

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

Ђорђе Г. Мирковић

**Израда 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим
озубљењем у софтверском пакету SolidWorks
завршни рад**

Крагујевац, 2019.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет:

Број индекса: 64/2015

Ђорђе Г. Мирковић

**Израда 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим
озубљењем у софтверском пакету SolidWorks
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доц. др Владимир Вукашиновић -ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Садржај

Резиме	1
Abstract.....	1
1.0 Увод	2
1.1 Општи појмови о преносу енергије.....	2
1.2 Принцип рада хидрауличног система	2
2.0 Хидрауличне пумпе.....	5
2.1 Опште дефиниције запреминских пумпи и мотора	5
2.2 Класификација запреминских пумпи и мотора	6
2.3 Крилне пумпе.....	7
2.4 Клипне пумпе.....	8
2.4.1 Радијалне клипне пумпе	8
2.4.2 Аксијалне клипне пумпе	9
3.0 Радни параметри пумпи.....	10
3.1 Параметри хидрауличне снаге пумпи	10
3.2 Запремински губици хидрауличних пумпи	11
3.3 Параметри механичке снаге пумпи	12
3.4 Механички губици запреминских пумпи.....	12
3.5 Укупан степен корисности пумпи.....	13
4.0 Зупчасте пумпе	14
4.1 Принцип рада, подела и област примене зупчастих пумпи	14
4.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем	15
4.3 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем	17
4.4 Губици снаге у зупчастој пумпи	18
4.5 Појава кавитације у пумпном колу	20
4.6 Предности и недостаци зупчастих пумпи са спољашњим озубљењем	21
5.0 Израда 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем	22
5.1 Поступак моделирања компоненти	24
5.2 Поступак коришћења готових компоненти	31
5.3 Поступак склапања делова	33
5.4 Техничка документација и поступак њене израде	36
Закључак	43
Литература.....	44

Резиме

Предмет овог завршни рада је приказ теоријских разматрања која се односе на зупчасте запреминске пумпе, сапосебним освртом на израду 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем у софтверском пакету SolidWorks. Уводна разматрања која се односе на принцип рада хидрауличних система описана су у првом поглављу. У другом поглављу описане су запреминске хидрауличне пумпе, подела и уобичајена конструкциона решења, док су у трећем поглављу обрађени радни параметри хидрауличних пумпи. Зупчасте запреминске пумпе, њихове карактеристике, принцип рада, подела и конструкционе карактеристике описане су у петом поглављу. Софтверски пакет SolidWorks нуди широк спектар алата за моделирање делова, склапање склопова, израду техничке документације и примену многобројних алата. У шестом поглављу рада приказане су могућности и описан је детаљан поступак моделирања компоненти, склапања склопа и израде техничке документације зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем.

Кључне речи: Хидраулични пренос снаге, запреминске пумпе, зупчасте пумпе, склоп, 3Д модел.

Abstract

The subject of this diploma thesis is a theoretical consideration of the gear pumps, with special emphasis on the 3D modelling of gear pumps in the SolidWorks software package. The introduction chapter is related to the basic principle of operation of hydraulic systems. The second chapter describes reciprocating pumps, their classification and construction, while the third chapter is related to the working parameters of hydraulic pumps. Gear pumps, their characteristics, classification, construction and application have been described in chapter five. The SolidWorks software offers a wide range of tools for parts' modelling, assembly design, preparing technical documentation, and many additional tools. In the sixth chapter, possibilities, as well as detailed procedures for modelling of the parts, assembly design and preparation of the technical documentation of the gear pump have been presented.

Key words: Hydraulic power transmission, reciprocating pump, gear pumps, assembly, 3D model.

1.0 Увод

1.1 Општи појмови о преносу 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 примењивати код разних погона и машина. Са развојем технике повећавају се и захтеви који се односе на: брзину кретања, сложеност конструкције, величину снаге и друго, које механички пренос не може увек испунити. Нарочито долази до изражаја када је:

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

Овакве и остале сложене захтеве са успехом могу да реше преносници хидрауличне енергије, који се најчешће називају: хидраулични системи или хидростатички преносници.

Конструкција првог хидрауличног система позната је још из половине седамнаестог века, када је Паскал открио рад хидрауличне пресе. Та теоријска разматрања су се преточила у практична решења тек након 150 година када је Жозеф Браhm 1796. године израдио прву хидростатичку пресу. Хидраулични системи добили су стварну примену тек након 140 година [1].

Данас, због веома широке могућности примене хидрауличних система код погона машина и уређаја отворили су простор за равој појединачних компоненти и хидрауличних система као целине. Нарочито у последње време развијају се, независно једна од других: класична, пропорционална и сервохидраулика. Оне све више потискују класични машински пренос, али истовремено и једна другу, са повремено различитим успехом. Под појмом „класична хидраулика“ подразумевају се хидраулични системи комбиновани са компонентама код којих се довођење радних елемената из једног у други положај врши електро, хидрауличним, пнеуматским или механичким погоном. Радни флуид који се користи у овој врсти хидраулике могу бити сви типови хидрауличних флуида (емулзија, синтетички флуид, минерално уље) [1].

1.2 Принцип рада хидрауличног система

Уређаји који пренос енергије са једног места на друго врше помоћу течности која струји кроз њихов радни простор, обављају трансформацију једног облика енергије у други, врше регулацију протока, притиска, називају се хидраулични

преносници енергије. Према начину преноса и трансформације хидрауличне енергије, постоје два типа преноса:

- хидростатички
- хидродинамички.

Код хидростатичких преносника потребне геометријске везе се остварују помоћу покретних запремина течности. Запреминске пумпе су хидростатички преносници који врше функцију претварања механичке енергије у хидрауличну, а обрнути процес (претварач хидрауличне енергије у механичку) обавља запремински хидраулични мотор. Пумпа и хидромотор су повезани цевима/цевима, а између се постављају регулациони елементи.

Сваки хидраулични систем се састоји од три основне групе елемената:

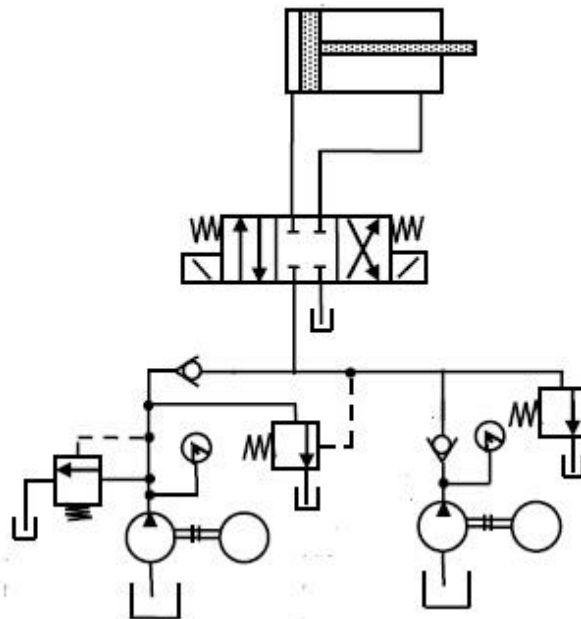
- Погонског агрегата (претварач једне врсте енергије у хидрауличну енергију);
- Регулационих елемената (разводника, вентила итд.);
- Извршног органа (претварача хидрауличне у механичку енергију).



Слика 1.1 Принципијална блок шема хидрауличног система [1]

Енергија која покреће хидрауличну пумпу се доводи преко неког погонског агрегата, а та енергија се преко ротирајућих елемената доводи до ротора пумпе, у коме се трансформише у хидрауличну енергију. Хидраулична енергија се даље преко радног флуида кроз цевоведе транспортује до хидрауличног мотора.

На слици 1.1 приказана је принципијална шема хидрауличног система, где се на улазној страни пумпе доводи снага, пропорционална величини момента и броју обртаја ротирајућих елемената пумпе, а према извршног органу транспортује се енергија, пропорционална снази која је функција протока и притиска. На излазној страни хидрауличних мотора 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.



Слика 1.2 Двоструко хидраулично пумпно струјно коло

2.0 Хидрауличне пумпе

2.1 Опште дефиниције запреминских пумпи и мотора

Пумпа је основни агрегат хидрауличног система који претвара механичку енергију погонског мотора у хидрауличну енергију флуида. Могу бити [2]:

- струјне (хидродинамичке)
- запреминске (хидростатичке)

Хидродинамичке пумпе најчешће имају улогу транспорта одговарајуће количине течности са једног места на друго, при чему у овом процесу течност расположивом енергијом мора савладати отпоре у систему. Главне карактеристике ових пумпи су: низак притисак, висок капацитет и промењива вредност капацитета код промене отпора.

Код хидрауличних система користе се само запреминске пумпе. Главна карактеристика запреминских пумпи је та да се одвија периодична промена радне запремине пумпе. Због промене радне запремине, долази до пуњења радне коморе и потискивања течности из њих. Под радном запремином подразумевају се ограничени изоловани простори које образују радни елементи машине са осталим њеним покретним или непокретним конструкцијским деловима. У зависности од врсте кретања радних елемената, усисавање и потискивање радне течности врши се у току транслаторног, обртног или обртно-транслаторног кретања. Промену радне запремине пумпе (усисног и потисног дела) оавља радни елемент. При повећању радне запремине пумпе течност се усисава у радну комору, а при њеном смањењу течност се потискује. Овај процес се обавља у току сваког радног циклуса. Захтеви који се постављају пред пумпе хидрауличних система јесу обезбеђивање потребног протока течности, притиска и радног века, уз минималну тежину и волумен пумпе [2].

Претварање енергије струјне течности у механички рад излазног елемента (вратила или клипњаче) обавља се у хидромотору. Запремински хидромотори претварају енергију струјне течности у процесу кретања радног елемента под дејством силе притиска, при пуњењу радне коморе течности. Запремински хидромотори се углавном деле у две групе:

- хидромотори код којих се струјна енергија претвара у механичку енергију транслаторног кретања,
- хидромотори код којих се струјна енергија претвара у механичку енергију обртног кретања вратила.

2.2 Класификација запреминских пумпи и мотора

Запреминске пумпе (мотори) се у зависности од кретања радног елемента могу поделити на [3]:

- запреминске пумпе са ротационим кретањем,
- запреминске пумпе са трансляторним кретањем клипа.

Запреминске пумпе (мотори) са ротационим кретањем се деле на:

- зупчасте и завојне,
- вијачне,
- крилне.

Зупчасте запреминске пумпе и мотори се деле на:

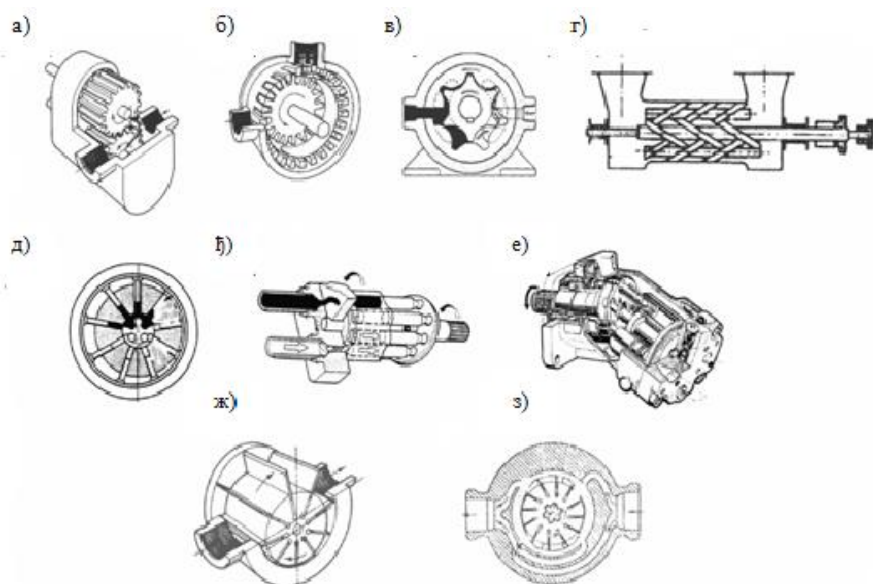
- зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, слика 2.1 а),
- зупчасте пумпе и мотори са унутрашњим озубљењем, слика 2.1 б),
- зупчасте пумпе и мотори са зупчастим прстеном (героторске), слика 2.1 ц),

Крилне пумпе и мотори се деле на:

- са крилцима у жљебовима ротора,
- са крилцима у жљебовима статора.

Запреминске пумпе (мотори) са трансляторним кретањем радног елемента деле се на:

- радијално клипне (са клиповима у ротору и са клиповима у статору),
- аксијално клипне (са косом нагибном плочом и косим цилиндарским блоком).

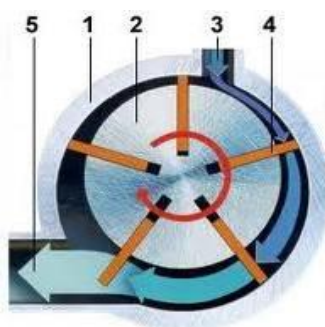


Слика 2.1 Примери запреминских хидрауличних машина (пумпе и хидромотори): а) зупчате са спољашњим озубљењем, б) зупчате са унутрашњим озубљењем, в) героторске (са зупчастим прстеном), г) завојне, д) радијалне клипне, е) аксијалне клипне са косом плочом, ж) аксијалне клипне са косим цилиндарским блоком, з) крилне са крилцима у ротору једноструког дејства, ж) крилне са крилцима у ротору двоструког дејства[2]

2.3 Крилне пумпе

Крилне пумпе као што им и само име говори су карактеристичне по томе што су радни елементи крилца.

Обртање погонског вратила преноси се на ротор (2). Крилца (4) се извлаче из ротора и прате унутрашњост статора (1), услед дејства центрифугалне силе. Радна течност, захваћена из усисног вода (3) крилцима, пребацује се у потисни вод (5).



