

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: 152/2017

Игор З. Пајић

**Израда 3Д модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем
у софтверском пакету 3DEXPERIENCE
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

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

Датум одбране: _____

Оцена: _____



**Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука**



Основне студије: **Основне академске студије**
Студијско подручје (усмерење): **Машинско инжењерство (ЕПТ)**

Име и презиме: **Игор Пајић**
Број индекса: **152/2017**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Израда 3Д модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем у софтверском пакету 3DEXPERIENCE**

Задатак: У оквиру завршног рада студент би требало да прикаже теоријска разматрања која се односе на запреминске пумпе (подела, принцип рада, параметри енергије, конструктивна решења), са нагласком на зупчасте пумпе. Поред тога потребно је дати кратак увод у могућности која пружа софтверски пакет 3DEXPERIENCE. На крају, потребно је израдити 3Д модел зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем (Rextron - PGH4-3X/032RE11VU2) у софтверском пакету 3DEXPERIENCE, описати поступак моделирања компоненти и израду склопа.

Ментор:

Др Владимир Вукашиновић, доцент

Крагујевац, 26. 02. 2020.

Садржај

Резиме	1
Abstract.....	1
1. Увод.....	2
1.1 Хидраулични пренос снаге	3
2. Хидрауличне компоненте хидростатичког система преноса снаге.....	6
2.1 Хидрауличне запреминске пумпе и хидромотори.....	6
2.2 Класификација запреминских пумпи и обртних хидромотора.....	7
3. Зупчасте пумпе.....	9
3.1 Подела и област примене зупчастих пумпи	9
3.2 Зупчасте пумпе/мотори са спољашњим озубљењем	10
3.3 Зупчасте пумпе/мотори са унутрашњим озубљењем	12
3.4 Губици снаге и оптерећења у зупчастим пумпама и хидрауличним моторима.....	14
3.5 Кавитација у пумпном постројењу.....	16
4. Радни параметри пумпи и обртних хидромотора	18
4.1 Параметри хидрауличне снаге код пумпи и обртних хидромотора.....	18
4.2 Запремински проток код пумпи и обртних хидромотора	18
4.3 Параметри механичке снаге пумпи и обртних хидромотора.....	19
4.4 Укупан степен корисности код запреминских хидрауличних машина	20
4.5 Избор одговарајуће пумпе.....	21
5. 3DEXPERIENCE	22
5.1 Увод у 3DEXPERIENCE.....	22
5.2 Апликације на 3DEXPERIENCE платформи	23
5.2.1 Кориснички интерфејс.....	24
5.2.2 Улоге и апликације	26
5.3 Апликације за израду 3D модела.....	28
6. Израда 3D модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем	30
6.1 Поступак моделирања компоненти.....	33
6.2 Поступак коришћења готових компоненти.....	39
6.3 Израда склопа пумпе унутар 3DEXPERIENCE платформе	40
Закључак	44
Литература.....	45

Резиме

У оквиру овог завршног рада приказана су теоријска разматрања која се односе на зупчасте пумпе, са посебним освртом на представљање могућности које нуди 3DEXPERIENCE платформа, као и израда 3D модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем у 3DEXPERIENCE софтверском пакету за дизајнирање 3D објеката. У уводном поглављу описан је принцип рада хидрауличних система. У другом поглављу дата је детаљна подела као и конструкцијска решења која се односе на запреминске хидрауличне пумпе и обртне хидромоторе. У трећем поглављу обрађени су радни параметри, различита конструкцијска решења као и принцип рада различитих врста зупчастих пумпи. У четвртом поглављу обрађени су радни параметри хидрауличних пумпи и обртних хидромотора. У петом поглављу представљен је софтверски пакет 3DEXPERIENCE, где је дат кратак опис платформе, корисничког интерфејса, као и апликације које 3DEXPERIENCE платформа нуди инжењерима, дизајнерима, менаџерима у изради и контроли квалитета производа. У шестом поглављу на конкретном примеру приказане су могућности апликација за израду модела „Part Design” и „Assembly Design” и описан је поступак моделирања компоненти као и склапање склопа коришћењем истих.

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

Abstract

In this final paper theoretical considerations related to gear pumps, with particular reference to presenting the features offered by the 3DEXPERIENCE platform, as well as the development of a 3D model of a gear pump with internal gear in the platform are presented. The introductory chapter describes the principle of operation of hydraulic systems. The second section provides a detailed breakdown as well as design solutions related to hydraulic pumps and rotary hydraulic motors. The third chapter deals with the design solutions and the principle of operation of different types of gear pumps. In the fourth chapter, the operating parameters of hydraulic pumps and rotary hydraulic motors are discussed. Chapter 5 introduces the 3DEXPERIENCE platform, and provides a brief description of the platform, user interface, and applications that the this platform offers for engineers, designers, managers in product design and quality control. The capabilities of “Part Design” and “Assembly Design” modules are shown and described in chapter Six.

Key words: Hidraulic power transmission, volume pumps, gear pumps, 3DEXPERIENCE, 3D model

1. Увод

Хидраулични пренос снаге је један од најстаријих облика преноса енергије који је прихваћен за погон широког спектра машина због низа предности које има у односу на друге доступне облике преноса снаге. У Америци се 1906. године појавио први систем на хидраулични погон који је уместо воде користио минерално уље за погон (подизање и ротацију) топова на бојном броду „U.S.S. Virginia”, ова једноставна употреба течности под притиском да се пренесе сила показала је примену хидраулике и подстакла је њеном даљем развоју. Сматра се да је ово била прекретница у даљем развоју хидрауличних система. За време и после Другог светског рата долази до интензивног развоја конструкције као и производње хидрауличне опреме, да би се данас хидраулика користила у многим гранама индустрије [1].

