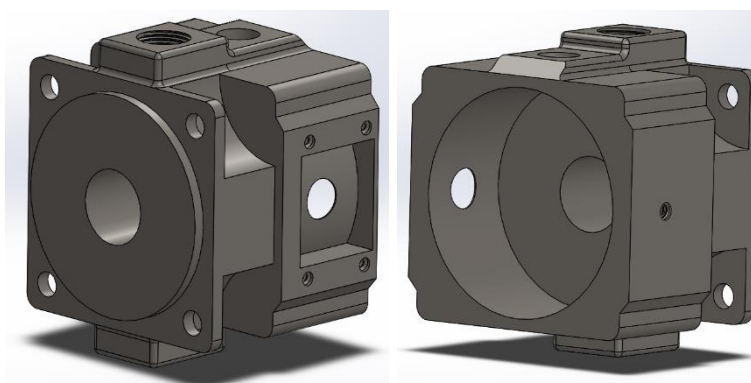
Слика 17 – Модел крилне пумпе променљиве радне запремине која је предмет овог задатка

3Д модел ове крилне пумпе (слика 18), као и неки од њених елемената који су моделирани у софтверу “SolidWorks” приказани су на сликама испод. Израда 3Д модела базира се на креирању скица које је неопходно дефинисати и потом применом различитих команди истим додати трећу димензију.

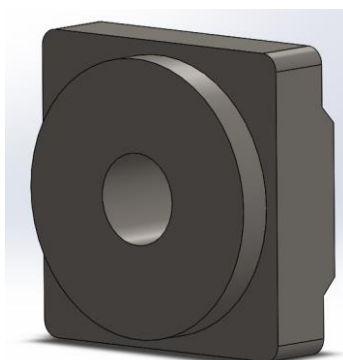


Слика 18 – 3Д модел и пресек 3д модела крилне пумпе променљиве радне запремине

3Д модел кућишта и поклопца крилне пумпе приказан је на слици 19 и на слици 20. Кућиште ове крилне пумпе је најобимнији и најкомплекснији део. Самим тим, за моделирање кућишта примењен је највећи број опција и алата. Пре самог моделирања, нарочито када су у питању комплекснији делови, пожељно је од стране конструктора протумачити и анализирати на који начин ће се приступити креирању истог како би се избегле евентуалне грешке, а уједно и уштедело време.

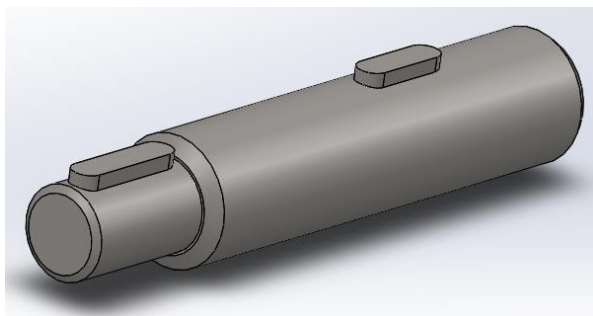


Слика 19 - 3Д модел кућишта из две различите перспективе посматрања



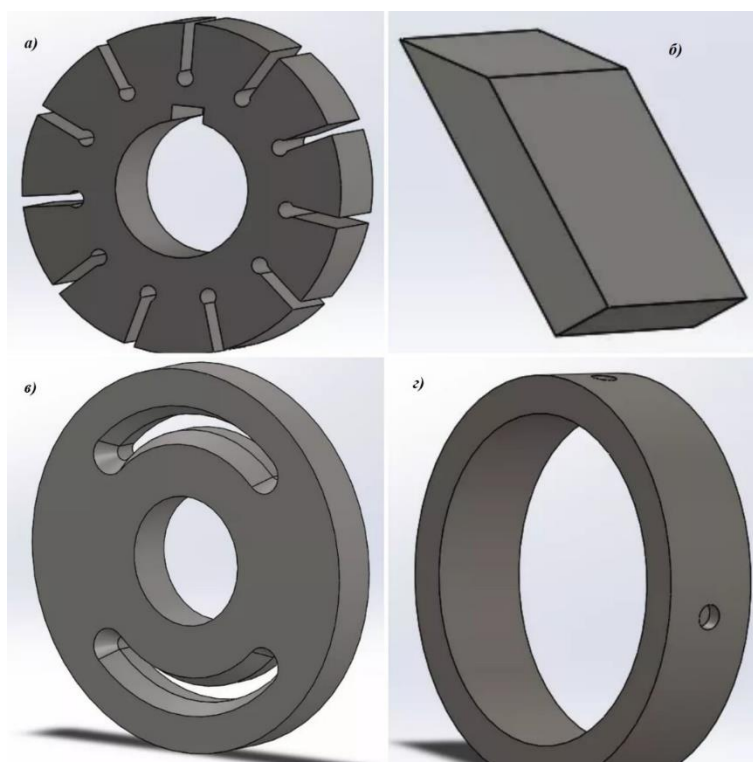
Слика 20 – 3Д модел поклопца крилне пумпе

Свака пумпа се погони помоћу различитих погонских агрегата, најчешће електромотором. Пренос енергије од погонског агрегата до радног кола пумпе врши се посредством вратила, чији 3Д модел је приказан на следећој слици, слици 21. Вратило је један од једноставнијих делова за моделирање ове крилне пумпе.



Слика 21 – Вратило

Поред кућишта и вратила, основни делови крилне пумпе попут радног кола, статорског прстена, крилаца и сл, односно њихови израђени 3Д модели приказани су на следећој слици 22:

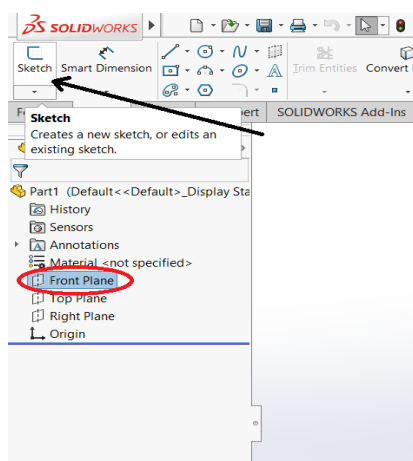


Слика 22 – а) радно коло, б) крилце, в) разводна плоча, г) статорски прстен

4.1 Поступак моделирања компоненти пумпе

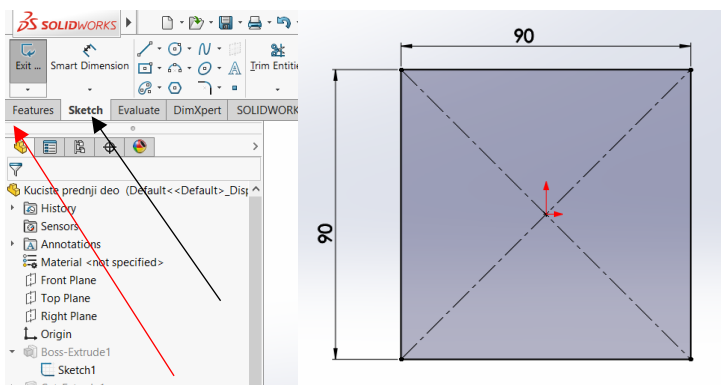
Поступак моделирања компоненти у „SolidWorks”-у изводи се применом различитих алата за цртање облика, котирање истих и коришћења опција за 3Д израду и визуелизацију нацртаних скица. У даљем тексту је детаљно објашњен комплетан поступак моделирања различитих компоненти, а потом и њихово склапање у готов облик пумпе и напослетку израда саме техничке документације.