Слика 2.2 Крилна пумпа са ексцентрично постављеним ротором: 1 – статор 2 - ротор 3 - усисни вод 4-крилца 5-потисни вод

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 обложеном статорском прстену.

Крилне пумпе су по својој природи сложеније него зупчасте пумпе, оне садрже већи број компонената и самим тим су скупље. Крилне пумпе раде са далеко нижом буком од зупчастих и њихова цена може бити занемарена према њиховима добрим особинама[4].

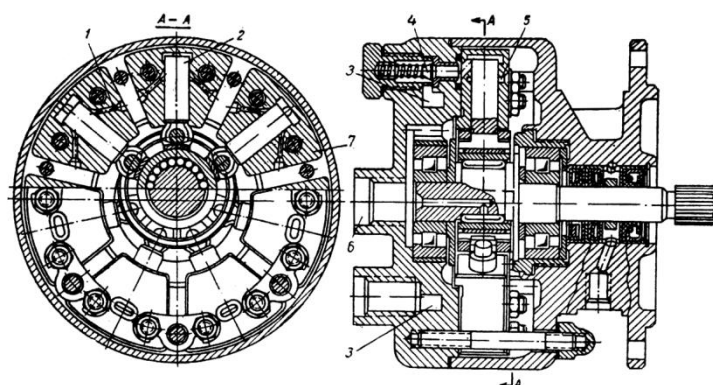
2.4 Клипне пумпе

Клипне пумпе усисавају и потискују радну течност помоћу клипа који се креће транслаторно/осцилаторно. Простор између чела клипа и цилиндра представља радни простор ове пумпе. Карактеристичне су јер могу имати један или више цилиндра, као и могућност подешљавања протока. Раде са већом ефикасношћу од зупчастих и крилних пумпи и користе се за операције у којима су присутни већи притисци радних флуида[5].

Код аксијалних клипних пумпи цилиндри су распоређени аксијално, односно паралелно са осом, док код радијалних клипних пумпи цилиндри су смештени радијално у односу на ротор, а осе цилиндра леже у истој равни.

2.4.1 Радијалне клипне пумпе

На слици 2.3 представљен је пресек и конструкција једне радијалне клипне пумпе. Унутар цилиндра се налазе клипови (2) чије се покретање врши помоћу ексцентрира. Течност се из резервоара доводи у унутрашњу шупљину тела пумпе кроз прикључни отвор (6), па затим течност бива усисана кроз отворе (5) у зидовима цилиндра и канале (1) у цилиндрици при ходу клипова у смеру центра. Пошто је отвор (5) прекривен, клип при кретању од центра, потискује течност кроз вентил (4) у потисну комору (3) пумпе. [2]

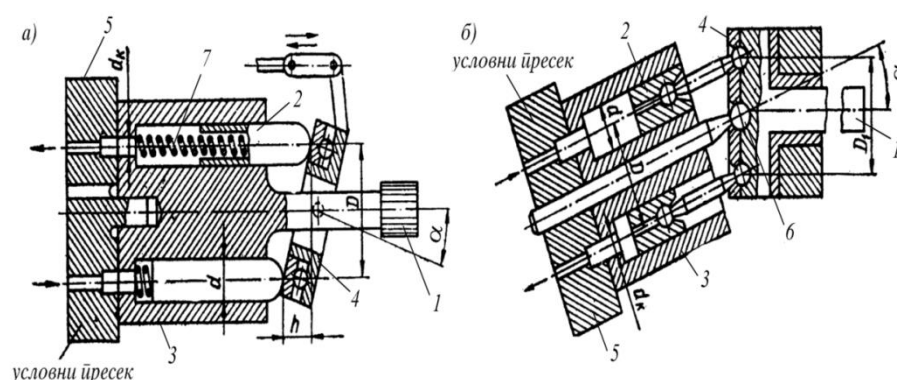


Слика 2.3 Шематски приказ радијалне клипне пумпе са ексцентром
1-усисни разводни вентил, 2-клип 3-потисни прикључак, 4-вентил, 5-усисни вентил,
6-усисни прикључак, 7-цилиндар [2]

2.4.2 Аксијалне клипне пумпе

Због низа извредних својстава као што су: компактна конструкција, мали момент инерције, великим радним запреминама, високим радним притиском, аксијалне клипне пумпе и хидромотори су најчешће коришћени агрегати у хидрауличним системима преноса санге. Недостатак им је што траже радну течност високе вискозне чистоће. Аксијалне клипне пумпе се према својој конструкцији деле на:

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



Слика 2.4 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

Осе чеоне разводне плоче (5), цилиндарског блока (3) и погонског вратила (1) се поклапају код пумпе са нагибном плочом (слика 2.4 а). Усисни канал је постављен на једној страни разводне плоче, а на другој, канал кроз који се врши потискивање уља под притиском. Клипови (2) су притиснути опругама (7) у цилиндрима, тако да заобљеним крајем клизе по нагнутој плочи (4) [2].

Код аксијалне клипне пумпе са косим цилиндарским блоком разводни блок са сабирном плочом се поставља под одређеним углом у односу на осу ротације (слика 2.4 б). Погонско вратило (1) посредством карданског механизма (6) обрће цилиндарски блок (3) са цилиндрима и клиповима (2) и вертикалну плочу (4). При томе клипови се крећу и транслаторно – осцилаторно у цилиндрима, захваљујући зглобној вези са вертикалном плочом. Усисавање и потискивање радне течности обавља се на потпуно аналоган начин као код пумпи са косом нагибном плочом. [2]

3.0 Радни параметри пумпи

3.1 Параметри хидрауличне снаге пумпи

Напор запреминских хидрауличних пумпи представља повећање енергије струјања јединице масе радне течности, а он је практично једнак разлици притиска на излазу и улазу у пумпу $\Delta p_p [Pa]$, па се за хидрауличну снагу пумпе $P_{hp} [W]$ може писати[2]:

$$P_{hp} = Q_p \cdot \Delta p_p$$

где је:

$Q_p [m^3/s]$ - запремински проток пумпе на излазу из пумпе

Пораст притиска који ствара запреминска пумпа у хидрауличном систему зависи од спољашњег оптерећења хидромотора и отпора насталих у хидрауличном систему услед трења радне течности. Радна течност се пумпи углавном доводи из резервоара, у коме је најчешће атмосферски притисак, при чему се тај притисак при прорачуну снаге запреминских хидрауличних машина, занемарује као много мањи од притиска на излазу из пумпе $p_p [Pa]$ [2].

$$P_{hp} = Q_p \cdot p_p$$

Запремински проток пумпе представља запреминску количину радне течности која у јединици времена излази из пумпе, Теоријски проток пумпе $Q_{tp} [m^3/s]$ представља промену радне запремине пумпе у јединици времена. Теоријски проток пумпе се може одредити као производ специфичног протока пумпе $q_p [m^3/s]$ и угаоне брзине вратила пумпе $\omega_p [o/s]$ [2].

$$Q_{tp} = q_p \cdot \omega_p$$

Величина специфичног протока q зависи од типа запреминске хидрауличне пумпе. За различите запреминске пумпе, специфични проток се може рачунати по:

а) зупчаста са спољашњим озубљењем[2]:

$$q = 2 \cdot K_p \cdot m \cdot D_0 \cdot b = 2 \cdot K_p \cdot m^2 \cdot z \cdot b$$

Где су:

$K_p [-]$ - коефицијент поправке

$m [m]$ – модул зупчаника

$D_0 [m]$ – пречник подеоног круга зупчаника

$b [m]$ – ширина зупчаника

$z [-]$ - број зубаца зупчаника

б) зупчасте са унутрашњим озубљењем:

$$q = 7 \cdot m \cdot D_0 \cdot b = 7 \cdot m^2 \cdot z \cdot b$$

где су:

$m[m]$ – модул зупчаника

$D_0[m]$ – пречник подеоног зупчаника са унутрашњим озубљењем

$b[m]$ – ширина зупчаника

$z[-]$ – број зубаца зупчаника

Стварни проток запреминске хидрауличне пумпе се разликује од њеног теоријског протока, због постојања запреминских губитака $\Delta Q [m^3/s]$, и стварни проток је увек мањи од теоријског[2]:

$$Q_p = Q_{tp} - \Delta Q_p$$

3.2 Запремински губици хидрауличних пумпи

Запремински губици се најчешће изражавају запреминским степеном корисности $\eta_{vp}[-]$.

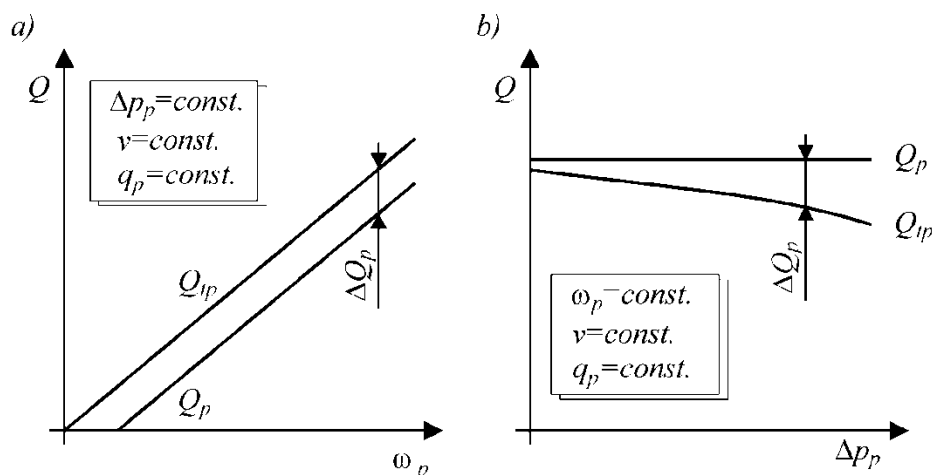
$$\eta_{vp} = \frac{Q_p}{Q_{tp}}$$

Запремински губици хидрауличне пумпе, према начину настајања, могу бити[2]:

- губици протока због цурења течности кроз зазоре из области вишег у области нижег притиска, и линеарно зависи од разлике притиска на улазу и излазу пумпе, при чему се величина помоћу које се одређује количина цурења назива коефицијент цурења $k_{cp} [m^3/s \times Pa]$.
- губици протока због непопуњености радне запремине у које спадају волуметријско-кавитациони губици који су практично константни до одређеног броја обртаја вратила пумпе, а наког тога расту.
- губици протока због стишљивости течности, који се углавном за неке уобичајне радне притиске запреминских хидрауличних пумпи, могу занемарити.

У складу са овиме, када се занемаре губици протока због непопуњености радне запремине, онда остају само запремински губици због цурења, па се за коефицијент цурења пумпе k_{cp} , може писати[2]:

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



Слика 3.1 а) зависност протока запреминске пумпе од угаоне брзине
 б) зависност протока запреминске пумпе од разлике притиска [2]

3.3 Параметри механичке снаге пумпи

Механичка снага пумпе $P_{mp}[W]$ представља снагу која се доводи на вратило пумпе од неког погонског агрегата, а дефинише се изразом[2]:

$$P_{mp} = M_p \cdot \omega_p$$

где је:

$M_p[Nm]$ – обртни момент на вратилу пумпе.

Овај момент представља момент који је потребан за погон пумпе, а теоријски обртни момент запреминске хидрауличне пумпе је фиктивни момент којег ствара притисак радне течности у радном простору пумпе. Стварни обртни момент пумпе разликује се од теоријског момента $M_{tp}[Nm]$, за вредност губитка истог у пумпи[2]:

$$M_p = M_{tp} + \Delta M_p$$

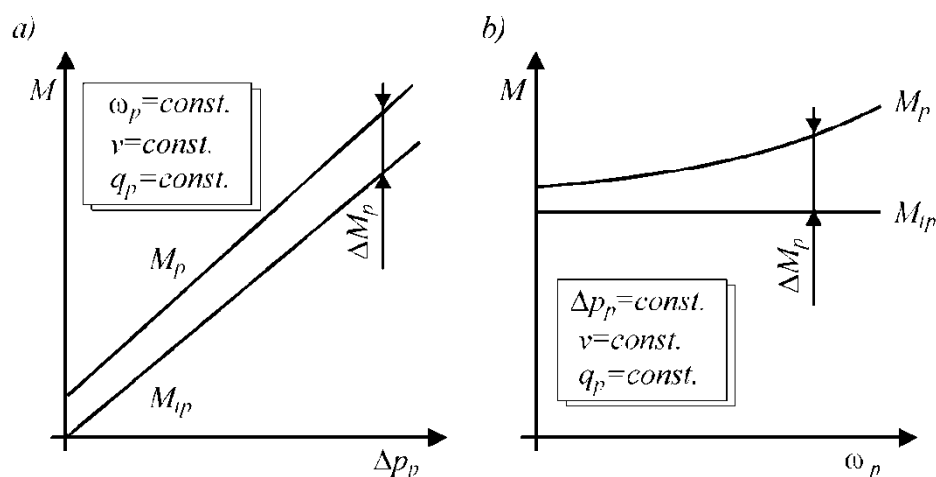
3.4 Механички губици запреминских пумпи

Механички губици пумпи настају као последица губитка обртног момента који настају услед[2]:

- Хидрауличних губитака и вискозног трења између покретних делова хидрауличних пумпи;
- Сувог трења између покретних делова хидрауличних пумпи;
- Деформација делова пумпи услед притиска радне течности.