Развој хидраулике почиње практично пре око 370 година кад је 1647. године Паскал (Blaise Pascal) поставио закон хидростатике познатији као Паскалов закон који гласи „*спољашњи притисак који делује на затворене течности и гасове преноси се подједнако у свим правцима*”, а и који представља фундаменталну основу за хидраулику. Након тога 1738 године Бернули (Daniel Bernoulli) објављује књигу „*Hidrodinamica*” у којој је представљен закон о одржању енергије. Ови закони су први пут практично нашли примену тек након индустријске револуције у Енглеској. Данас се хидраулични преносници користе у највећој мери, тј. у скоро свим гранама индустрије, као и саобраћаја било да се он обавља у ваздуху, копну или води. Хидраулични преносници у неким гранама су потпуно заменили класичне механичке преноснике. То се може највише видети код механизације за руднике у подземним или површинским коповима, код мобилних машина, пољопривредних машине, код преса, у ваздухопловству и код великог броја машина и других процеса.

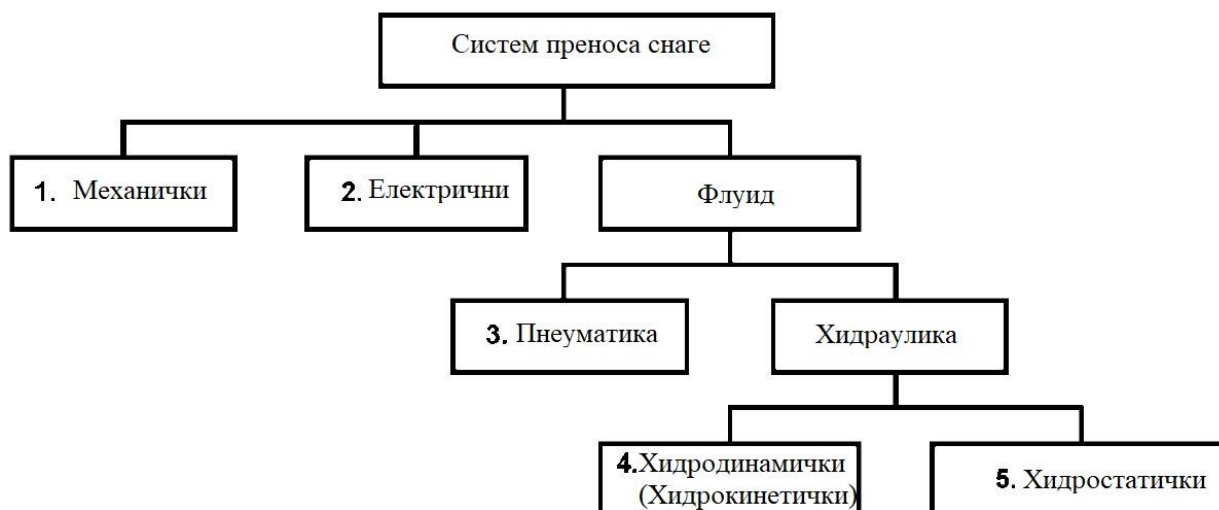
Са развојем технике повећали су се и захтеви у односу на: брзину кретања, сложеност конструкције, величину снаге коју је потребно испоручити, тачност помака као и друге ствари где се захтевају сложени процеси где механички преносници не могу увек да испуне свој задатак. То се највише може видети када је:

- Растојање од извора енергије до места њеног коришћења је велико,
- Потребна честа промена правца и смера кретања,
- Неопходно обезбедити континуално кретање,
- Потребно мењати брзину кретања и оптерећење,
- На располагању мали простор, а преносник мора да буде мале тежине

Овакве као и друге сложене захтеве, решавају преносници хидрауличне енергије, који се најчешће називају хидраулични системи.

Овако широке могућности примене хидрауличних система код погона разних машина и уређаја отворили су широко подручје за развој појединачних компоненти и хидрауличних система, нарочито када се независно једна од друге развијају, класична, пропорционална и сервохидраулика. Под појмом „класична” хидраулика подразумеју се хидраулични системи комбиновани са компонентама код којих се довођење радних елемената из једног у други положај врши електро, хидрауличним, пнеуматским или механичким погоном. Сила померања је често не-променљива величина, али се у задње време могу и наћи елементи који раде са променљивим величинама. Осим поделе на „класичну” хидраулику, пропорционалну и сервохидраулику, може се наћи и подела хидрауличних система према врсти флуида који преноси хидрауличну енергију. Ту спадају „уљна хидраулика”, која као радни флуид користи минерално уље или синтетички флуид, и „водена хидраулика” која као радни флуид користи емулзију [2].

Преносници снаге се постављају између погонске и радне машине у циљу прилагођавања механичке енергије добијене од стране погонске машине (СУС мотор, електро мотор) према потребама радне машине уз што мање губитке енергије. Потреба за преносом снаге је потекла од тога да карактеристике погонске машине (број обртаја, обртни момент, обимна брзина) ретко кад одговарају радним карактеристикама радне машине у различитим условима рада. У техници постоје различите врсте извођења система преноса снаге као што су електрични, механички и хидраулични (слика 1).



Слика 1: Класификација система преноса снаге [3]

1.1 Хидраулични пренос снаге

Под „хидрауличним преносником” подразумева се уређај у коме се помоћу неке од течности преноси енергија са једног места на друго. У односу на начин преноса и трансформацију хидрауличне енергије, разликују се два типа преноса: хидростатички и хидродинамички, ове области се проучавају хидростатици и хидродинамици.