Први корак при моделирању је избор референтне равни у којој се креира 2Д скица. Након одабира равни, користи се опција *Sketch* која нам у изабраној равни омогућава поступак скицирања различитих облика. Различитим алаткама можемо израдити правоугаоне, шестоугаоне, троугаоне, кружне, лучне облике као и линије различитих карактера. Сваки од облика која се у команди *Sketch* нацрта мора бити у потпуности дефинисан да би се на основу скице могао израдити 3Д модел.



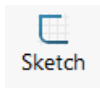
Слика 23 – Одабир референтне равни и опција *Sketch* (скица)

Из палете алата користимо и комбинујемо оне неопходне за цртање жељених облика. Конструктор на основу искуства одлучује од ког дела ће почети израду модела, у овом случају одабрани су делови склопа које је неопходно накнадно дорадити, да би се њиховом каснијом прерадом довело до потребног изгледа.



Слика 24 – Поступак скицирања кућишта пумпе

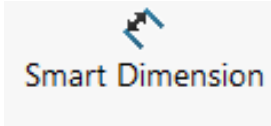
Алати коришћени у овом поступку:



Sketch односно скица, је једна од основних команди у програму. Унутар скице се цртају (скицирају) различити облици применом основних алата од којих се касније израђују 3Д модели.



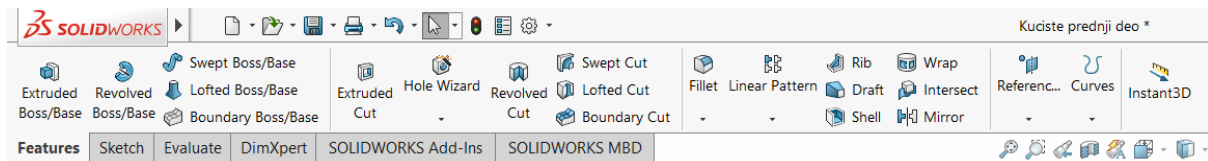
Center rectangle је команда помоћу које се цртају облици правоугаоног или квадратног типа при чему се за полазну тачку узима центар односно пресек дијагонала.



случајева.

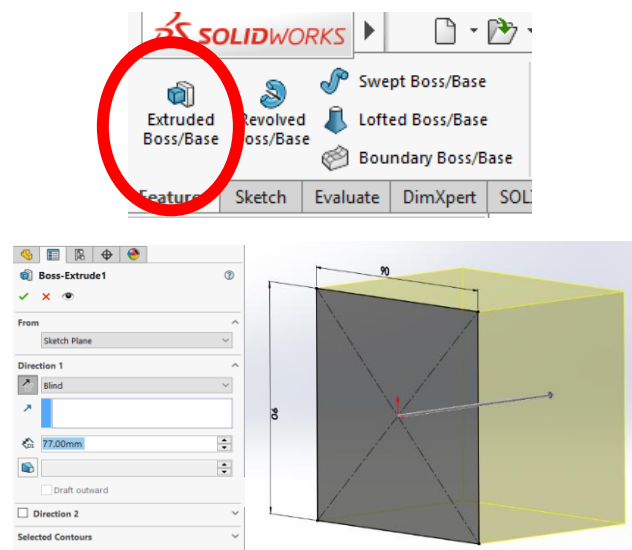
Smart Dimension представља команду која служи за дефинисање односно котирање димензија у скици, дужина, ширина, висина, пречник итд. Да би се након цртања неког облика уопште наставило моделирање, коришћење ове команде је неопходно у највећем броју

Када је нацртана скица и потпуно дефинисана, што је потврђено црном бојом контурних линија скице, може се приступити изради облика у 3Д-у. По изласку из скице, у одељку *Features* бира се команда којом се то извршава.

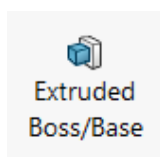


Слика 25 – Палета команди у одељку „Features”

У одељку *Features* бирамо команду *Extruded Boss/Base* помоћу које дефинисаној скици додајемо трећу димензију и добијамо облик у 3Д моделу.



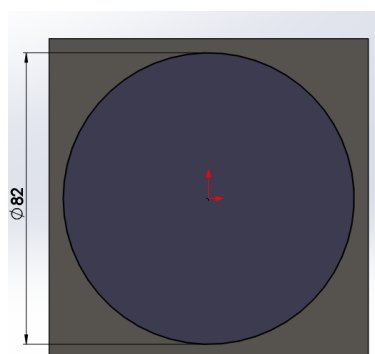
Слика 26 – Поступак добијања 3Д облика применом команде “Extruded Boss/Base”



Extruded Boss/Base (Додавање материјала истискивањем). Просторним екструдирањем, односно истискивањем од скице се формира просторни елемент. Простор обухваћен скицом приликом стварања елемента може бити додат или одузет моделу. На слици 26 (лево) у простору за унос димензије, уносимо ону вредност за колико желимо истиснути скицу у простор, док нам селектовање команде *Blind* у падајућем менију потврђује да се истискивање врши по изабраној димензији [5].

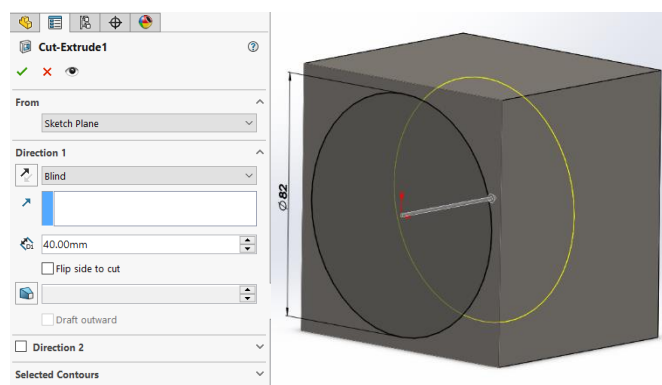
Даљи поступак моделирања наставља се применом алата из одељка *Sketch* и команди у одељку *Features*.