Ови губици изражавају се механичким степеном корисности $\eta_{mp}[-]$, који се дефинише изразом:

$$\eta_{mp} = \frac{M_{tp}}{M_p}$$



Слика 3.2 а) Зависност обртног момента запреминске пумпе од разлике притисака; б) Зависност обртног момента запреминске пумпе од угаоне брзине [2]

3.5 Укупан степен корисности пумпи

Ова величина се дефинише као однос снага на њеном излазу и улазу. Код запреминских пумпи, укупан степен корисности $\eta_p[-]$ је[2]:

$$\eta_p = \frac{P_{hp}}{P_{mp}}$$

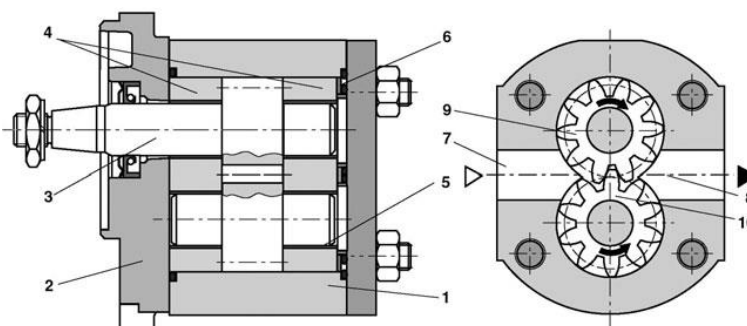
Укупан степен корисности пумпе изражен преко механичког и хидрауличног степена корисности[2]:

$$\eta_p = \eta_{mp} \times \eta_{vp}$$

4.0 Зупчасте пумпе

4.1 Принцип рада, подела и област примене зупчастих пумпи

Зупчасте пумпе спадају у групу запреминских пумпи код које су елементи за потискивање радне течности зупци. Помоћу зубаца који се налазе у контакту са површинама отвора у којима су смештени зупчаници, затварају се запремине течности које се потискују. Одликују се веома једноставном конструкцијом. Потисна и усисна страна пумпе се дефинише смером обртања зупчаника. У зависности од смера ротације погонског зупчаника одређује се која је грана пумпе усисна, а која потисна. Стварање вакуума у усисној комори пумпе изазива усисавање радне течности, међузубља погонског и гоњеног зупчаника се пуне течношћу и при њиховој ротацији течност се под притиском транспортује према потисној страни пумпе. Притисак радне течности је најнижи када се она налази у међузубљу погонског и гоњеног зупчаника до усисне стране, а највиши након ротирања зупчаника до положаја потисне стране пумпе [6].

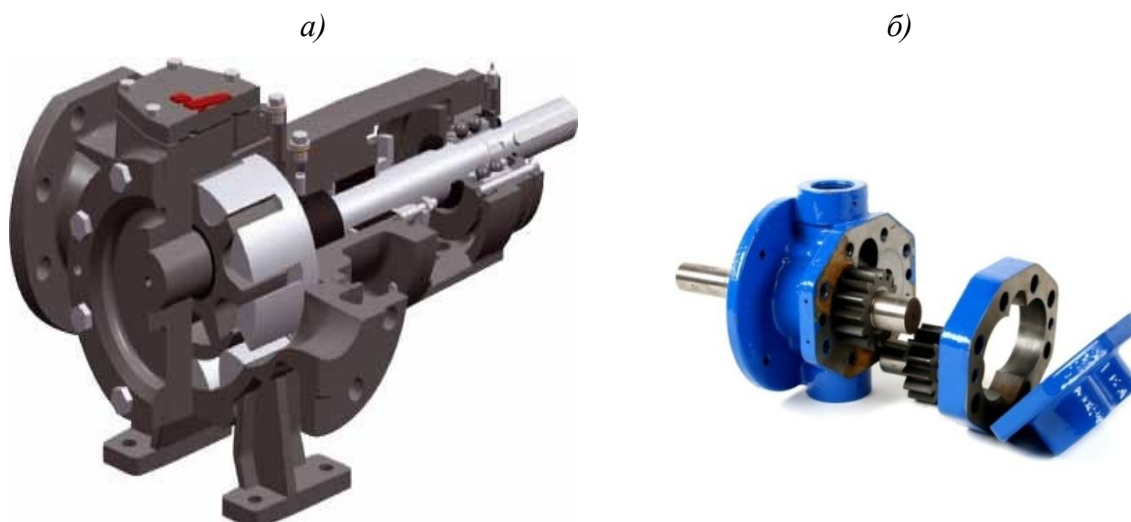


Слика 4.1 Зупчаста пумпа (са спољашњим озубљењем)

1- Кућиште, 2 - Прирубница, 3- Погонско вратилом 4- Плоче, 5- Клизни лежај, 6- дискови, 7-Усисна грана, 8-потисна грана, 9-Погонски зупчаник, 10-Гоњени зупчаник [3]

Зупчасте пумпе се према начину спрезања зупчаника деле на:

- Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем, слика 4.2а)
- Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, (слика 4.2б).



Слика 4.2 Пример зупчастих пумпи

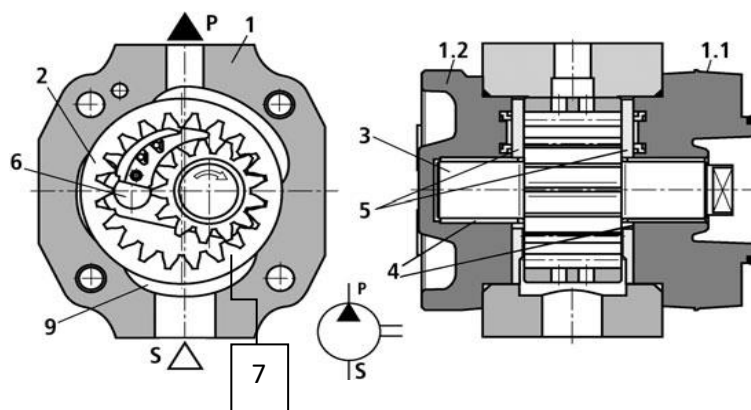
- а) пресек зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем*
б) распрострањена зупчаста пумпа са спољашњим озубљењем

Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, које се састоје од пара међусобно спрегнутих зупчаника су највише у употреби. Ове пумпе су најпростије од свих и одликују се позданошћу у експлоатацији, малим габаритима и тежином, дуговечношћу компактношћу, и другим добрим особинама. Максимални притисак ових пумпи износи 100 bar-а. Зупчасте пумпе дозвољавају релативно високе бројеве обртаја, а такође допуштају краткотрајно преоптерећење по притиску чија је величина и дужина трајња углавном одређена димензијама лежишта [6].

Ове пумпе имају широку примену у свим гранама индустрије због својих многобројних добрих карактеристика. У зависности од захтева, одређује се и пумпа са предвиђену операцију. Највећа примена ових пумпи је за црпљење разних вискознијих течности као што су нафта, и разни типови уља, па се у складу са тим често употребљавају као пумпе за доток уља код мотора са унутрашњим сагоревањем. Такође, имају велику примену у грађевинској, прехранбеној, хемијској и многим другим гранама индустрије.

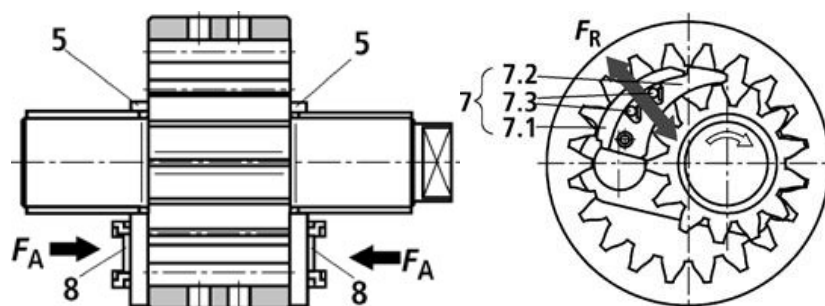
4.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем

Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем се одликују високим степеном стварања вакуума, што се остварује захваљујући великом степеном прекривања зуба.



Слика 4.3 Пресек зупчaste пумпе са унутрашњим озубљењем

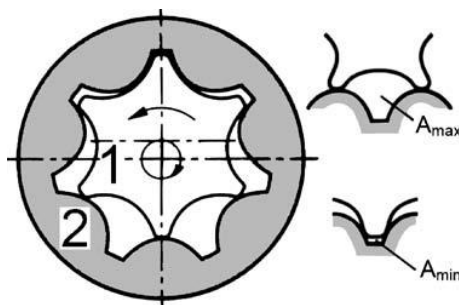
1-кућиште, 1.1- поклопац лежаја, 2- унутрашњи зупчаник, 3- спољашњи зупчаник, 4- куглични лежај, 5- бочне плоче, 6- заптивне ролне, 9- хидростатички лежај [3]



5- носеће плоче, 7-састављање сегмента, 7.1- сегмент, 7.2- носач сегмента, 7.3- заптивање ролни 8- сила притиска на бочне плоче [5]

Радни елементи пумпе су: кућиште (1), зупчаника са унутрашњим (2) и спољашњим озубљењем (3) и заптивне ролне (4). Зупчаник са спољним озубљењем (3) је погонски, а зупчаник са унутрашњим озубљењем (2) је гоњени. Пренос обртног кретања се преноси од зупчаника са спољашњим озубљењем на зупчаник са унутрашњим, након чега заједно ротирају. Усисна комора је раздвојена од потисне коморе посредством сегмента (7). Зуби зупчаника излазе из захвата посредством обртног кретања, тако да међузубља остају слободна, па се ствара вакуум. Испуњена област међузубља оба зупчаника транспортује течност у потисну комору пумпе. Ова пумпа се најчешће израђује за протоке до 100 l/min и притиске до 300 bara. Због нешто сложеније конструкције производња је знатно компликованија него код зупчастих пумпи са спољашњим озубљењем [1].

Из основне конструкције зупчaste пумпе са унутрашњим озубљењем развијена је конструкција пумпе са зупчастим прстеном.



Слика 4.4 Пресек пумпе са зупчастим прстеном

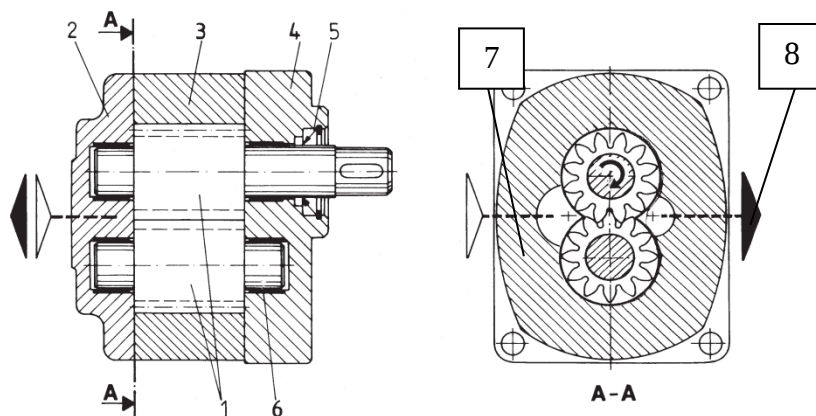
1- зупчасти сегмент

2- зупчасти прстен са унутрашњим озубљењем

У кућишту пумпе, налази се слободно постављен зупчасти прстен (2) са унутрашњим озубљењем. Он има седам зуба, а зупчасти сегмент шест. Слободни простор у уписној грани се повећава за време ротације зупчастог сегмента, а на потисној страни смањује се простор испуњен уљем. Уље које испуњава међузубља од уписне према потисној страни се заједно са прстеновима помера према потисној страни[3].

4.3 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

Зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем, због своје једноставне конструкције и принципа рада, спадају у групу најпростијих и најјефтинијих запреминских пумпи. Обртни момент се преко погонског вратила доводи погонском зупчанику који је у спрези са другим гоњеним зупчаником. Најчешћи је случај да су погонски и гоњени зупчаник исте величине. У међузубљима зупчаника се преноси радна течност, при чему се у уписном делу пумпе појављује потпритисак због смањења количине радне течности у уписном делу, а у његовом потисном делу због повећања количине радног флуида ствара надпритисак. Усисавање радне течности у радни простор пумпе врши се посредством стварања тог потпритиска у уписном делу, и транспортање радне течности кроз међузубља ка потисној страни пумпе, уз повећање притиска радног флуида.



Слика 4.5 Пресек зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

1 – зупчasti пар, 2 – задњи поклопац, 3 – кућиште, 4 – предњи поклопац, 5 – осовинска заптивка, 6 – лежишина чаура, 7 – усисни део, 8 – потисни део

За прорачун капацитета пумпи са једнаким зупчаницима, претпоставља се да су запремине зуба и међузубља једнаке, те да је висина зуба једнама $2 \times t$. У складу са тим, специфични проток по обртају једнак је:

$$q = q \cdot n \cdot t \cdot D \cdot b$$

где су:

$t[m]$ – модул зупчаника

$D[m]$ – пречник подеоног круга зупчаника

$b[m]$ – ширима зупчаника

Ако помножимо специфични проток са бројем обртаја и коефицијентом поправке K_p који се уводи у једначину уместо вредности π добија се теоријски проток зупчасте пумпе.

$$Q_t = q \cdot n = K_p \cdot t \cdot D \cdot b \cdot n$$

4.4 Губици снаге у зупчастој пумпи

Губици настали услед механичких отпора и запремински губици услед цурења течности су најчешће последице губитка снаге у зупчастој пумпи. Они утичу на вредност стварног капацитета пумпи.

Постојање зазора на чеоним и бочним површинама изазива цурење течности из области вишег у област нижег притиска. Такође, цурење течности може настати као последица оштећења зуба који су услед хабања изгубили првобитан профил, затим код пумпи код којих је извршена погрешна монтажа зупчаника и лежаја, као и на месту захвата зуба зупчаника по линији додира зуба. Ови губици цурења течности могу се смањити повећањем вискозности радног флуида, али се мора водити рачуна да се он може повећавати само до одређене величине[2].