Уопштена шема система за преноса снаге дата је на слици 2. Основни делови система преноса снаге су:

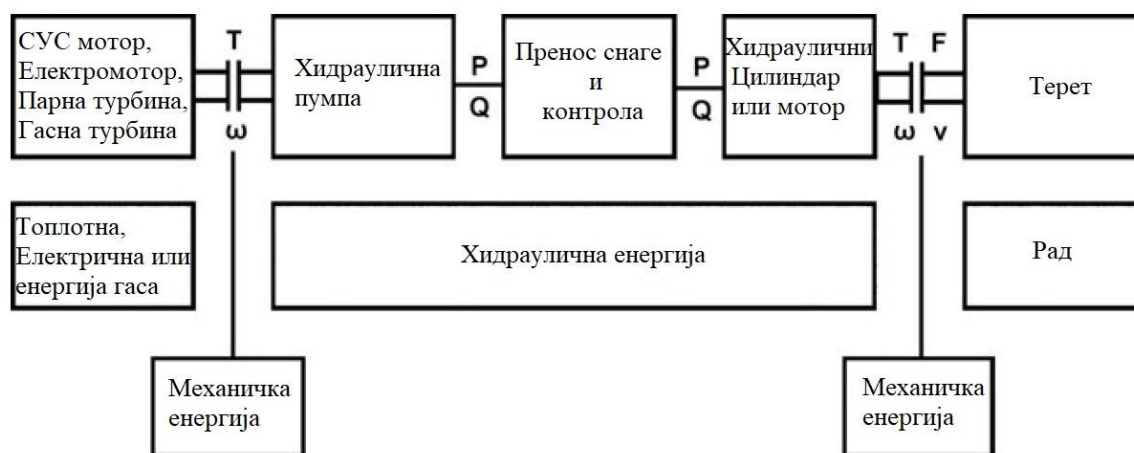
- Извор енергије (погонски агрегат), који испоручује снагу из обртног кретања, које се добија најчешће из електромотора или мотора са унутрашњим сагоревањем (СУС). Поред овога користе се, али у посебним случајевима парне турбине, гасне турбине, или хидрауличне турбине.
- Трансформација и контрола снаге радног флуида помоћу контролних елемената. Где под контролне елементе спадају разводници, вентили, итд...
- Енергија која се добија на излазу треба буде ротационог или транслаторног кретања, то се постиже преко извршног органа [3].



Слика 2: Шема система преноса снаге [3]

На погонско вратило од пумпе доводи се снага (која је резултат претварања електричне у механичку енергију или топлотна (СУС мотор) у механичку енергију) која се преко ротирајућих елемената доводи до ротора пумпе, у коме се механичка енергија трансформише у хидрауличну. Помоћу течности (вода, синтетички флуид, емулзија или минерално уље) енергија се транспортује кроз цевоводе до хидрауличног (транслаторног, ротационог) мотора, где се поново трансформише у механичку.

У хидростатичким системима преноса снаге, енергија се углавном преноси повећањем притиска течности. Ови системи преноса снаге су у широкој примени, користе се у индустрији, грађевинским машинама, ваздухопловству, за управљање бродова и у другим гранама индустрије. На слици 3 је приказана блок шема хидростатичког преноса снаге [3].



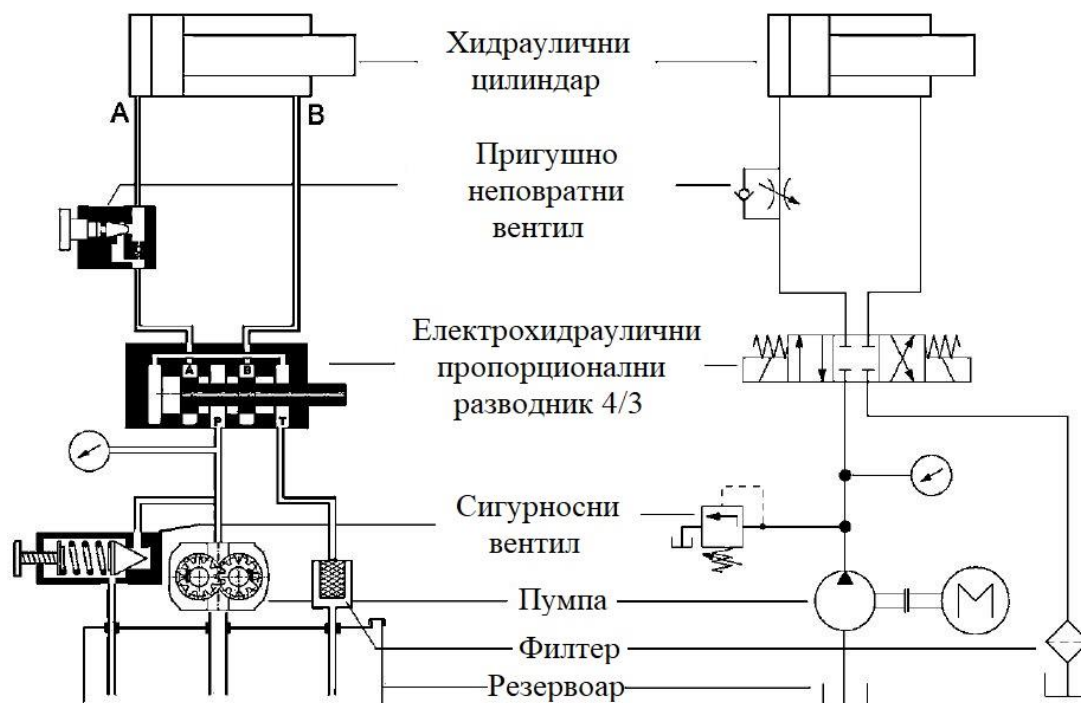
Слика 3: Шема хидростатичког преноса снаге [3]

На слици 4 приказана је принципијелна шема хидрауличног система (хидраулично пумпно струјно коло), приказана преко симбола хидрауличних елемената (десно) и илустрацијом елемената тог система како они заправо изгледају у реалним условима рада (лево). Функција овог система одвија се у следећим корацима:

1. Мотор снабдева пумпу са потребном механичком снагом. Пумпа претвара улазну механичку снагу у хидрауличну снагу.
2. Енергија се транспортује помоћу течности, тј. преко хидрауличних цеви или црева. Хидрауличном снагом се управља помоћу вентила различитих врста. У ове

врсте спадају вентили за регулацију притиска, вентили за усмеравање течности и вентили за контролу протока.

3. Хидраулична снага након проласка кроз вентиле преноси се на хидраулични цилиндар, који је претвара у потребну механичку снагу [3].