Коришћењем алатке *Circle* (слика 27) у одабраној равни, исцртавамо кружницу полазећи из центра коју дефинишемо жељеном димензијом.

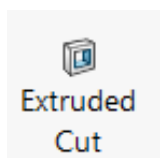


Слика 27 – Примена алатке *Circle*

А потом као и у претходном случају користимо једну од команди из одељка *Features*, само овај пут примењујемо команду *Extruded Cut*.

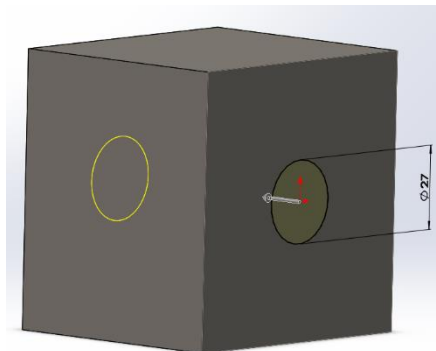


Слика 28 – Примена команде *Extruded Cut*



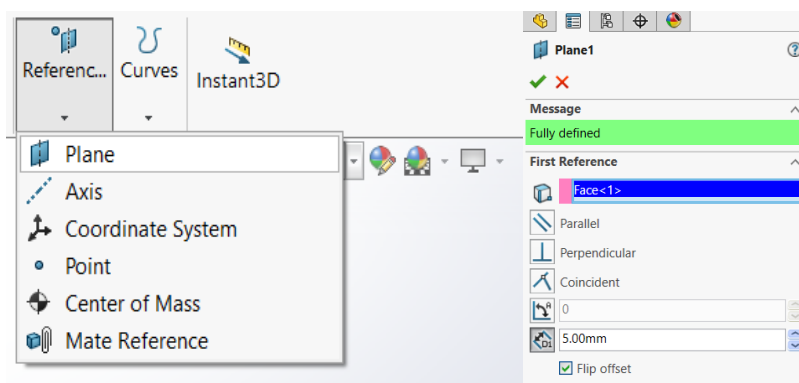
Extruded Cut (Одузимање материјала екструдирањем) команда користи се на пуном материјалу када постојећи 3Д облик желимо продубити или једноставно скинути одређени део материјала на основу скице. Врши се одузимањем материјала за димензију која се уноси у одређеном одељку као што је и на слици 28 приказано.

Истом командом са предње стране кућишта пумпе се претходно нацртаном скицом врши одузимање материјала, односно ослобађање простора кроз које пролази вратило (слика 29). У овом случају уместо димензије за коју желимо да продубимо наше кућиште, селектоваћемо у падајућем менију опцију *Through All* како би се кућиште продубило целом дужином.



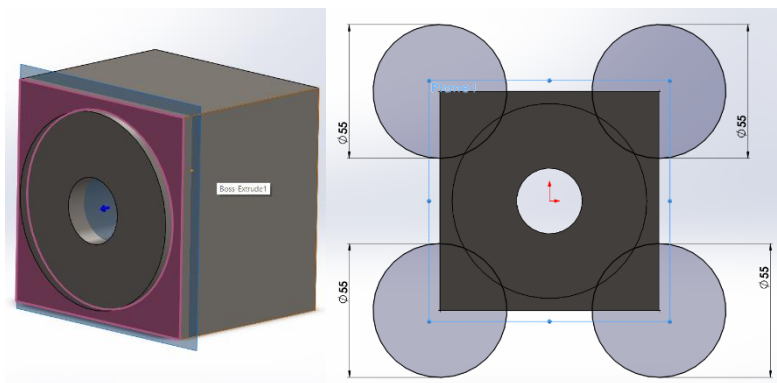
Слика 29 – Примена команде *Extruded Cut, Through All*

Поред поменутих опција, још једна од значајних је она која нам обезбеђује формирање референтне равни. Команда *Reference Plane* примењује се за формирање равни у односу на одређену површину, ивицу или тачку. Користи се у случајевима када је потребно скицирати облик изван стандардних равни и површина, а најчешћи случај је формирање равни унутар дела. Примена ове команде приказана је на слици 30.



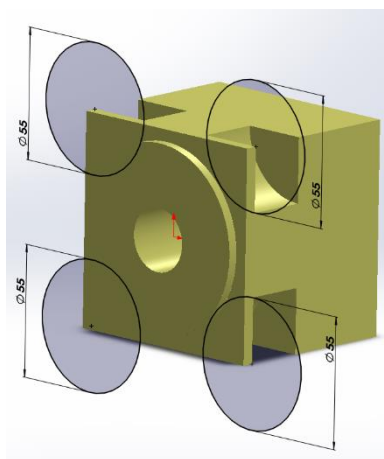
Слика 30 – Примена команде *Reference Plane*

Коришћењем поменуте команде, формирамо раван која је за вредност од 5mm удаљена од чеоне странице кућишта пумпе. Унутар равни у опцији за скицирање, исцртавамо кружнице помоћу команде *Circle* са центром у крајњим ивичним тачкама кућишта.



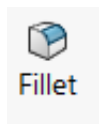
Слика 31 – Примена команде *Reference Plane* и команде *Circle* унутар новокреиране равни

Коришћењем команде *Extruded Cut* дефинисане кружнице одсецају материјал у одређеној дужини па кућиште поприма следећи облик:

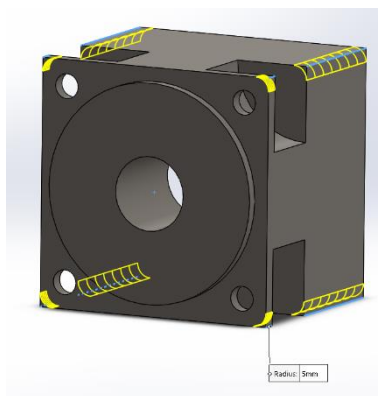


Слика 32 – Изглед кућишта након примене команде *Extruded Cut*

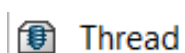
Поред наведених алатки и команди за израду модела, велику примену имају и: *Fillet*, *Thread*, *Mirror entities*, *Revolved Boss/Base*, *Circular pattern* и сл.



Команда *Fillet* служи за заобљавање унутрашњих или спољашњих делова површина на моделу. Заобљење се може вршити на свим ивицама и површинама као и скупу истих. У пољу “*Fillet parameters*” дефинише се радијус жељеног заобљења.