При мањим и средњим обимним брзинама зубаца (до 3 и 5 m/s), јављају се запремински губици искључиво настали као последица истицања радног флуида.

Притисак течности у међузубљу може знатно да се смањи при већим обимним брзинама (преко 6 m/s), а то може да изазове погоршање или потпуни прекид пуњења међузубља, који настаје као последица издвајања ваздуха и пара течности. Ови губици се називају волуметријско-кавитациони губици. Ограничењем обимне брзине темена зубаца смањује се утицај волуметријско-кавитационих губитака, а самим тим и повећала ефикасност пуњења међузубља. Уградњом пумпе за претпуњење или подизањем нивоа радне течности, се такође може избећи или бар смањити утицај ових нежељених појава, а самим тим и повећати ефикасност пумпе.

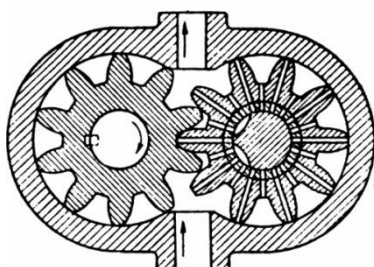
Најоптерећенији део зупчасте пумпе су лежишта (котрљајућа или клизна). Оптерећење на лежаје се нарочито може повећати код пумпи високог притиска, када дође до захвата уља у међузубљу, на местима где зучаници долазе у захват. Врх зуба врши притисак на количину флуида у подножју међузубља, стварајући притисак у уљу који је пропорционалан интезитету силе оптерећења и величине површине на коју делује притисак. Ова сила притиска се преноси на лежаје. Транспортивање уља кроз међузубља, из усисне у потисну комору, приказана је на слици 4.6[1].



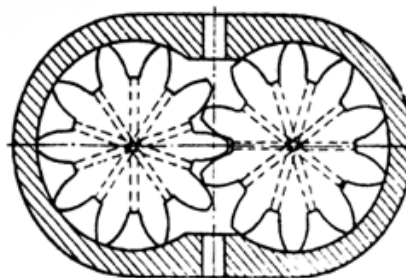
Слика 4.6 Шема транспорта уља кроз међузубља

Радијално према оси вратила и кроз осу исте, уље из међузубља се може се одвести кроз избушене канале. На слици 4.7 а) приказано је растерећење пумпе кроз избушене канале радијално од међузубља и кроз зуб, према оси вратила на гоњеном зупчанику, а на слици 4.7 б) приказано је растерећење кроз канале који су избушени од међузубља на гоњеном и погонском зупчанику према осама вратила[1].

а)



б)



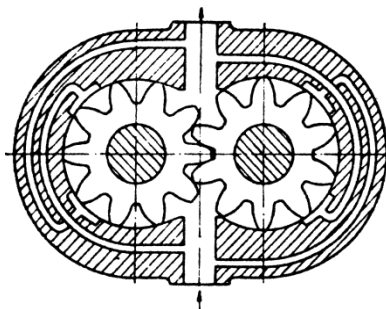
Слика 4.7 Конструктивна решења растерећења притиска из међузубља

а) растерећење зупчаника од сила притиска изадам радијалних отвора у међузубљу

б) растерећење зупчаника помоћу радијалних отвора на зупчанику

На површину зупчаника делује притисак, па се зависно од величине површине на коју делује, ствара сила притиска. Ова сила је по интензитету најмања код усисне, а највећа код потисне коморе. Дијаграм расподеле притиска на погонском зупчанику приказан је на слици 5.8 [1].

Уколико би се област високог и комора ниског притиска спојили каналом могао би се повећати радни притисак зупчасте пумпе, а самим тим би се конструктивним путем растеретили лежаји (слика 4.8). Применом овог конструктивног решења (растерећења) могуће је повећати радни притисак пумпе са 100 на 200 *bar*-а.



Слика 4.8 Растерећење зупчаника од силе притиска изградом отвора у кућишту

4.5 Појава кавитације у пумпном колу

Уколико пумпа ради у режимима са великим оптерећењем, које карактерише велики пораст притиска радног флуида у пумпи, велика разлика притиска на излазу и улазу пумпе изазива блокирање течности у простору међузубља зупчаника. Додатно динамично оптерећење зубаца, вратила и лежајева, изазивање повећања температуре блокиране течности доводи до разарања површина радних елемената услед замора материјала. Поред ових оптерећења, из блокиране течности по изласку у улазну комору, у простор нижег притиска, се издвајају гасови и паре – **течност кавитира**.

Једно од најважнијих својства флуида је да могу да мењају своје агрегатно стање у зависности од спољашних услова којима су подвргнути. Када се флуиду при константном притиску снизи температура до тачке мржњења он ће прећи у чврсто агрегатно стање док се при повећању његове температуре до тачке кључања он прећи у гасовито стање.

Када притисак радне течности падне испод притиска који одговара тачки кључања (сваком притиску одговара тачно одређена температура) на том месту ће се појавити парна фаза (локално кључање). Тако створени мехурићи паре ће се кретати заједно са радном течношћу у зоне већег притиска при чему ће доћи до ишчезавања мехурића. Ова појава се назива кавитација, и може да има три фазе:

- 1) Почетна кавитација – њу карактеришу мала висина шума, мала количина кавитацијских мехурова који образују нестационарну кавитацијску зону.

- 2) Делимично развијена кавитација-постојање стационарне кавитацијске зоне одређених размера, долази до повећања буке.
- 3) Потпуно развијена кавитација-долази до прекида рада пумпе, јављају се оштећења, значајно се повећавају шумови и бука.

Код зупчастих пумпи кавитација настаје на улазу у пумпу због пада притиска који стварају зубци зупчаника када излазе из захвата пумпе као и када зубац једног зупчаника излази из међузубља другог зупчаника као што је приказано на слици.



Слика 4.9 Пример настанка кавитације при спрезању зупчаника

4.6 Предности и недостаци зупчастих пумпи са спољашњим озубљењем

Зупчaste пумпе са спољним озубљењем се производе углавном за притиске до 200 bar-a и протоке до 250 l/min. Раде са бројевима обртаја од 500-3000 o/min. Предности зупчастих пумпи са спољним озубљењем[6]:

- једноставна конструкција,
- лако одржавање,
- поузданост у раду,
- мали габарити,
- неосетљивост на нечистоће у радном флуиду.

Основни недостаци зупчастих пумпи са спољним озубљењем:

- ниски радни притисци,
- немогућност запреминске регулације протока,
- висок степен неравномерности протока,
- нагли пад степена корисности при порасту температуре радног флуида,
- присутност буке при раду на високим притисцима и великим бројевима обртаја.

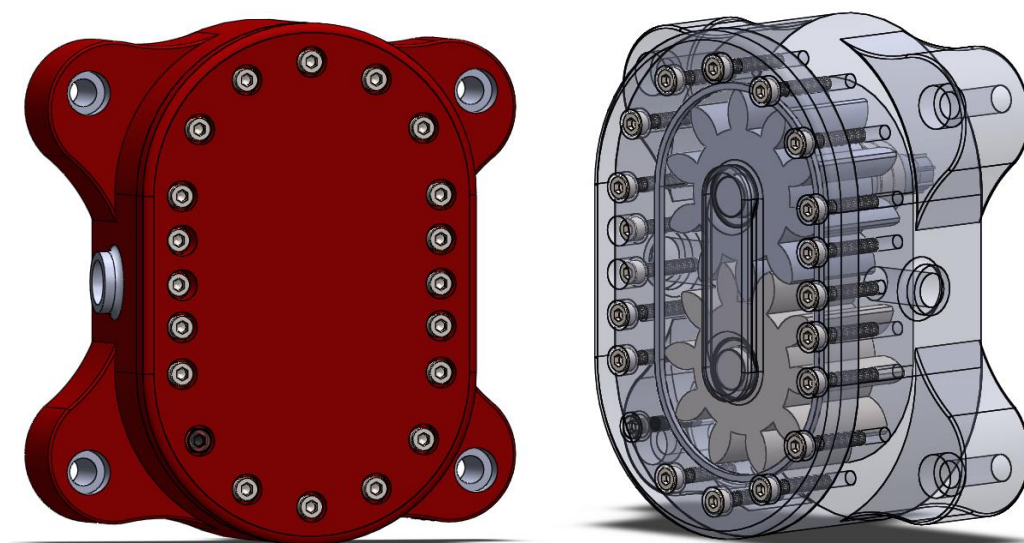
Ови недостаци се могу умањити неким конструктивним решењима. Смањење буке и пулзација протока може остварити коришћењем зупчаника са косим зупцима[2].

5.0 Израда 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

Завршни део рада садржи израду 3Д модела зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем. Модел је израђен у програму SolidWorks 2017 SP05 и реализован је из више корака.

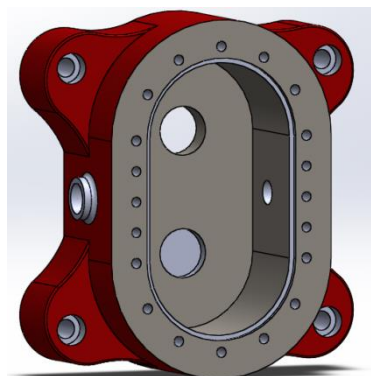
SolidWorks 3DCAD (Computer Aided Design - Компјутерски подржано дизајнирање) пакет се користи у процесима развоја производа, технологије, израде техничких упуштава, симулацијама, прорачуна, израду сложених машинских делова и склопова. Омогућава лаку израду радионичке и склопне документације са пратећим спецификацијама неопходним са производњу, набавку и прорачун цене коштања. Поседује специјализоване модуле за пројектовање алата и калупа за пластику, делова од лима, заварених конструкција, цевовода и електро инсталација. У себи садржи напредне алате за дефинисање сложене геометрије и површина, великих склопова, креирања варијантних решења и скуп производа, симулације механизма и равних склопова, визуализацију идеја кроз израду филмова и фотореалних приказа [7].

У наредном делу рада приказан је 3Д модел зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, са деловима.



Слика 5.1 3Д модел зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

3Д модел кућишта и поклопца зупчасте пумпе, приказани су на сликама 5.2 и 5.3.

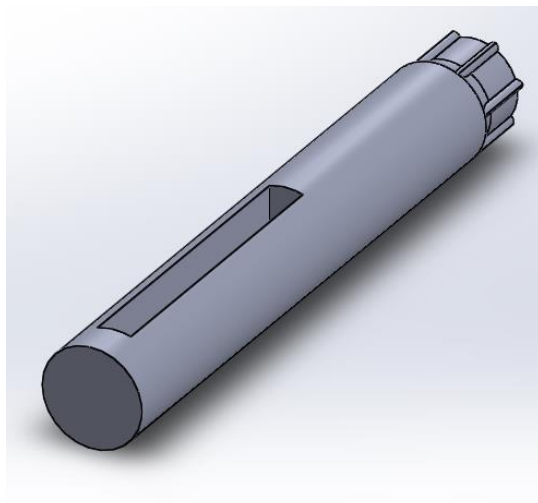


Слика 5.2 Кућиште зупчасте пумпе



Слика 5.3 3Д модел Поклопац кућишта пумпе

Пумпа се погони електромотором за који је везана погонским вратилом, слика 5.4. Вратило се за погонски зупчаник везује клином, чиме се обезбеђује чврста веза. Постојање озубљења погонског и гоњеног зупчаника обезбеђује се носачем зупчаника пумпе, слика 5.5.

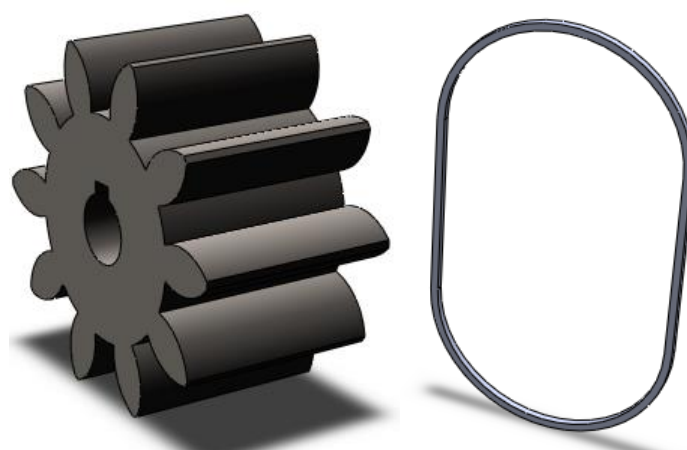


Слика 5.4 3Д модел погонског вратила пумпе

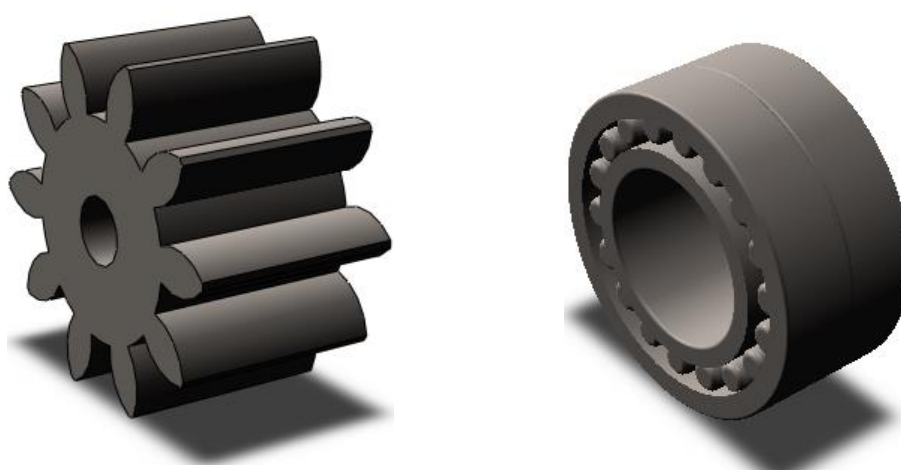


Слика 5.5 3Д модел носача зупчаника пумпе

3Д модели погонског и гоњеног зупчаника, заптивног прстена кућишта и кугличног лежаја приказани су на слици 5.6 и 5.7. Модели зупчаника и кугличног лежаја представљају стандардне елементе који се налазе у доступној библиотеци модела у оквиру софтвера.