Слика 4: Хидраулично пумпно струјно коло [3]

2. Хидрауличне компоненте хидростатичког система преноса снаге

Хидростатички систем чине компоненте међусобно повезане у једну функционалну целину (слика 4). Оне се могу сврстати зависно од функције на [4]:

- Изворне компоненте (хидрауличне пумпе),
- Разводне и регулационе компоненте (разводници и вентили),
- Извршне компоненте (хидромотори и хидроцилиндри),
- Везивне компоненте односно водови (цевоводи, цреводи и прикључци),
- Компоненте за филтрирање,
- Компоненте за хлађење.

2.1 Хидрауличне запреминске пумпе и хидромотори

Пумпа је основни агрегат код хидрауличног система који улазну механичку енергију претвара у енергију струјања течности. У овом раду обрађиваће се само запреминске пумпе, које претварају механичку енергију која се доводи на улазно вратило у енергију кретања течности под притиском [5].

Пумпа усисава течност и потискује је ка излазу из пумпе. Одатле, радна течност доспева у систем преко појединих управљачких елемената све до извршног органа. Извршни орган за течност представља неку врсту отпора, један пример тога је цилиндар за дизање терета. Према овом терету створиће се одговарајући притисак у течности, који ће тако високо расти све док се не савладају потребне сили отпора [5].

Хидромотор претвара енергију струјне течности у механички рад излазног елемента (вратила или клипњаче), при чему се под запреминским хидромотором подразумева, хидромотор са кружним или праволинијским кретањем, у коме се претварање енергије струјне течности остварује у процесу кретања херметичко заптивног радног елемента (клипа, плоче, зупчаника, итд...) под дејством сила притисака, при пуњењу радне коморе течности. Запремински хидромотори углавном се деле на две групе: [5]

- Радне цилиндри, који развијају механичку енергију при трансляторном кретању,
- Хидромоторе, код којих се енергија струјне течности претвара у механичку енергију обртног кретања вратила

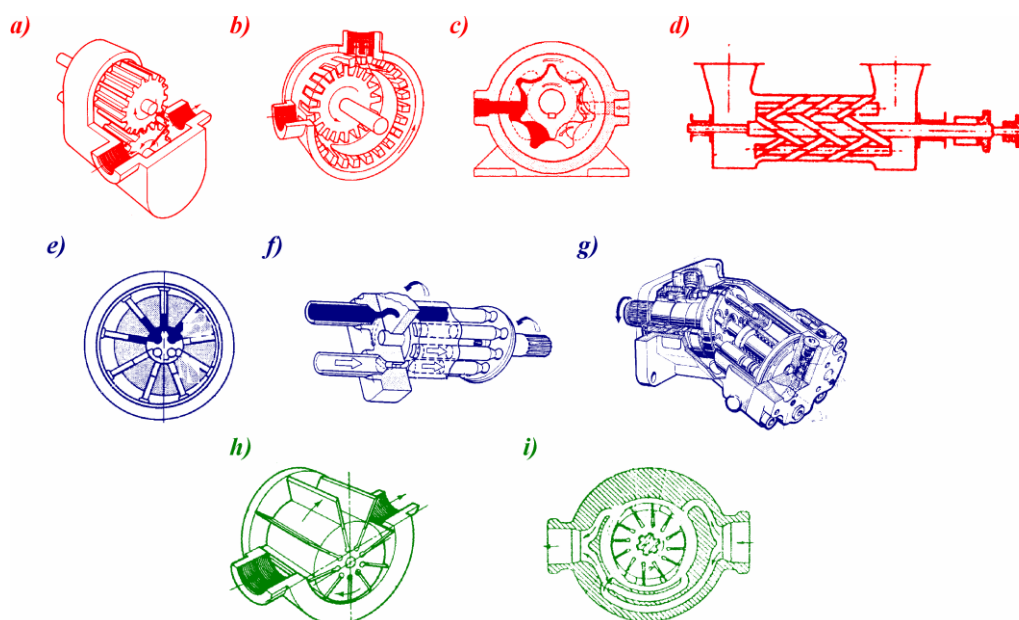
Већина ротационих хидропумпи и хидромотора имају исти принцип рада, због чега пумпе и мотори могу користити један те исти агрегат, тако да се зупчasti хидромотори могу шематски приказати исто као и зупчaste пумпе. Основни процеси у раду пумпе су усисавање и сабијање. У процесу усисавања радни органи пумпе стварају разлику притисака у усисним коморама пумпе, због чега течност пуни радне коморе пумпе. Процес сабијања своди се на потискивање течности радним органима пумпе, при чему се течности предаје нека резерва енергије која обезбеђује одвођење течности под одређеним притиском ка потрошачу [5].