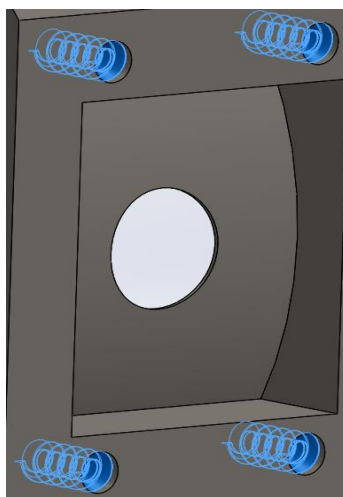


Слика 33 – Примена команде *Fillet*

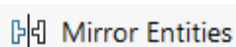


Thread

Команда *Thread* је команда која служи за израду навоја која није стандардизована (M14,M20..). Израда навоја, локација, дужина, тип и остале карактеристике дефинишу се у панелу након одабира саме команде.

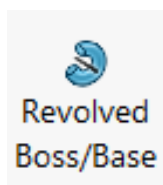


Слика 34 – Примена команде *Thread*



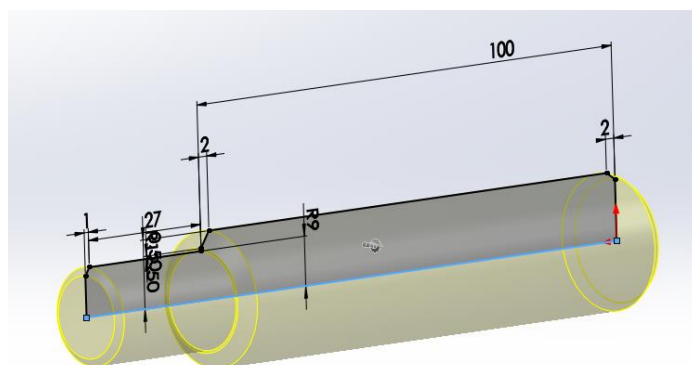
Mirror Entities

Mirror Entities или „огледало“ је команда којом се могу пресликати различити ентитети у односу на референтни елемент (најчешће осна линија – *Centerline*).



**Revolved
Boss/Base**

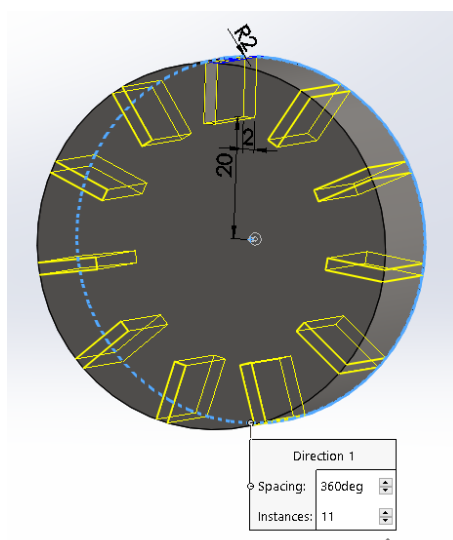
Revolved Boss/Base представља команду која ротирањем затворене контуре за одређену вредност угла формира тродимензионални елемент. Погодна је за конструисање цилиндричних или полуцилиндричних делова.



Слика 35 – Примена команде *Revolved Boss/Base* за израду вратила

Circular Pattern

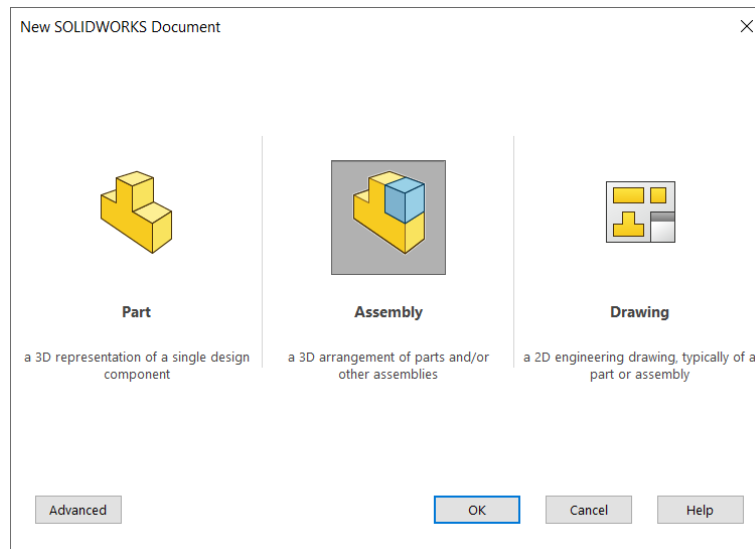
Circular Pattern се користи за израду кружног обрасца. Функционише тако што се најпре одабере кружна површина по којој се врши умножавање одређеног облика, затим је неопходно одредити дистанцу између отвора која може бити једнака или различита, потом вредност угла за колико степени се врши умножавање, као и број елемената. На самом крају одређује се елемент који се умножава.



Слика 36 – Примена команде *Circular Pattern*

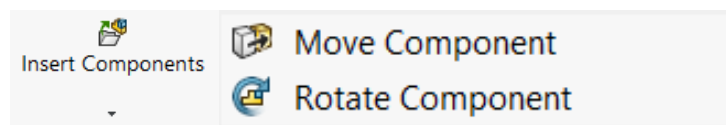
4.2 Поступак формирања склопа

При самом стартовању *SolidWorks-a* и креирања новог радног документа, поред опције у ком се конструишу делови склопа, налази се и радно окружење *Assembly* (слика 37) у ком се врши уношење и склапање претходно моделираних делова у склоп.



Слика 37 – Креирање новог документа у радном окружењу *Assembly* (склоп)

Да би формирање склопа било покренуто, неопходно је делове претходно креиране и сачуване на рачунару, помоћу команде *Insert Components* унети у новоизабрано радно окружење. Унете делове је препоручљиво одмах по уносу померити и ротирати ради прегледнијег радног окружења и саме олакшице приликом склапања. Померање и ротирање делова врши се командама *Move component* и *Rotate component* (слика 38).



Слика 38 – Команде *Insert Components*, *Move Component*, *Rotate Component*

Након што су делови унети у радно окружење приступа се формирању склопа. Команда којом се обезбеђују везе између делова у склопу је команда *Mate*.



Командом "*Mate*" (Спајање), остварују се геометријски односи између компонената склопа. Применом команде, односно формирањем споја између делова, дефинише се степен слободе линеарног или ротационог кретања компонената. Померање и ротирање компонената је омогућено само у оквиру задатих степена слободе.