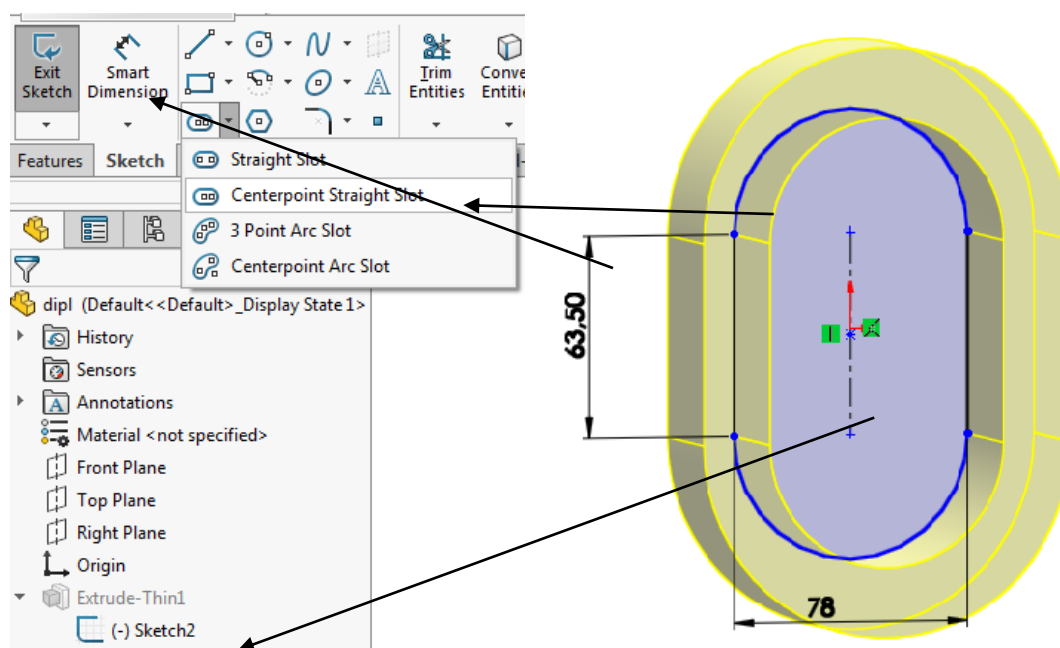
Слика 5.6 3D модел а) погонског зупчаника
б) прстена поклопца кућишта



Слика 5.7 3D модел а) гоњеног зупчаника; б) кугличног лежаја

5.1 Поступак моделирања компоненти

У наредном делу рада биће описан поступак моделирања компоненти зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, склапање склопа и израде техничке документације. Моделирање компоненти врши се коришћењем доступних алата у оквиру софтвера. први корак у моделирању компоненти представља избор референтне равни и израда иницијалне клице у радном окружењу *Sketch*, слика 5.8.

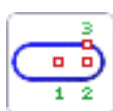


Слика 5.8 Поступак скицирања

Алати коришћени у процесу моделирања су:



- Sketch (скица) представља једну од основних команди програма, јер се свака компонента израђена у њему мора састојати од скице. Скице су обично затвореног непрекидног облика састављене од линија, кружних лукова, али могу бити и отворене.

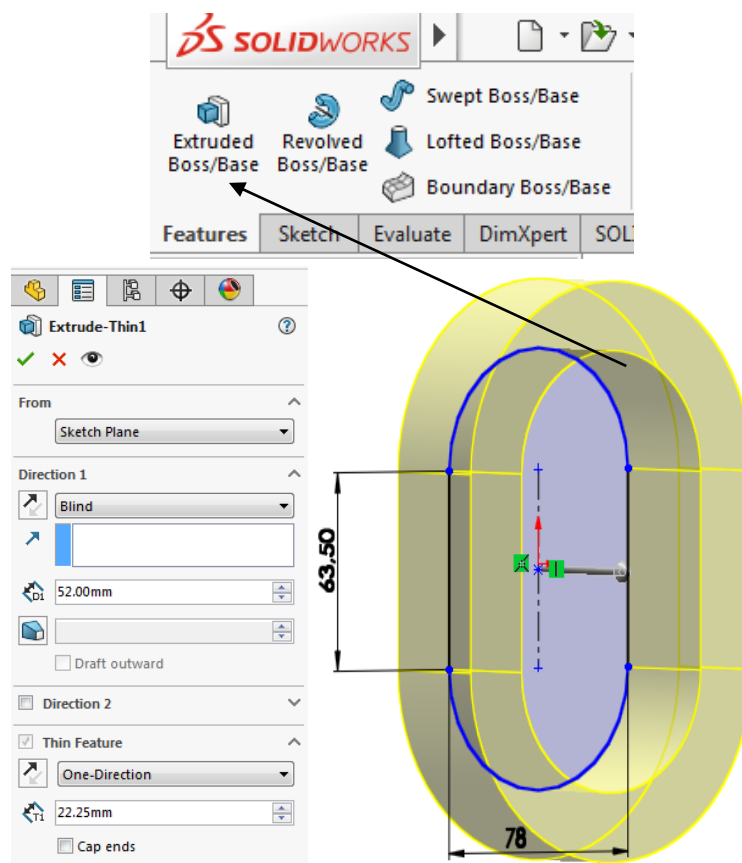


- Команда “Centerpointstraightslot” (Равни отвор из средишње тачке) састоји из три тачке. Прва тачка дефинише центар отвора, друга његову дужину и трећа радијус полукруга (ширину).



- Команда “Smartdimension” (паметно димензионирање), користи се за дефинисање димензија скица и делова, дужина, ширина, висина, дебљина, као и за котирање истих.

Након израде скице, моделу је потребно додати „материјал“, одосно трећу димензију, што се врши изласком из Sketchокружења и одабиром неке од команди за додавање треће димензије (*Extruded Boss/Base*, *Revolved Boss/Base...*), слика 5.9.



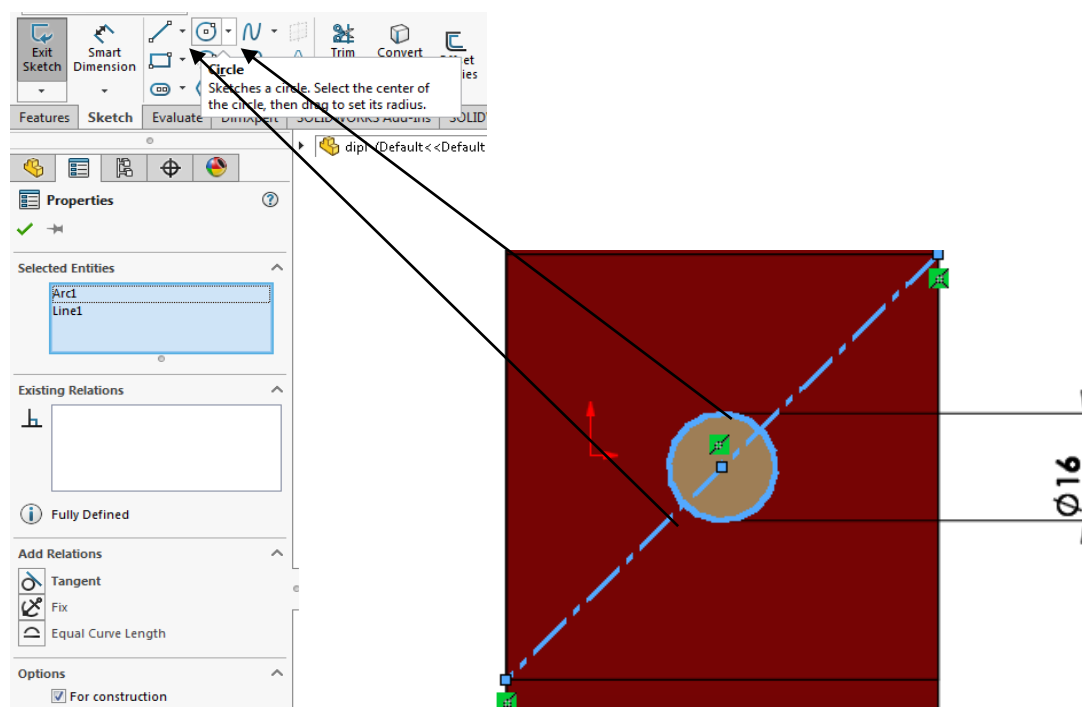
Слика 5.9 Поступак просторног екструдирања (истискивања)

Команда коришћене у процесу израде 3Д компонената зупчасте пумпе је:



- 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 моделу, одузет или пресечен постојећим опцијама модела. Поље у којем је уписана прва димензија (52 mm) дефинише дужину истиснућа скице у простору, док пољеу које је уписана друга димензија (22.25 mm). Опција “Blind” указује да се истискивање врши по дефинисаној димензији [8].

Даљи поступак моделирања компоненти врши се комбинацијом алата из радног окружења *Sketchi* радног окружења за просторно моделирање слике 5.10 – 5.16.



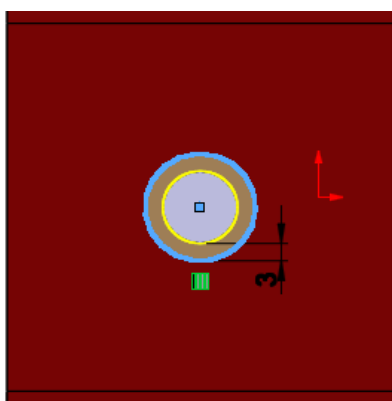
Слика 5.10 Поступак израде скице применом круга и конструкционе линије



- Команда “Circle” (круг), користи се за формирање круга.

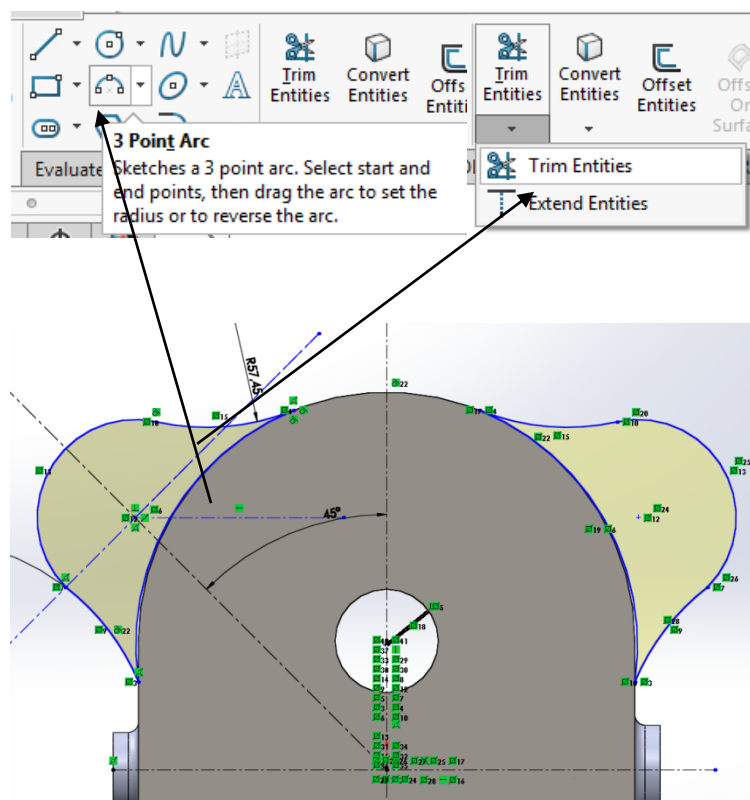


- Команда “Centerline” (централна линија), користи се за формирање конструкцијске линије.



- Команда “Offset entities” (Паралелно померање), користи се за паралелно померање геометрија у односу на референтну скицу, омогућава управљање геометријом, али и у великој мери доприноси скраћењу времена скицања.

Слика 5.11 Приме команде паралелно померање



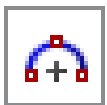
Слика 5.12 Поступак израде скице са применом одсецања ентита, тангентности и лука из три тачке



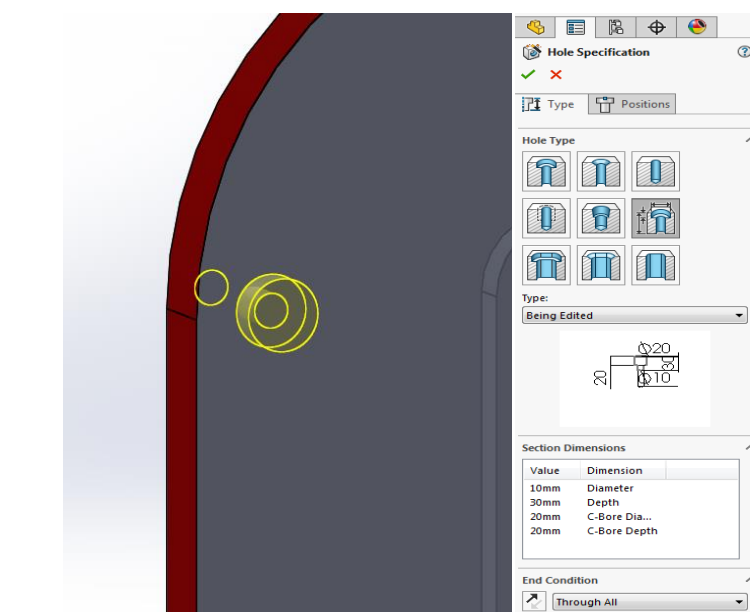
- Команда “Trim entities” (одсецање ентитета), команда која се користи за одсецање површина које су вишак.