2.2 Класификација запреминских пумпи и обртних хидромотора

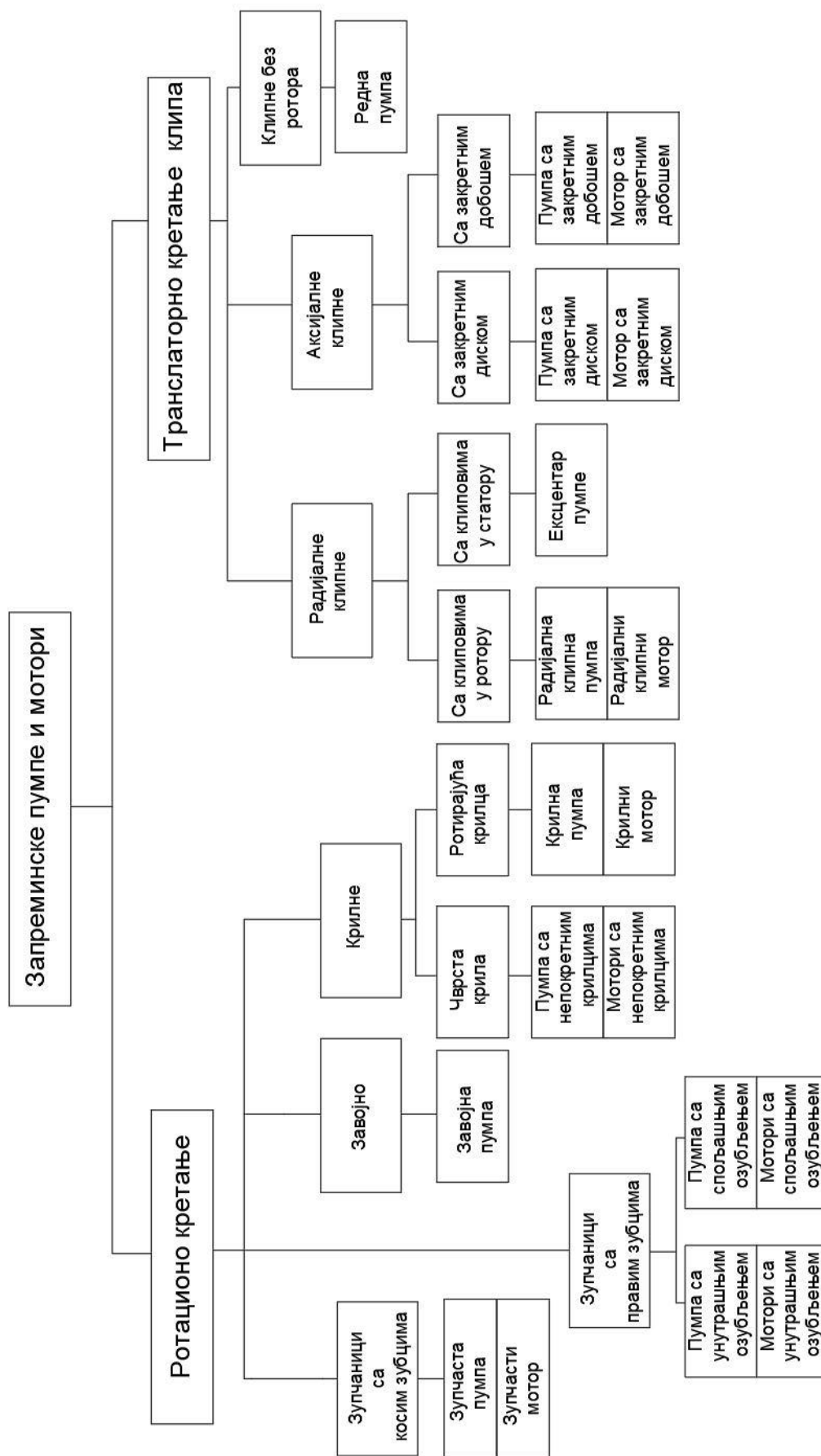
Постоји велики број варијанти извођења радних елемената код ових запреминских хидрауличних машина и тешко је побројати сва решења која се могу наћи на тржишту. На слици 5, дата су нека од конструкцијских извођења запреминских пумпи [6].

На слици 6 дата је шира подела запреминских пумпи и мотора. По конструктивним решењима у хидростатичким преносницима сусрећу се шест врста хидрауличних пумпи: [4]

- Зупчасте пумпе,
- Крилне пумпе,
- Клипно-радијалне,
- Клипно-аксијалне,
- Пумпе са ексцентром,
- Завојне пумпе.



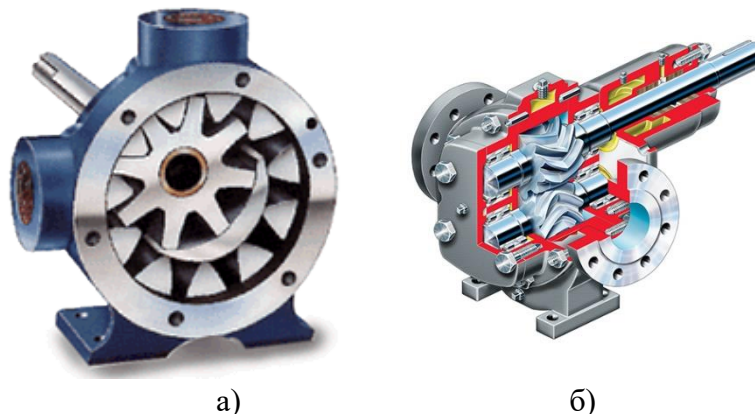
Слика 5: Примери најчешће коришћених запреминских хидрауличних машина (пумпе и обртни хидромотори) – а) зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем, б) зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем, с) героторксна пумпа (са зупчастим прстеном), д) завојне, е) радијалне клипне, ф) Аксијалне клипне са косом плочом, г) аксијалне клипне са косим цилиндарским блоком, х) крилне са крилцима у ротору једноструког дејства, и) крилне са крилцима у ротору двоструког дејства [6]



Слика 6: Класификација запреминских пумпи [2]

3. Зупчасте пумпе

Зупчасте пумпе су роторске обртне пумпе чији су елементи за потискивање течности зупци зупчаника. Оне спадају у групу запреминских пумпи, код којих су радни елементи за потискивање течности зуби зупчаника. Запремина течности која се потискује је ограничена бројем и величином међузубља зупчаника и бројем обртаја зупчаника у јединици времена. [2]



Слика 7: Примери зупчастих пумпи: а) Пресек зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем [7]; б) Пресек зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем [8]

3.1 Подела и област примене зупчастих пумпи

Зупчасте пумпе израђују се са спољашњим и унутрашњим зупцима. Највише су у употреби пумпе првог типа, које се састоје од пара међусобно спрегнутих зупчаника, постављених у тело које им обезбеђује константну везу и у коме постоје канали на местима уласка и изласка зубаца из захвата. Ове пумпе најраспрострањеније су од свих врсти запреминских пумпи и одликују се поузданошћу у експлоатацији, малим габаритима и тежином, дуговечношћу, компактношћу, високим бројем обртаја и другим позитивним особинама.

Максималан притисак који развијају ове пумпе обично износи 100 bar, а ређе (у авионским хидрауличним системима) притисак износи 150-200 bar. При овом притиску проток течности достиже 400-500 l/min. Производе се и пумпе овога типа, које се употребљавају за пумпање течности при ниском притиску, за протоке до 5000 l/min.

Зупчасте пумпе дозвољавају релативно високе бројеве обртаја, а такође допуштају и краткотрајно преоптерећење по притиску, чија је величина и дужина трајања углавном одређена димензијама лежишта. Код неких конструкција мањих пумпи дозвољени су и виши бројеви обртаја [10].