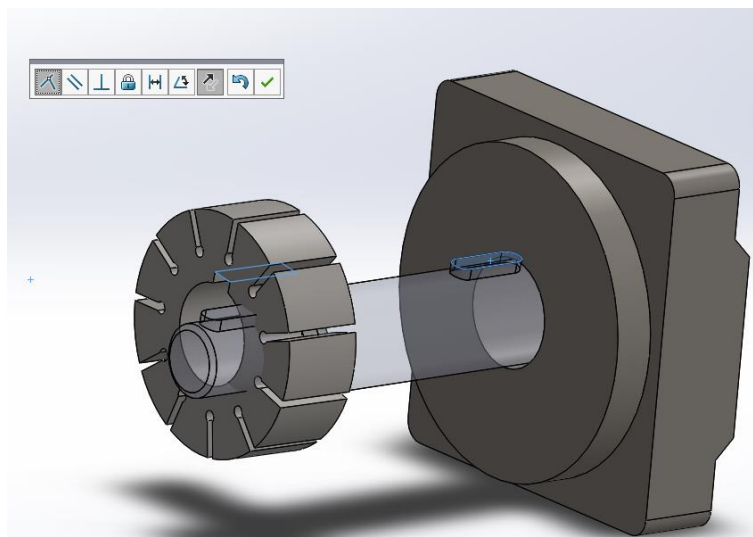
У оквиру опције *Mate* приказане све врсте веза, али примену налазе само оне везе које се користе за одређену врсту спајања. Применом команде *Mate* доступне су следеће стандардне везе из табеле 2:

Табела 2 – Врсте веза у оквиру команде *Mate* [5].

Коинцидентност 	Позиционира одабране странице, ивице и равнине тако да оне деле исту неограничену раван
Паралелност 	Поставља одабране објекте тако да они остају на константном (паралелном) растојању, одвојени један од другог
Окомитост 	Поставља одабране објекте под углом од 90° једне у односу на друге
Тангентност 	Поставља одабране објекте тангентно једне у односу на друге, где најмање један одабир мора бити кружног облика
Концентричност 	Поставља одабране објекте у исту осу (центрира их)
Закључавање 	Одржава позицију и ротацију између две компоненте
Удаљеност 	Поставља одређене објекте са одређеном удаљености између њих
Смер окренутости 	Вектори нормални на одабране површине показују у супротном смеру

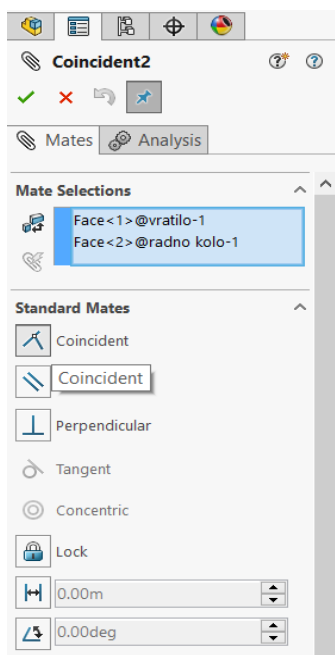
Треба напоменути да прва компонента, односно први део који се убади у радно окружење *Assembly* се дефинише као фиксни, тј. није га могуће померати. Сви остали делови који се потом уносе се склапају према фиксном делу. Па тако, у случају формирања склопа крилне пумпе која је предмет овог задатка фиксни део је поклопац кућишта на који се везују остали делови.

Уколико су делови претходно измоделирани тачних димензија формирање склопа не може бити превише компликовано и захтевно. На основу скице и цртежа јасно се одређује који део, где и са којим другим делом ће бити у вези. Најпре на поклопац кућишта који се третира као фиксни део, везује се вратило једноставним поклапањем површина и дефинисањем везе вратила и цилиндричне шупљине унутар поклопаца концентричним. На том принципу се наставља склапање компоненти, следећа у низу је радно коло које се везује за вратило и поклопац кућишта.



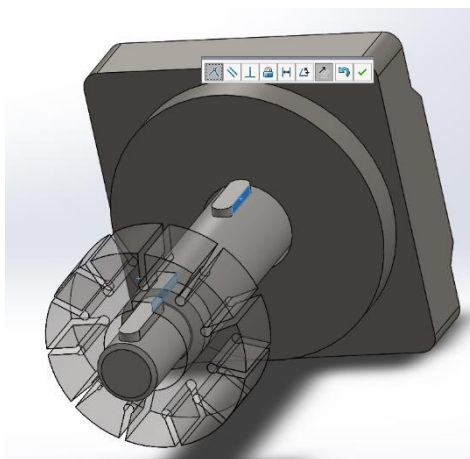
Слика 39 – Дефинисање селектованих површина као коинцидентне

Поступак склапања радног кола састоји се из три везе. Прва као што је приказано на слици 39 је дефинисање горње површине жљеба и горње површине клина коинцидентним, односно на тај начин две изабране површине доводе се у исту раван. Приликом коришћења команде *Mate* са леве стране програма приказује се панел (слика 40) у коме се јасно могу видети селектоване, односно изабране површине и основне опције за формирање веза између тих површина.



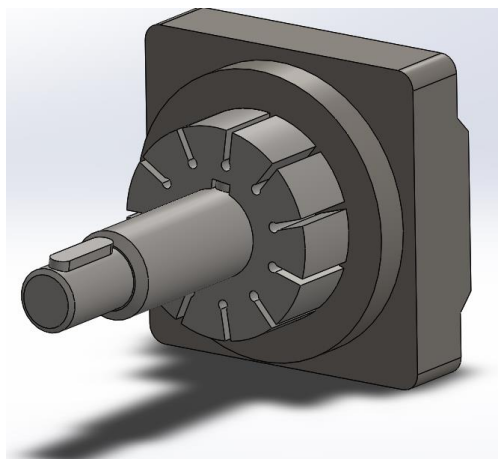
Слика 40 – Панел команде *Mate*

Из разлога што веза између радног кола и вратила тиме није у потпуности дефинисана неопходно је извршити и остале две везе које ће то испунити. Следећа веза доводи у исту раван бочне површине жљеба и бочне површине клина (слика 41) применом исте везе – *Coincident*.



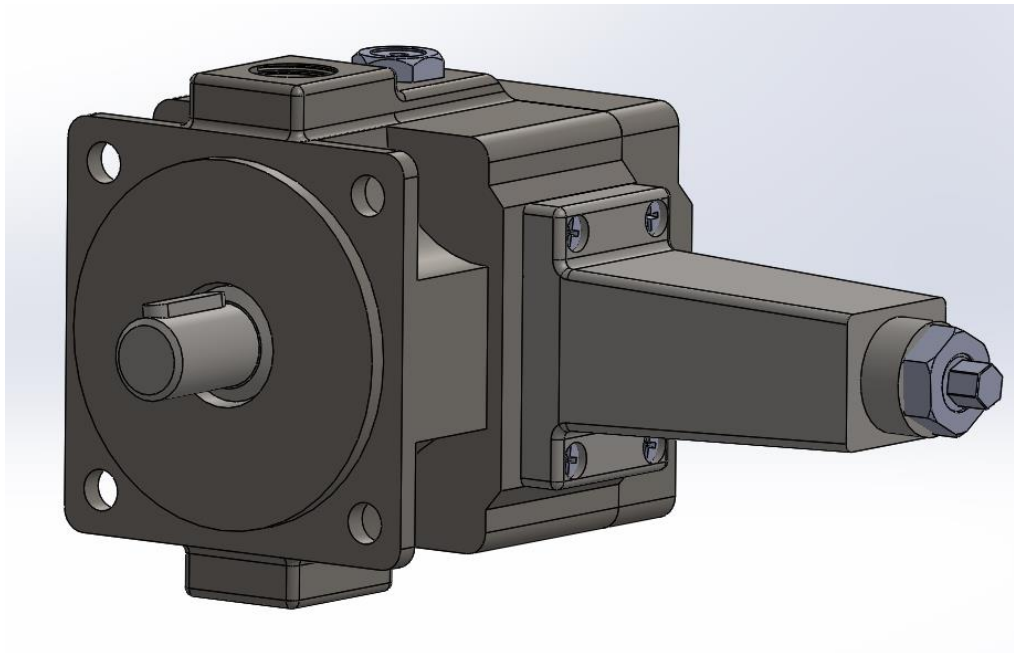
Слика 41 - Дефинисање бочних површина клина и жљеба као коинцидентне