- Команда “Tangent snap” (тангентност), ова команда дефинише прецизан одабир на тангенте кружница, лукова, заобљења, парабола, елипси, делова елипси и кривуља.



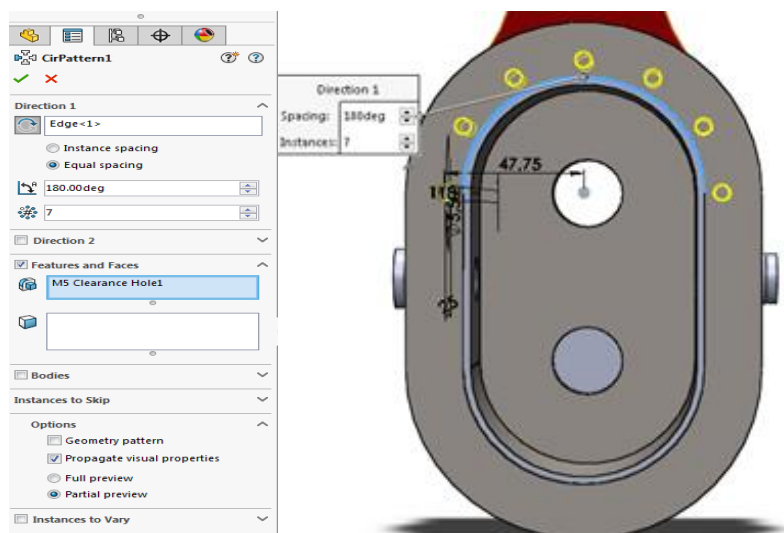
- Команда “Three point arc” (лук из три тачке), се користи за креирање кружног лука из три тачке.



Слика 5.13 Примена команде "Hole Wizard"



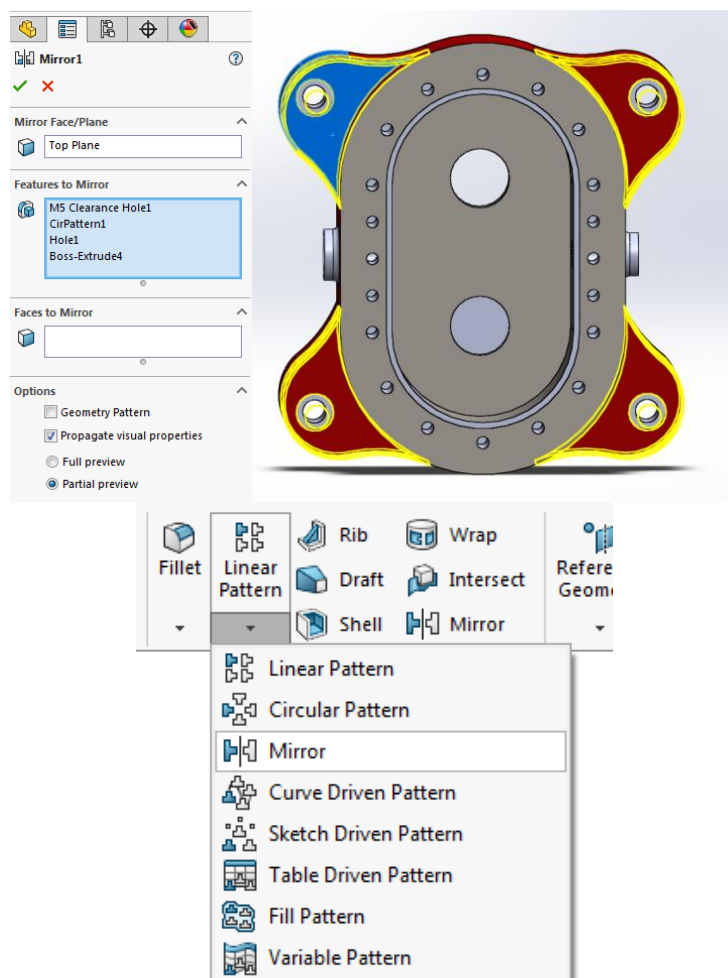
- Команда "Hole wizard" (чаробњак за рупе), ова алатка омогућава брзо прављење рупа у делу или склопу без потребе за цртањем скице, или коришћењем више функција.



Слика 5.14 Примена команде "Circular pattern"



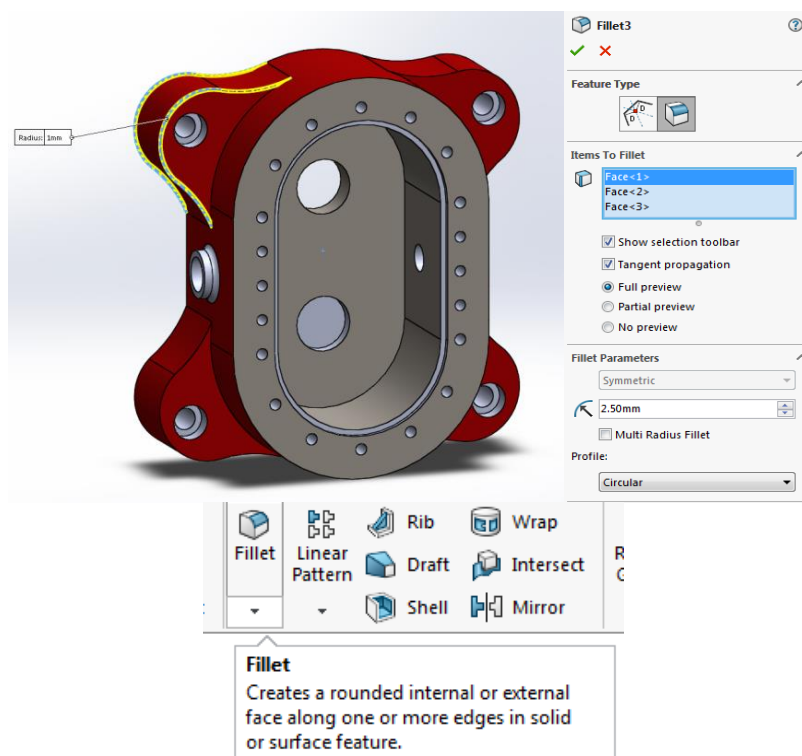
- Команда "Circularpattern" (Кружни образац), се користи за израду кружног обрасца. Функционише тако што се прво одабере кружна површина по којој се врши умножавање неког облика, затим се одређује дистанца између отвора (једнака или различита), за колико степени се врши умножавање, и број елемената. На крају се одређује који елемент се умножава.



Слика 5.15 Примена команде "Mirror"



- Команда "Mirror" (огледало), се користи када је потребан симетрични елемент нацртати на супротној страни осе симетрије. Прво се одабере раван у односу на коју се врши „огледање“, а затим елементи који се огледају.



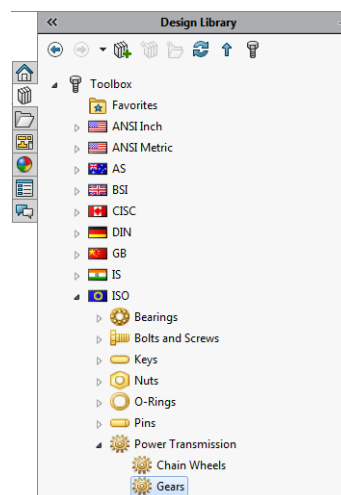
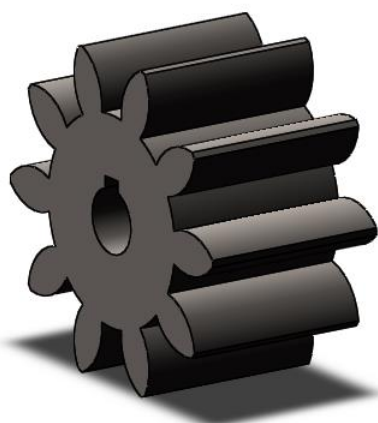
Слика 5.16 Примена команде "Fillet"



- Команда "Fillet" (заобљење), служи заобљавање унутрашњих или спољашњих делова површина на компоненти. Заобљење се може вршити на свим ивицама површина, одабраним скуповима површина. У пољу "Fillet parameters" дефинише се радијус заобљења.

5.2 Поступак коришћења готових компоненти

Велики број 3Д модела стандардних машинских елемената (завртњеве, навртке, зупчаници, куглични лежајеви...), који су саставне компоненте већине машинских склопова се, као што је већ речено, налази у библиотекама делова које су саставни део софтверског пакета. Коришћење ових 3Д модела, значајно олакшава сам поступак моделирања и убрзава процес. На сликама 5.17 и 5.18. приказан је поступак учитавања ових делова.



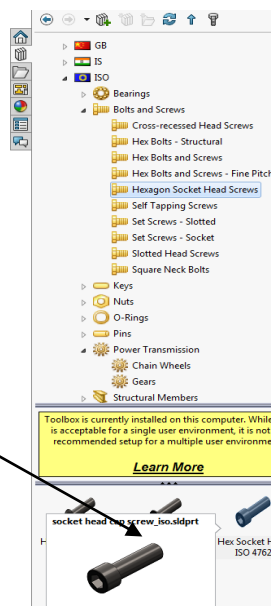
Слика 5.17 Поступак одабира зупчаника из палете "Toolbox"



- Картица "Design library" (Библиотека дизајна), пружа централну локацију готових елемената, као што су делови, склопови и скице.



- Картица "Toolbox" (Кутија алата), се налази у оквиру карте "Design library", садржи скуп стандардних делова која је у потпуности интегрисана са пакетом Солидворкс. Корисник бира стандард и тип дела који се употребљава. Убацавање елемента се врши одабиром дела и превлачењем на склоп.

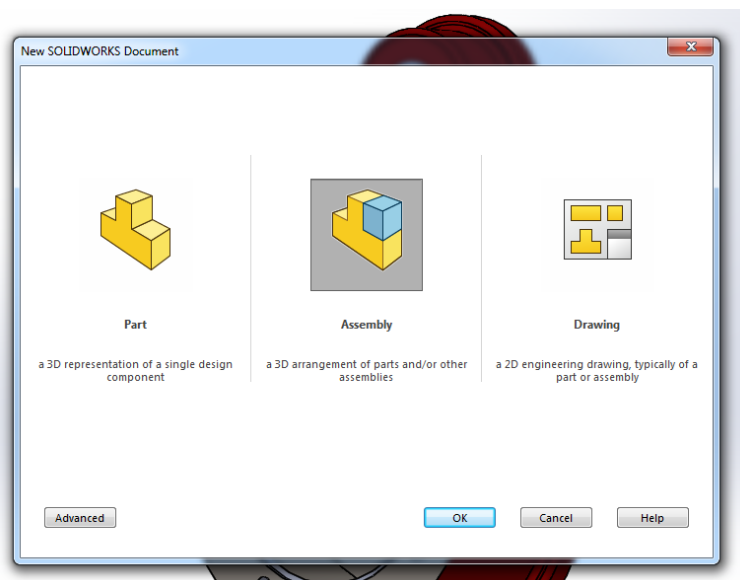


Слика 5.18 Поступак одабира стандардног завртња

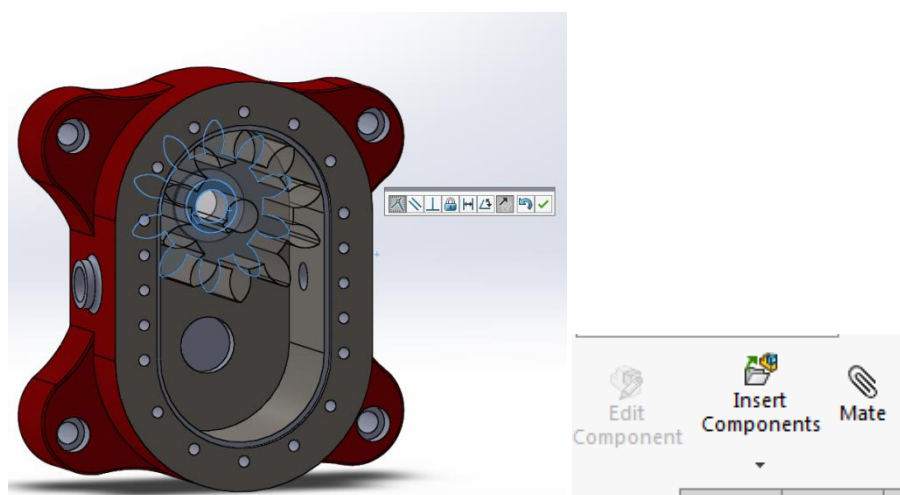
Одабир завртња се такође врши у палети "Toolbox", према изабраном стандарду. Завртањ са слике је шестоугаони завртањ по стандарду ISO 4762.

5.3 Поступак склапања делова

Помоћу команде "Assembly" (Склоп), могу се формирати сложени склопови који се састоје од мноштво компоненти које могу бити делови или други склопови, подсклопови. Додавање компоненте склопу ствара везу између склопа и компоненте.