Зупчасте пумпе нису нарочито осетљиве на запрљану радну течност, имају добре експлоатационе карактеристике и захтевају минимално одржавање [11].

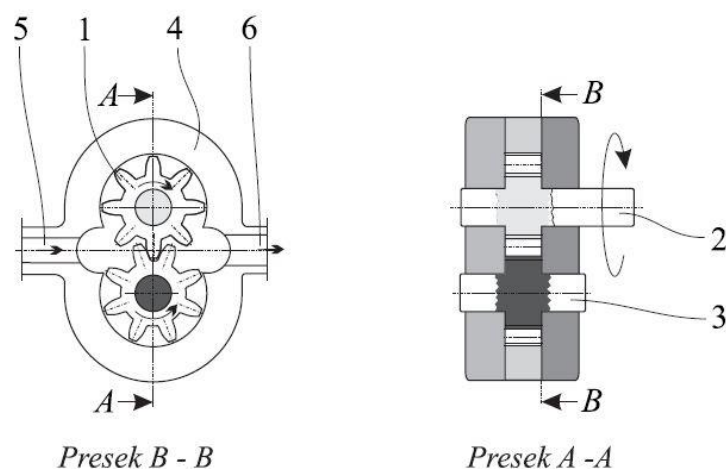
Зупчасте пумпе нашле су веома широку примену у скоро свим гранама индустрије, због многобројних карактеристика које поседују. Највећу примену зупчасте пумпе су стекле за црпљење разних вискозних течности као што су нафта, разне врсте уља, па се сходно томе употребљавају као пумпе за доток уља код СУС мотора, такође имају и велику примену у хемијској, прехранбеној, грађевинској као и у осталим гранама индустрије.

Хидраулички мотори раде на истом принципу само претварају хидрауличку енергију у механички рад.

3.2 Зупчасте пумпе/мотори са спољашњим озубљењем

У многим апликацијама, за услове рада са притисцима до 250 бара, зупчасте пумпе/мотори користе се због своје једноставности, ниске цене, добрих уписних перформанси, мале осетљивости и релативно мале тежине. У апликацијама које захтевају ниску буку често се користе лопатичне или пумпе са унутрашњим озубљењем [9].

Зупчасте пумпе/мотори спадају у обртне запреминске машине, а шема њиховог рада приказана на слици 8.

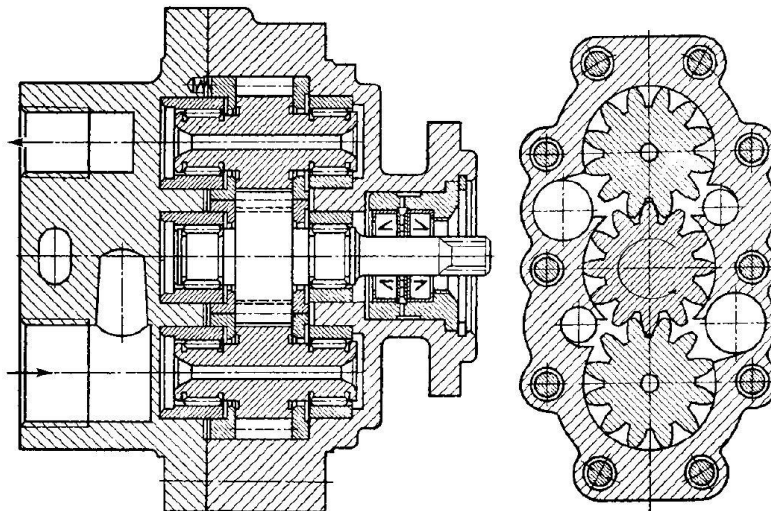


Слика 8: Зупчаста пумпа са спољашњим озубљењем [13]

1-Зупчаник, 2-Погонско вратило, 3-Осовина, 4-Кућиште, 5-Усисно грло, 6-Потисно грло

Приликом обртања погонског зупчаника (1) на погонском вратилу (2) доводи се и у погон гоњени зупчаник (на осовини 3). Врло чест је случај да су погонски и гоњени зупчаник истих димензија, а у пракси се могу наћи и конструкцијска извођења где су зупчаници различитих димензија. Зупчаници у својим међузубљима (коморама, тј. празан простор између кућишта и зупчаника) преносе радну течност из усисног до потисног радног простора пумпе. Услед смањења количине радне течности у усисном делу радног простора пумпе појављује се потпритисак, а у његовом потисном делу због повећања количине радног флуида ствара се надпритисак. Стварање потпритиска у усисном делу изазива усисавање радне течности у радни простор пумпе и даље се транспортује ка потисној страни међузубљем, уз постепено повећање притиска течности [12].

Зупчасте пумпе са три зупчаника (слика 9) се ређе израђују у односу на пумпе са два зупчаника. Од три зупчаника, један зупчаника је погонски (средњи), а друга два су гоњена. Ова пумпа поседује две усисне и две потисне стране, које је могуће међусобно повезати, али могу и да остану одвојене.



Слика 9: Зупчаста пумпа са три зупчаника [12]

Сваки уређај поседује своје предности и мане тако и ова врста пумпи. Једни од основних недостатака пумпи са спољашњим озубљењем су:

- Релативно ниски радни притисци,
- Немогућност запреминске регулације протока,
- Висок степен неравномерности протока,
- Нагли пад степена корисности при порасту температуре радне течности и
- Релативно јак шум код високих притисак и великог броја обртаја.

Неки од ових недостатака могу да се умање са различитим конструктивним решењима. Смањење шума се може постићи коришћењем зупчаника са косим зупцима (слика 76). Приликом конструкције зупчасте пумпе са косим зупцима мора се водити рачуна о дејству аксијалних сила које се јављају и које могу додатно да оптерете конструкцију. Најбоље решење за ублажавање шума је потапање пумпе у радну течност, тј. уградња пумпе у резервоар [12].