Последњи корак за потпуно дефинисање и додавање радног кола у склоп је веза односно једноставно поклапање површина радног кола и поклопца кућишта, при чему ће радно коло бити у положају који је предвиђен као што је приказано на слици испод:



Слика 42 – Потпуно дефинисана веза (склоп) између радног кола, вратила и поклопца кућишта

Применом ових и других горе поменутих команди, логичким разматрањем и опцијама за остваривање веза врши се склапање и осталих делова у склоп чији завршни изглед је приказан на слици 43.



Слика 43 – Готов склоп крилне пумпе променљиве радне запремине

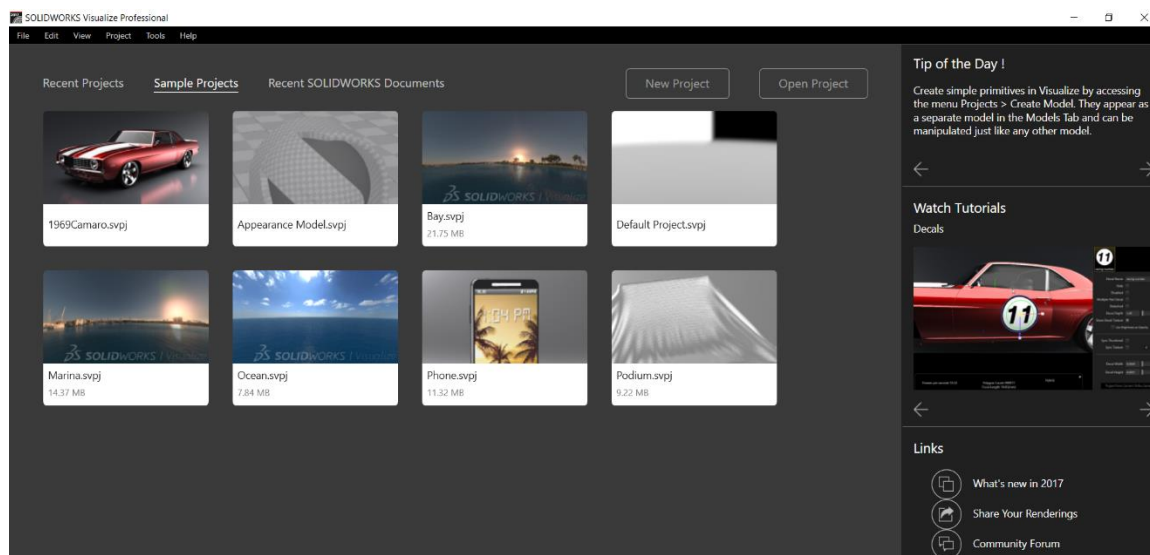
4.3 Поступак израде визуализације склопа и делова склопа

Визуелизација склопа и делова склопа представља креирање каталога фотографија са визуелно приказаним деловима кроз призму софтверског пакета *SolidWorks*. Покретање модула визуализације могуће је кроз радно окружење склопа, или покретањем посебне апликације (слика 44) која је део софтверског пакета.



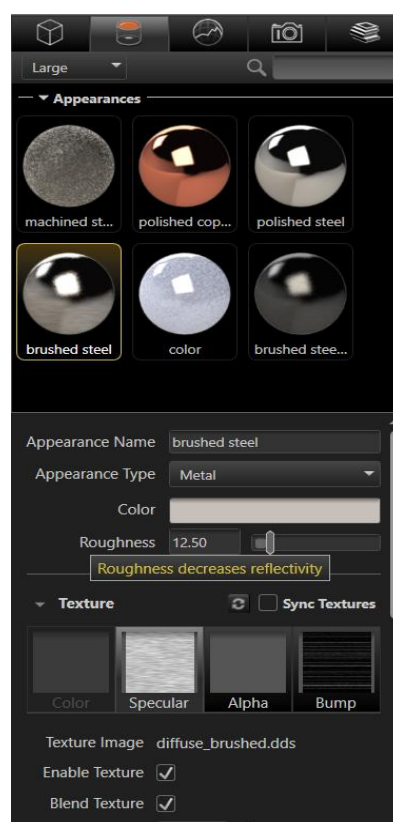
Слика 44 – Покретање модула визуализације

По покретању модула визуализације отвара се ново просторно окружење (слика 45) где се креира нови пројекат и убацује склоп или део склопа који треба визуелно обрадити (рендеровати).



Слика 45 – Просторно окружење SolidWorks – Visualize

Након уношења склопа или дела за визуелну обраду, са десне отвара се панел где се естетски модификује склоп. Претходно изабрани материјали током моделирања се могу променити, као и боја, текстура и остали естетски детаљи истих. У поменутом панелу под картицом *Appearances* (слика 46) изводе се поменута подешавања. Одабир позадине и осветљења подешава се у истом панелу унутар картице *Scenes*.



Слика 46 – Панел за естетску дораду делова

По извршеним естетским корекцијама а пре самог почетка рендеровања, одређују се параметри. У радном окружењу из понуђених опција бира се алатка *OutputTools* (слика 47). Након покретања исте у новом прозору неопходно је одабрати фолдер у коме се креира сет фотографија, формат истих, жељена резолуција, као и да ли ће процес визуализације бити ограничен временски или у броју циклуса „обрађивања“ фотографије.