Слика 5.19 Покретање опције "Assembly" (склоп)



Слика 5.20 Поступак позиционирања погнског зупчаника применом опције "Mate"

Команде и алати коришћени у процесу формирања склопова су:



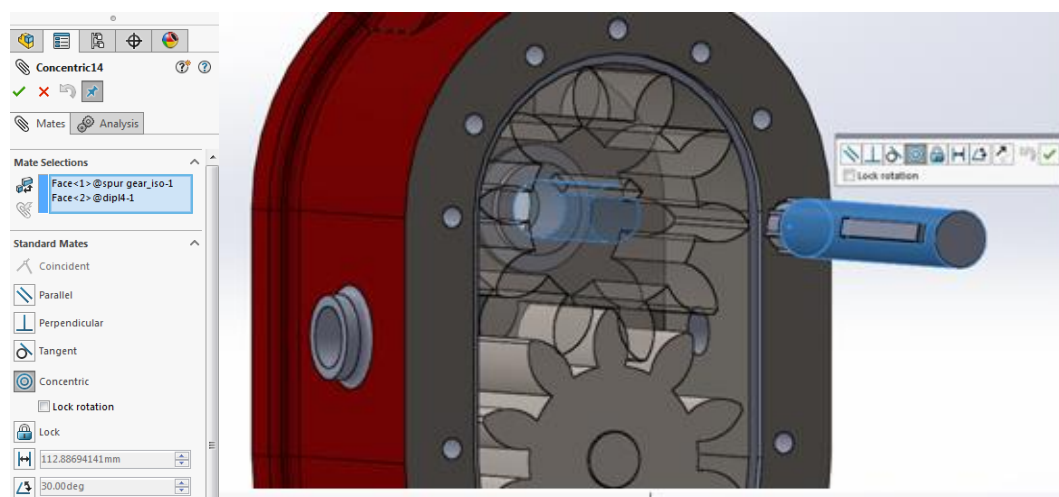
- Команда "Mate" (Спајање), помоћу које се стварају геометријски односи између компонената склопа. Додавањем споја, дефинишу се степени слободе линеарног или ротационог кретања компонената. Померање компонената је

могуће само у оквиру задатих степена слободе.

У оквиру опције "Mate" увек су приказане све врсте веза, али примењиве су само оне везе које су примењиве за одређено спајање. У оквиру опције "Mate" доступне су следеће стандардне везе, табела 5.1:

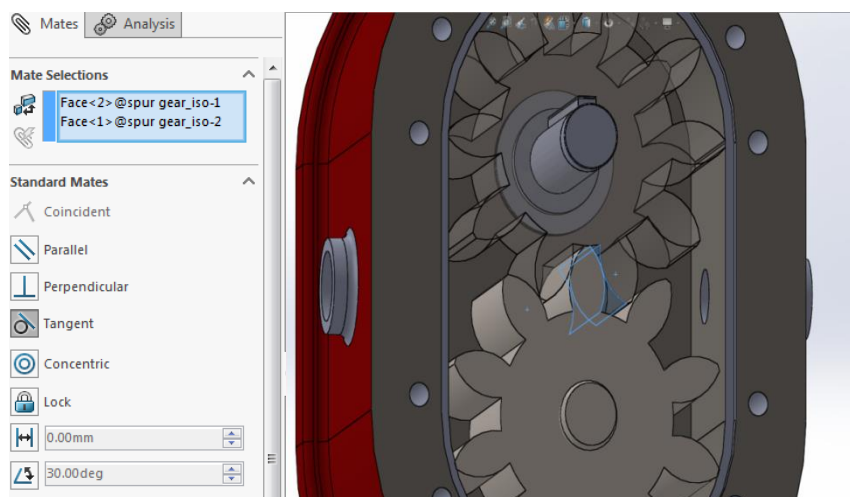
Табела 5.1 Врсте веза у оквиру опције "Mate" [9]

Коинцидентност 	Позиционира одабране странице, ивице и равнине тако да оне деле исту неограничену раван
Паралелност 	Поставља одабране објекте тако да они остају на константном 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 тако да они деле исту средишњу линију
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



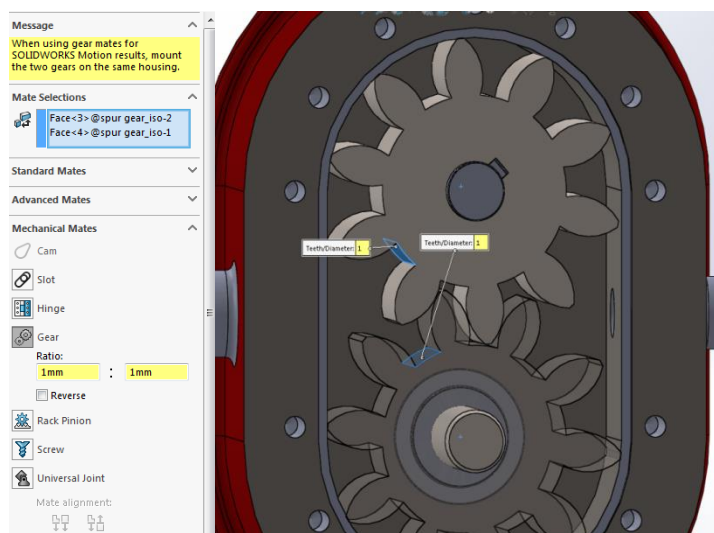
Слика 5.21 Поступак спајања дела погонског вратила са погонским зупчаником

На слици н.н приказан је поступак дефинисања везе између погонског вратила и погонског зупчаника применом опције *Mate*. Прво се одабере опција *Mate*, затим се у пољу *Mate selection* врши одабир површина које се спајају, а након тога која врста везе се остварује (концентричност на склопу са слике).



Слика 5.22 Поступак узубљивања погонског и гоњеног зупчаника

Поступак узубљивања погонског и гоњеног зупчаника је приказан на слици н.н. Прво се бочна страна једног зуба зуба погонског и гоњеног зупчаника спаја, тако да те две стране буду тангентне једна у односу на другу. Ова команда ће служити само привремено као позиционирање



Слика 5.23 Поступак узубљивања погонског и гоњеног зупчаника

Након постављања зупчаника у позицију узубљења потребно је остварити механичку везу између ова два елемента. Палета "*Mate*" садржи опцију "*Mechanical Mates*", у којој се налазе различити машински елементи код којих се одређује

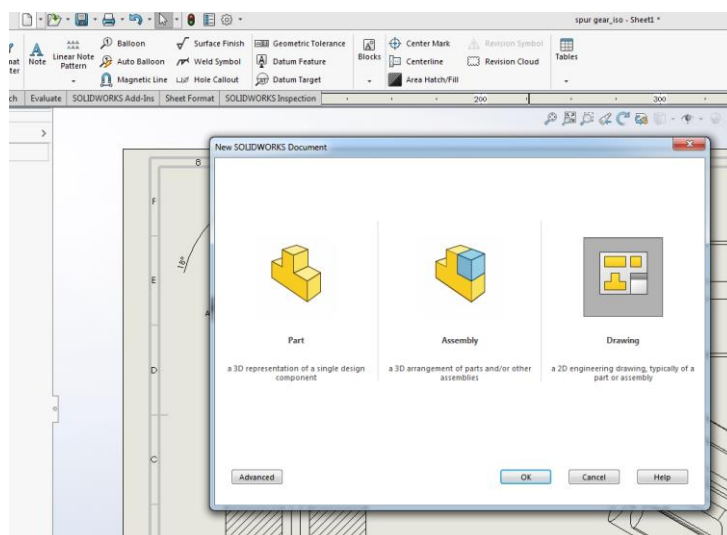
механичка веза. У случају зупчасте пумпе, као што и само име говори користи се механичка веза између зупчаника.

5.4 Техничка документација и поступак њене израде

У софтверском пакету SolidWorks поред израде скица, 3D модела, склопова и осталог, такође је могућа израда техничке документације (радионичких цртежа делова).

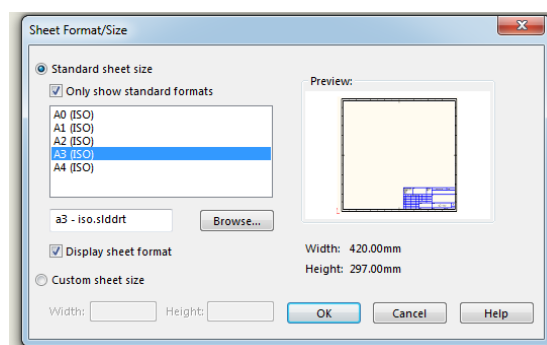
Поступак приступања опцији израде техничког цртежа је следећи.

1. Клик на картицу "new" 
2. У прозору новог документа бирамо опцију "Drawing" , слика 5.24



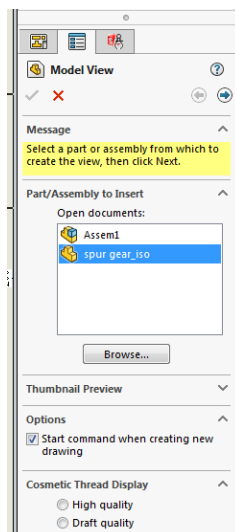
Слика 5.24 Покретање опције техничка документација

Након тога врши се одабир неких основних подешавања везано за цртање, као што су формат, величина листа, слика 5.25.



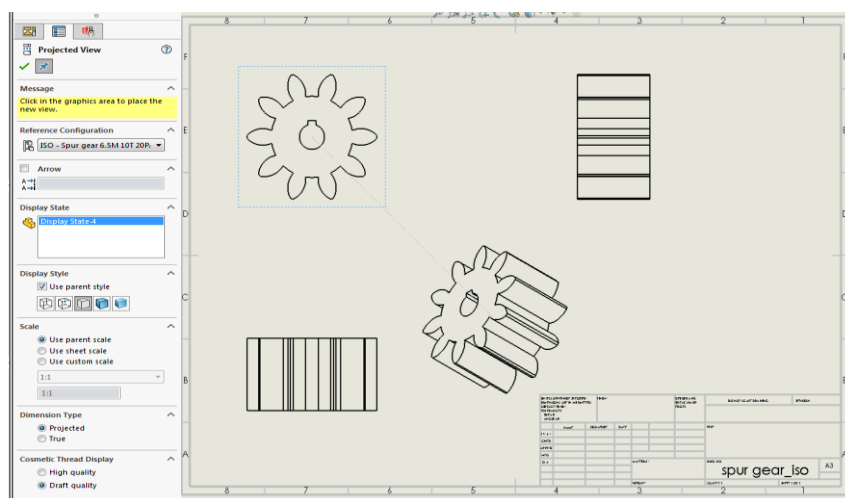
Слика 5.25 Одабир формата папира

У прозору "ModelView" бирамо део који за који се израђује техничка документација.



Слика 5.26 Одабир дела за израду техничке документације

Након одабира дела, одређују се опције у "PropertyManager-u", а затим се поставља приказ дела на графичку област, слика 5.27.

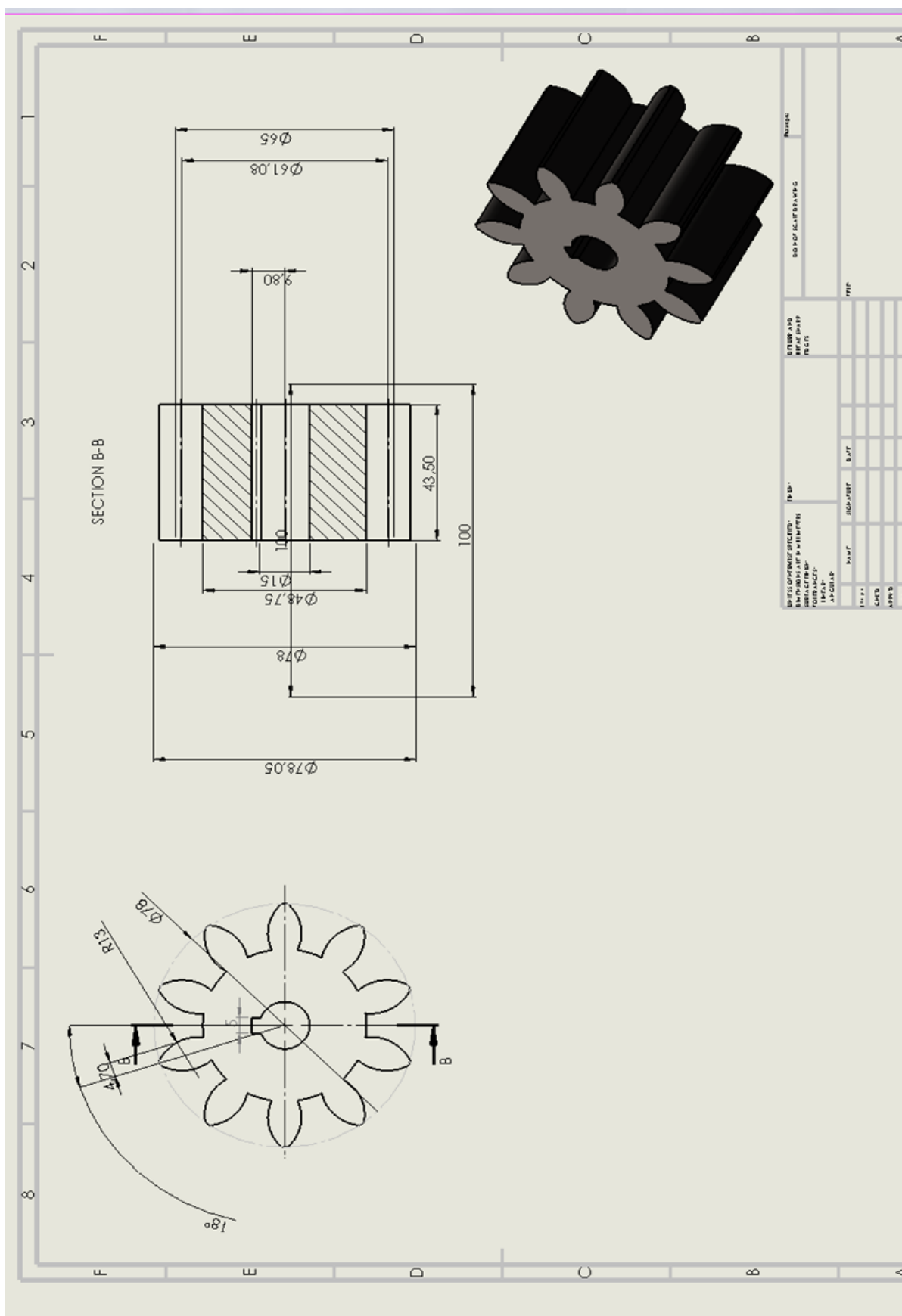


Слика 5.27 Постављање дела на папир и одређивање опција у "PropertyManager-u"