Коришћењем више различитих метода може се одредити теоријски капацитет ових пумпи. Код упрошћене методе, за прорачун капацитета пумпи са једнаким зупчаницама, полази се од претпоставке да су запремине зубаца и међузубља једнаке, те да је висина зупца једнака са $2 \cdot m$. У вези са тим специфичан проток по обртају је једнак:

$$q = 2 \cdot \pi \cdot m \cdot D \cdot b$$

где су:

- m [m] – модул зупчаника,
- D [m] – пречник подеоног круга зупчаника,
- b [m] – ширина зупчаника

Теоријски проток зупчасте пумпе добије се множењем специфичног протока са бројем обртаја коефицијентом поправке K_p који се уводи у једначину уместо вредности π [12].

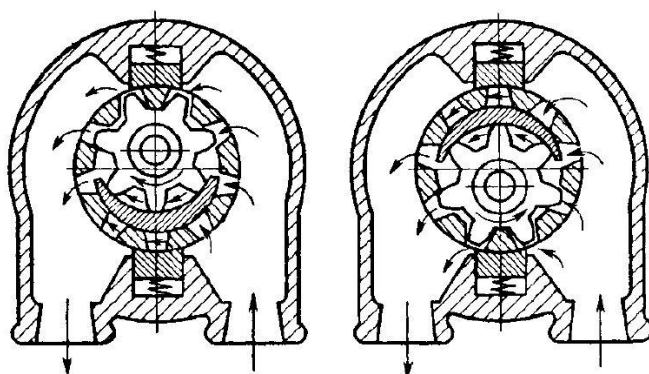
$$Q_t = q \cdot n = 2 \cdot K_p \cdot m \cdot D \cdot b \cdot n$$

Коефицијент K_p одређује се емпиријски. Код пумпи са некоригованим бројем зубаца и бројем зубаца 6-12, $K_p=3,5$, а код пумпи са коригованим зупчаницама $K_p=4,7$ [6].

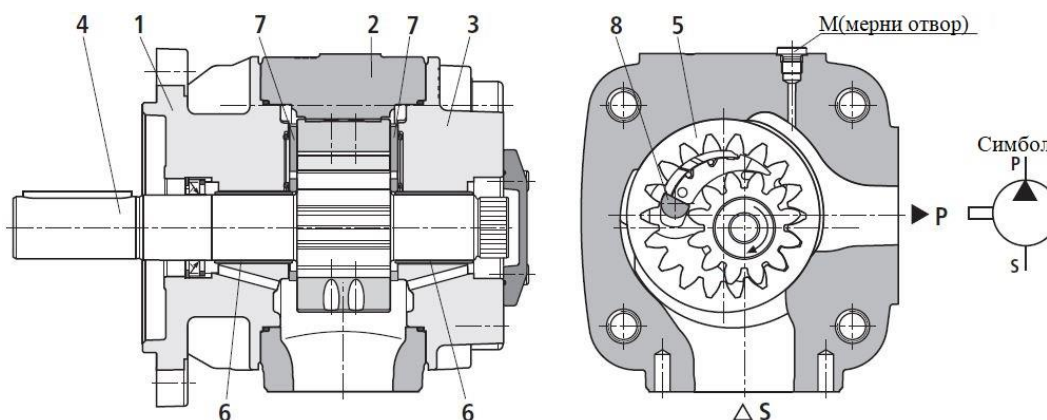
3.3 Зупчасте пумпе/мотори са унутрашњим озубљењем

Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем сложеније су за израду, али имају већи проток него пумпе са спољашњим озубљењем истих габарита и скоро су бешумне у раду, а и степен пулзације им је мали. Постоје зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем где је положај погонског вратила, тј. зупчаника симетричан у односу на тело пумпе (слика 10) [10].

Пумпе са унутрашњим озубљењем се најчешће пројектују за протоке до 100 литара по минути и за притиске до 300 бара (пумпе са растерећењем). Због нешто сложеније конструкције производња је знатно компликованија него зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем [2].



Слика 10: Пумпа са унутрашњим озубљењем, где је погонски зупчаник симетричан у односу на тело [10]

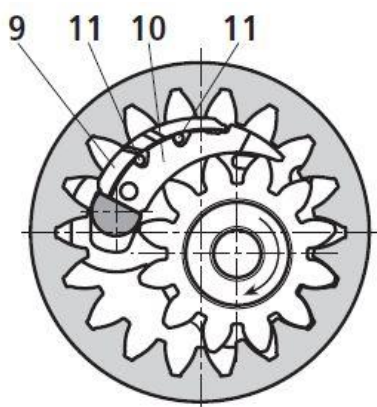


Слика 11: Зупчаста пумпа са унутрашњим озубљењем - PGH4-3X/032RE11VU2 [16]

На слици 11 дата је шема пумпе са унутрашњим озубљењем. Пумпа се састоји од кућишта (1, 2, 3), заптивача (6), зупчаника са спољашњим озубљењем који је погонски зупчаник, који се покреће преко вратила (4), а зупчаник са унутрашњим озубљењем (5) је гоњени зупчаник. Зупчаник са унутрашњим озубљењем налази се у статору пумпе. Приликом стартовања пумпе вратило преноси обртно кретање на погонски зупчаник,

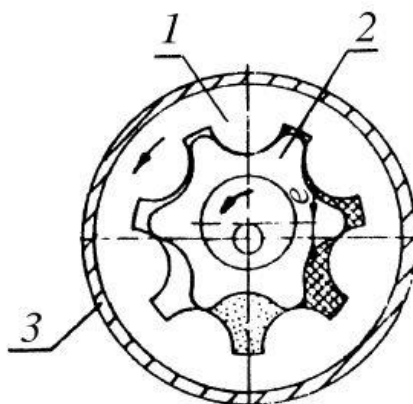
затим се обртно кретање преноси на гоњени, па се заједно ротирају. У зависности од пумпе, смер гоњеног зупчаника може да буде у смеру казаљке на сату или контра од смера казаљке на сату. Срп (8) је непокретан и он има улогу да раздваја усисну (S) од потисне коморе (P). Услед обртног кретања зуби зупчаника излазе из захвата, тако да међузубља (коморе) остају слободна, па се ствара вакум. Флуид испуњава међузубља оба зупчаника и транспортује се у потисну комору [2].