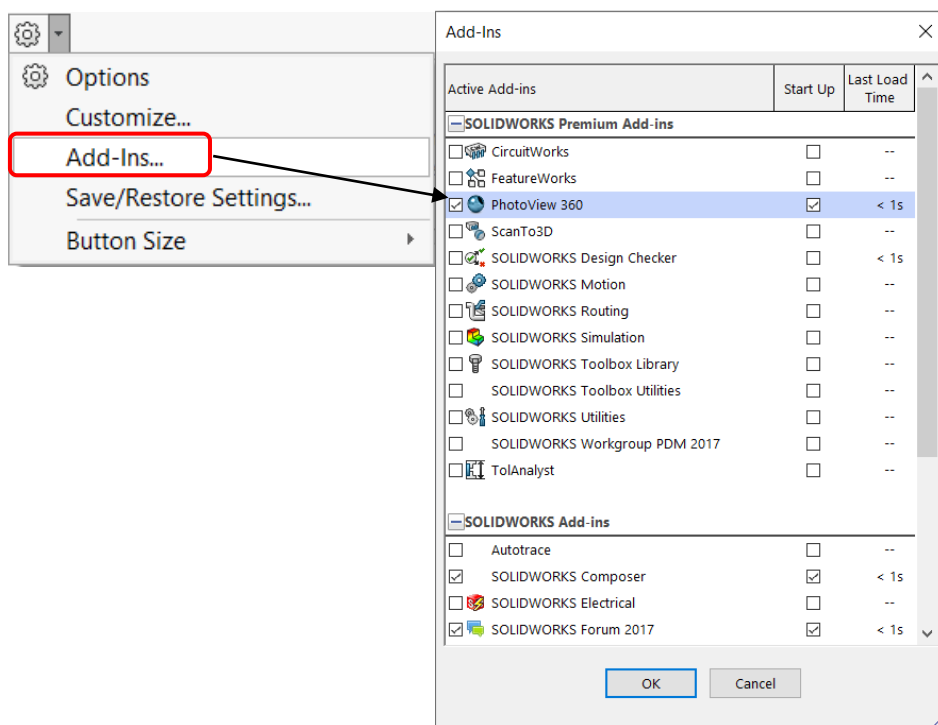
Слика 47 – Команда *OutputTools*

Након свега тога, кликом на *StartRender* покреће се поступак рендеровања дела или склопа, а фотографије по завршетку се чувају у претходно одређеном фолдеру. Када се рендеровање заврши, програм обавештава корисника и пружа нам линк (везу) преко ког се приступа фотографији. Уколико је рендеровање извршено адекватно захтевима корисника, исто се примењује и на остале делове склопа. Пример завршеног процеса рендеровања приказан је на слици 48.



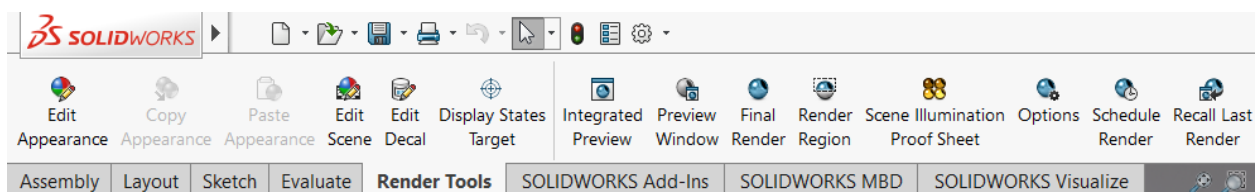
Слика 48 – Завршен процес визуализације

Као што је поменуто на почетку поглавља 4.3, поступак визуелизације и креирање каталога фотографија може бити покренуто и извршено унутар радног окружења склопа коришћењем опције *Photo View 360*. Покретање ове команде врши се из падајућег менија *Options* и бирањем опције *Add-ins*. Тим одабиром, отвара се нови прозор у ком је неопходно селектовати поменути команду *Photo View 360*. Описани поступак приказан је на слици 49:



Слика 49 – Покретање команде *Photo View 360*

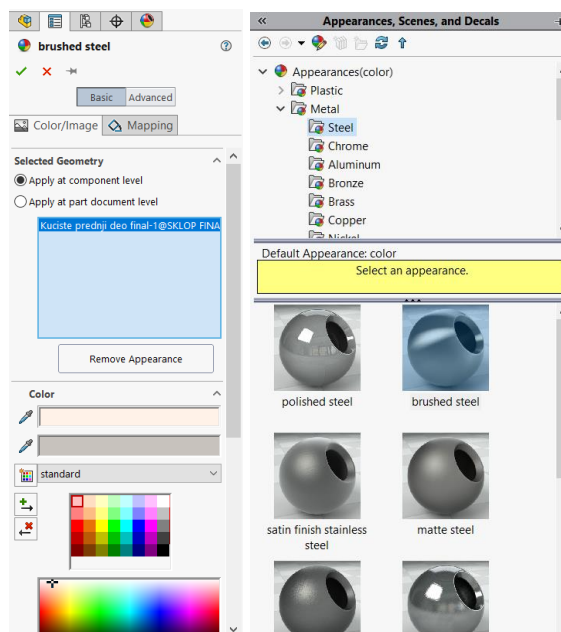
Након извршеног покретања, у радном окружењу појављује се нова картица *Render Tools* унутар које се налазе алатке и опције за припремање склопа или дела за рендеровање. Картица *Render Tools* приказана је на слици 50. Припрема рендеровања захтева селектовање материјала, одабир боје и нијансе измоделираног склопа и његових делова појединачно, подешавање позадине, осветљења, формата фотографија, резолуције и слично.



Слика 50 – Картица *Render Tools* са попуњеним опцијама

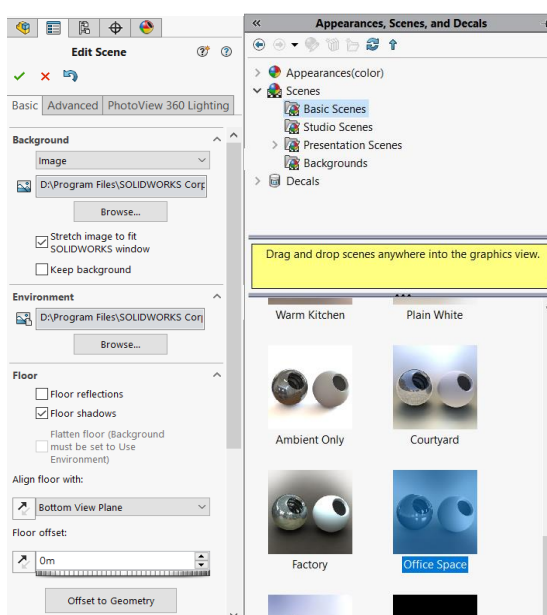
Кликом на алат *Edit Appearance* приказују се панели са леве и десне (слика 51) стране радног окружења унутар којих се врши одабир материјала и боја. Одабир дела или парта чији материјал треба променити или обојити врши се кликом на одређену површину, софтер препознаје ком делу склопа припада површина и селекује део у

целини. Селектованом делу у панелу са десне стране додељује се материјал при чему за одабрани материјал аутоматски је одређена боја која је приказана на панелу лево и иста се може једноставно изменити.