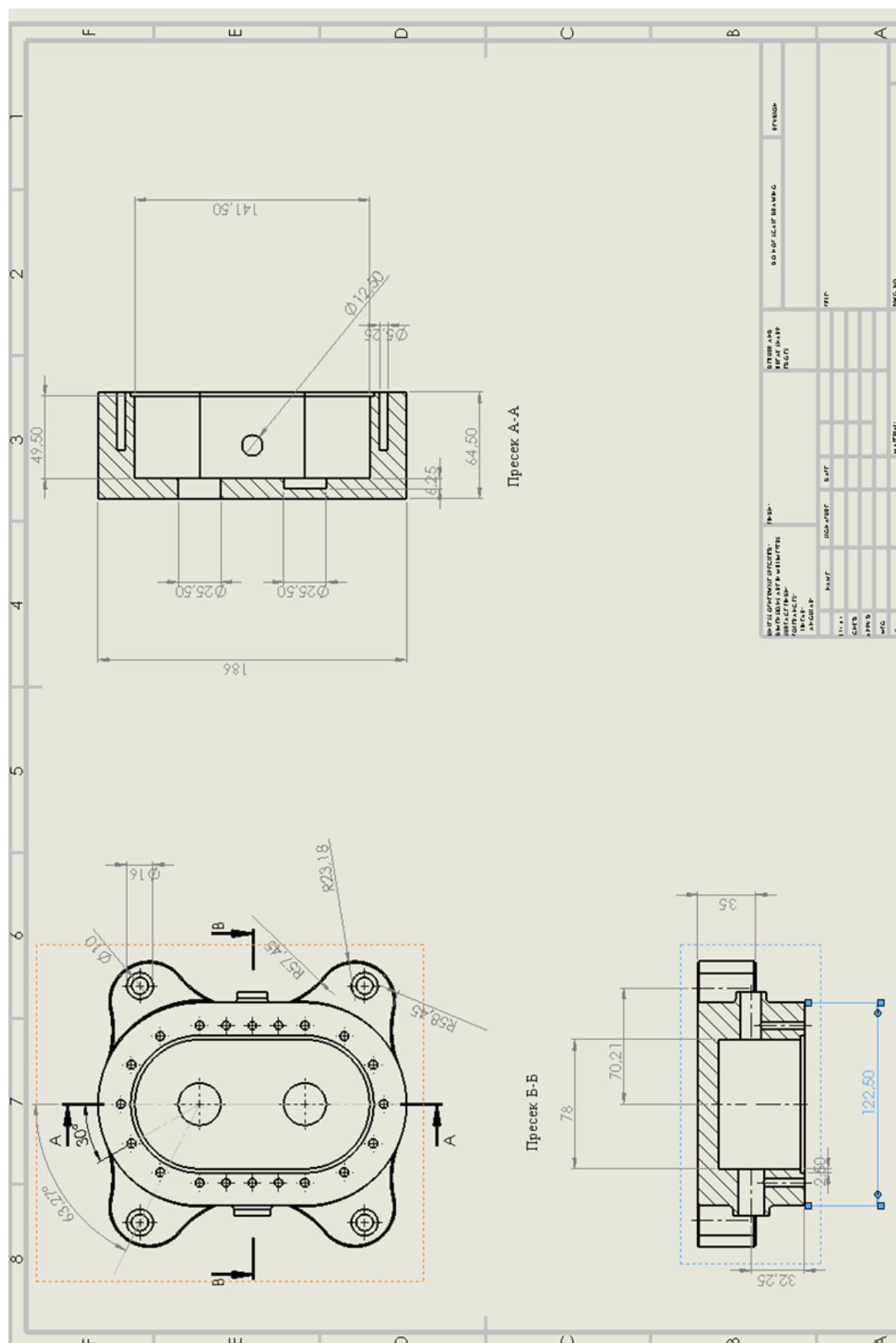
При приказивању пресека дела или склопа, модел се приказује као пресечен равнима или површинама која изаберемо, у функцији приказа унутрашње конструкције дела.

Да би применили поглед пресека:

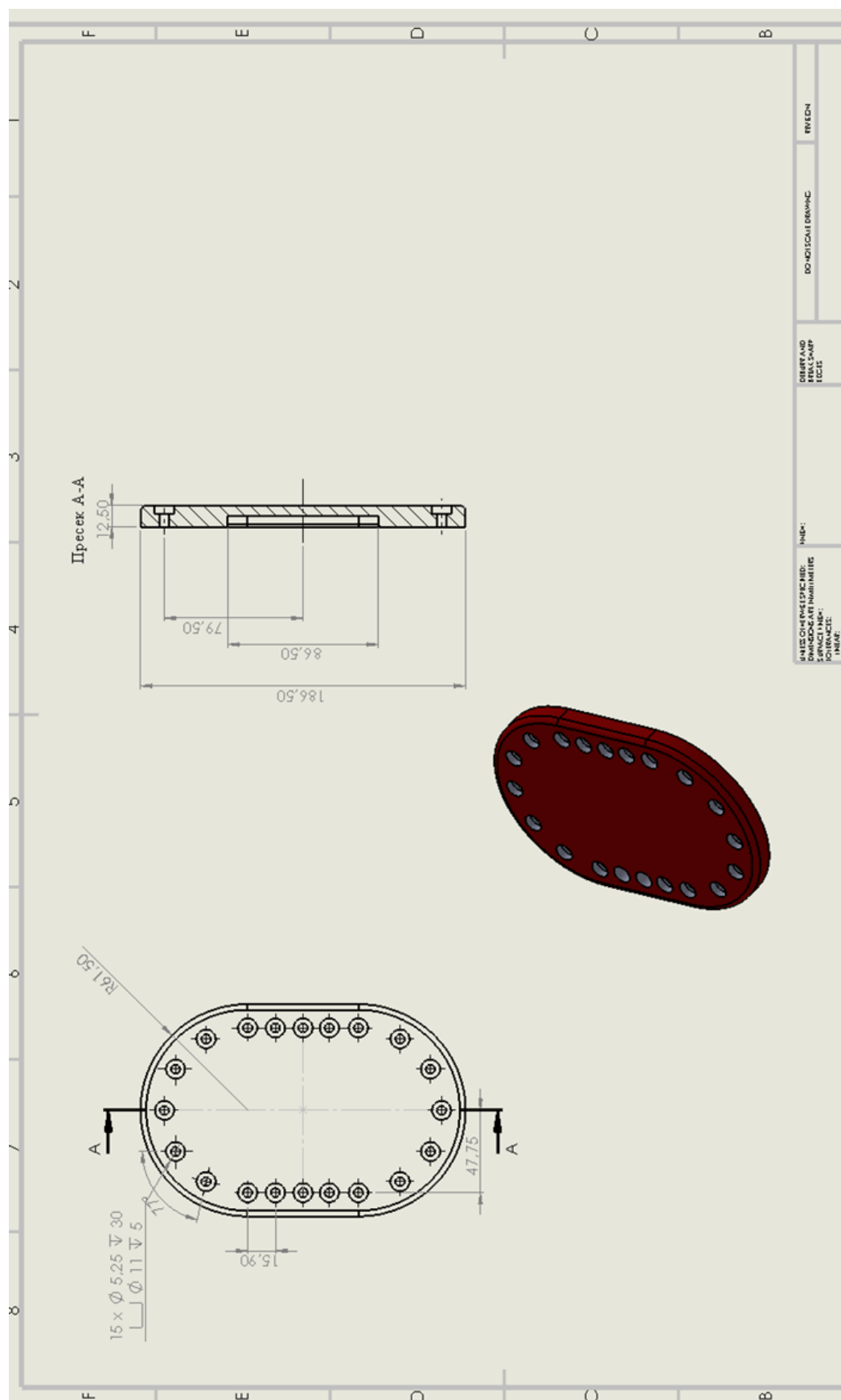
1. Бирамо опцију пресека преко "Insert > Drawing View > Section" 
2. У "PropertyManager-u" бирамо врсту пресека који желимо да применимо



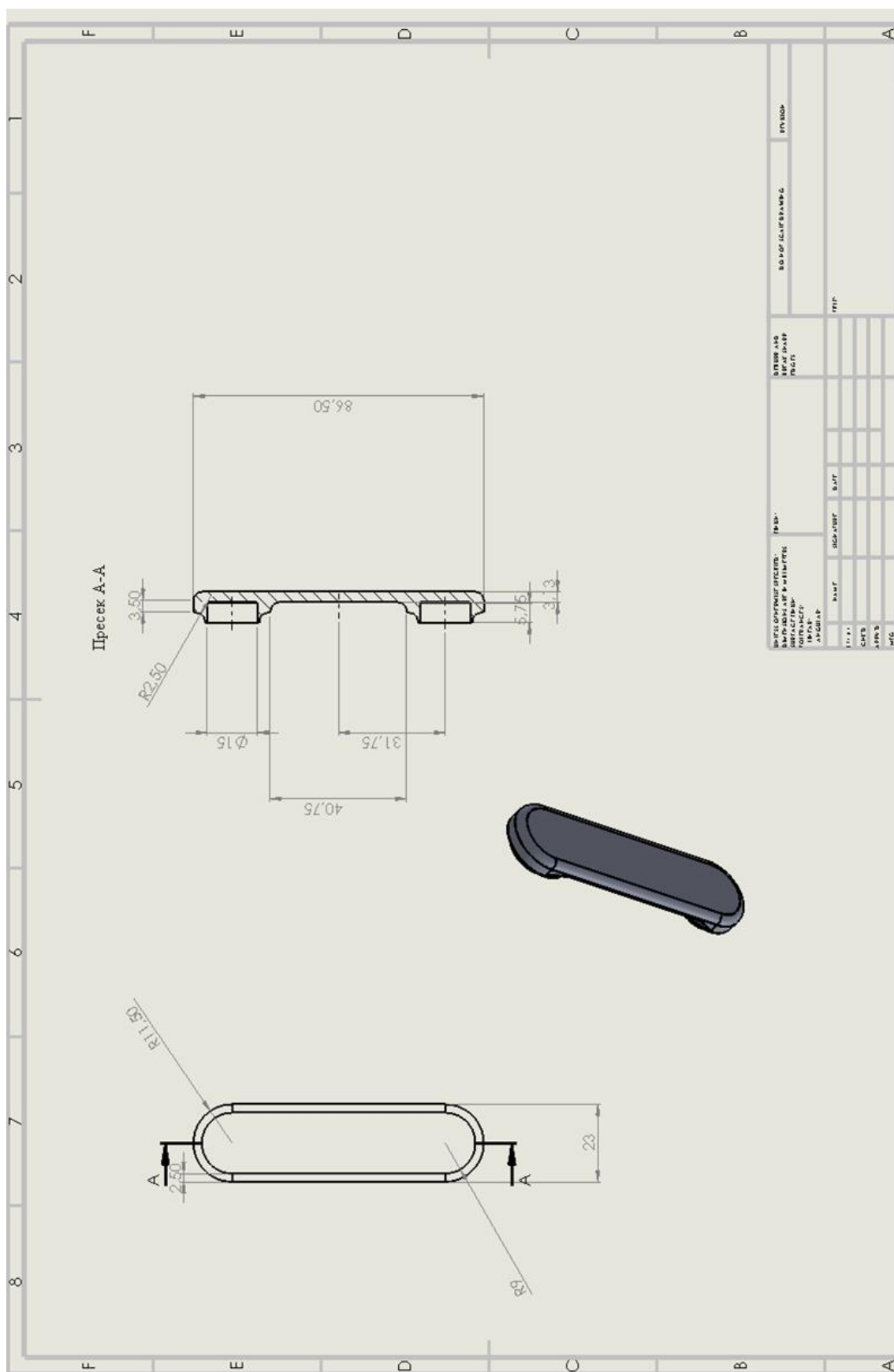
Слика 5.30 Радонички цртеж зупчаника пумпе



Слика 5.31 Радионички цртеж кућишта пумпе



Слика 5.32 Радионички цртеж поклопца кућишта



42

Закључак

Хидраулични преносници снаге нашли су широку примену у свим гранама индустрије, данас готово да нема погона где хидраулични елементи и системи нису укључени у аутоматизацију. У овом раду представљена је ужа област примене хидрауличног преноса снаге. Представљена су теоријска разматрања која се односе на запреминске пумпе као што су: подела, принцип рада, параметри енергије и конструктивна решења. Посебан акценат је стављен на зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем која је била укључен у тему овог рада.

У софтверском пакету SolidWorks на конкретном примеру, представљен је 3Д модел зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, са свим њеним деловима и техничком документацијом. Описан је детаљан поступак моделирања делова, склапања склопа и израде техничке документације са свим коришћеним командама.

Литература

- [1] Владимир Савић „Уља хидраулика“ Зеница, 1987
- [2] Душан Гордић „Пренос снаге флуидом“ Машински факултет Крагујевац, 2007
- [3] М. Gallal Rabie „Fluid power engineering“ Modern Academy for Engineering and Technology Cairo, Egypt, 2009
- [4] Petter Chample „Principles of Hidraulic system design“ Coxmoor, 2003
- [5] <https://hidropneumatskekomponente.wordpress.com/2011/12/03/klipne-pumpe/> - интернет сајт
- [6] Т.М Башта „Машинска хидраулика“ Машински факултет Београд, 1986
- [7] Matt Lombard „Mastering SolidWorks“, Sybex (2018)
- [8] <http://help.solidworks.com/> - интернет сајт
- [9] Небојша Рашовић, Миленко Обад „Практикум 3D моделирања кроз SolidWorks“ Мостар, 2016