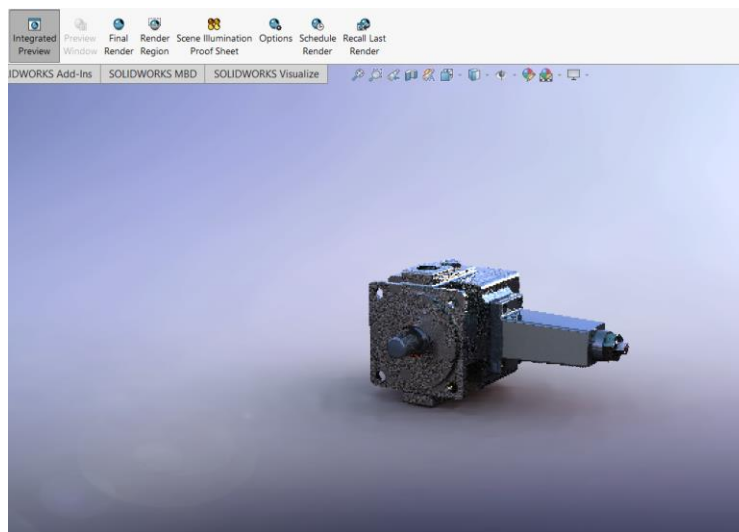
Слика 51 – Приказ панела под опцијом *Edit Appearance*

Слично, промена сцене или позадине изводи се опцијом *Edit Scene*, а избор и подешавања врше се у панелима са леве и десне стране (слика 52) радног окружења. Панел десно садржи различита позадинска осветљења и позадине, селектовањем неке опције од понуђених аутоматски се приказује позадина склопа и даје наговештај кориснику о изгледу и осветљењу. На панелу лево бира се адреса и фолдер складиштења фотографија, одстојање склопа од пода, сенка или рефлексија, а такође и једноставно повећање или смањење вредности параметара осветљења унутар картице *Photo View 360 lighting*.



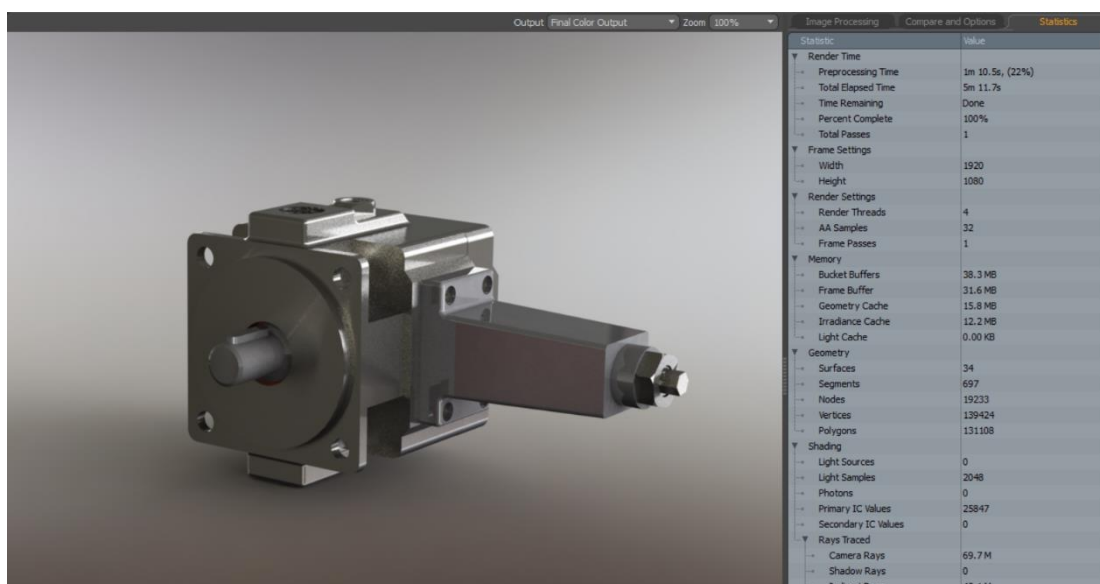
Слика 52 – Приказ панела под командом *Edit Scene*

Након подешавања материјала и сцене неопходно је дефинисати квалитет рендеровања, резолуцију као и формат фотографија. Наведени параметри одређују се у панелу под командом *Options* из картице *Render Tools*. По завршетку претходно поменутих опција и модификација, а пре самог покретања процеса визуелног обрађивања склопа неопходно је извршити проверу и преглед коришћењем опције *Integrated Preview* (слика 53).



Слика 53 – Опција *Integrated Preview*

Уколико су провером и прегледом задовољена визуелна очекивања и захтеви корисника приступа се рендеровању једноставним покретањем команде *Final Render*, а сам изглед завршене визуелне обраде склопа и статистички параметри приказани су на слици 54:



Слика 54 – Склоп и статистички параметри рендеровања након завршене визуелне обраде

Закључак

Хидраулични преносници снаге нашли су широку примену у готово свим гранама индустрије, практично да не постоје системи погона где нису укључени у аутоматизацију. Овај рад представља теоријска разматрања која се односе на запреминске хидрауличне машине, њихову поделу, принцип рада, параметре и сама конструктивна решења. Акценат је стављен на крилне пумпе променљиве радне запремине.

Применом софтверског пакета *SolidWorks* креиран је 3Д модел крилне пумпе са свим њеним деловима, детаљно описан поступак моделирања, израде склопа и визуелни приказ израђених делова. Визуелизација представља реалан приказ претходно креираних делова кроз каталог фотографија. Процес визуелизације у индустрији користи дизајнерским тимовима да производе реалан маркетиншки садржај тако да компаније могу добити кључне повратне информације од купаца пре него што произведу саме делове.

Литература

- [1] Владимир Савић „Уљна хидраулика" Зеница, 1987.
- [2] Душан Гордић „Пренос снаге флуидом" Машински факултет Крагујевац, 2007
- [3] Душан Гордић, Пренос снаге флуидом – материјал у електронској форми <http://moodle.fink.rs/course/view.php?id=5403> - портал за електронско учење Факултета инжењерских наука у Крагујевцу
- [4] Matt Lombard „Mastering „SolidWorks“ Sybex (2018)
- [5] Небојша Рашовић, Миленко Обад „Практикум 3D моделирања кроз „SolidWorks” Мостар, 2016
- [6] Т.М Башта „*Машинска хидраулика*“ Машински факултет Београд, 1986
- [7] Petter Chample „Principles of Hidraulic system design“ Coxmoor, 2003
- [8] M. Gallal Rabie „Fluid power engineering“ Modern Academy for Engineering and Technology Cairo, Egypt, 2009