Радијални компензациони сегменти (срп) приказани су на слици 12. Они се састоје од српа (9), ослонца српа (10), и затезних ролни (11). Срп се поставља између зупчаника, његова улога је да раздваја усисни од потисног дела. Ово је предуслов за сталну високу запреминску ефикасност током читавог радног века пумпе. Подешавање зазора могуће је преко затезних ролни [16].



Слика 12: Шематски приказ српа у радном колу зупчате пумпе са унутрашњим озубљењем [16]

Из основне конструкције зупчате пумпе са унутрашњим озубљењем развијена је конструкција пумпе са зупчастим прстеном које су познате још као и Героторне пумпе, на слици 13 је приказана шема једне такве пумпе. Зупчасти прстен (1) са унутрашњим озубљењем поставља се слободно унутар кућишта пумпе. Он је пројектован тако да има један зубац више у односу на зупчасти сегмент (2) који се налази на ротору. За време ротације зупчастог сегмента повећава се слободан простор на усисној страни, а на потисној се овај простор смањује. Заједно са прстеном долази до померања радне течности (која испуњава међузубље) од усисне према потисној страни [12].



Слика 13: Пумпа са зупчастим прстеном – Героторска пумпа [12]

Зупчaste пумпе са унутрашњим озубљењем и пумпе са зупчастим прстеном због своје дуговечности и малих габарита имају велику примену у уљно-хидрауличним системима за управљање. У системима хидропреноса снаге ове пумпе се углавном користе као секундарне (помоћне) пумпе за напајање сервопуњача као и за стварање управљачког притиска.

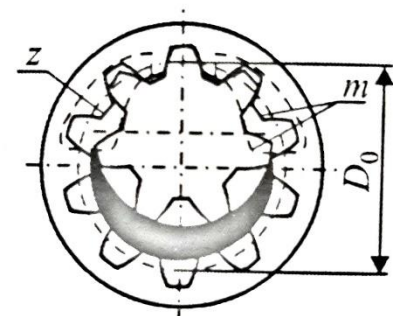
Зупчasti хидромотори се ређе користе од пумпи, јер имају релативно велике губитке код малих бројева обртаја. Примењују се као брзо ротирајући хидромотори, у подручјима где су обртају од 500 до 3500 обртаја у минути [12].

Величина специфичног запреминског протока q за зупчaste пумпе са унутрашњим озубљењем приближно се рачуна се по обрасцу: [6]

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

где су:

- m [m] – модул зупчаника,
- D_0 [m] – пречник подеоног круга зупчаника са унутрашњим озубљењем,
- b [m] – ширина зупчаника,
- z [m] – број зубаца зупчаника са унутрашњим озубљењем,



Слика 14: Зупчаста пумпа са унутрашњим озубљењем [6]

3.4 Губици снаге и оптерећења у зупчастим пумпама и хидрауличним моторима

Губици снаге у зупчастим пумпама или хидрауличним моторима настају као резултат услед механичких отпора и запреминских губитака услед истицања (цурења) течности из коморе високог ка комори ниског притиска. Ови губици утичу на вредност стварног капацитета пумпи [2].

Према начину настајања, запремински губици у хидрауличним машинама могу бити [2, 6, 12]:

1. Губици протока због цурења течности кроз зазоре из области вишег притиска у област нижег притиска. Ово се дешава тако што течност из области високог притиска одлази у простор ниског притиска због присутних зазора на чеоним (између зуба и кућишта) и бочним странама (између бокова зуба и страна кућишта). Код оштећених зуба који су услед хабања изгубили првобитни профил, као и ако је код пумпи извршена погрешна монтажа зупчаника или котрљаних лежајева. Истицање уља из зоне вишег у зону нижег притиска може да се смањи повећањем вискозности течности тј. уља, али мора се водити рачуна јер се оно може повећавати само до једне одређене величине.
2. Губици протока због непопуњености радне запремине, настају само код запреминских пумпи и практично су константни до одређеног броја вратила пумпе, а након тога крећу да расту. Код малих и средњих обимних брзина до 3 или 5 m/s, јављају се запремински губици који су искључиво настали као

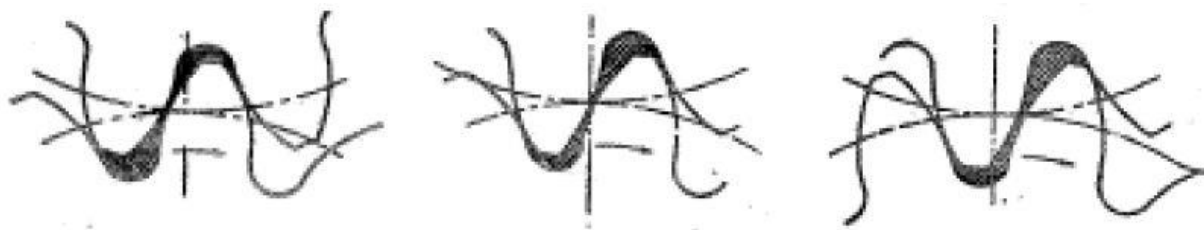
последица истицања радног флуида. Притисак течности који се налази у међузубљу може знатно да се смањи при већим обимним брзинама преко 6 m/s, али то може да проузрокује погоршање или потпуни прекид пуњења међузубља, а разлог овоме је прекид који настаје као последица издвајања ваздуха и паре у течности. Ови губици се називају волуметријско-кавитациони губици. Да би се повећала ефикасност пуњења међузубља и самим тим смањио и утицај волуметријско-кавитационих губитака, у усисној комори се уграђује пумпа за претпуњење или за подизање нивоа радне течности, па се може постићи да се може избећи или смањити утицај ових нежељених појава.

3. Губици протока због стишљивости течности, који се, за уобичајене радне притиске запреминских хидрауличних машина, са инжењерског становништва практично могу занемарити

Механички губици при раду пумпе проузроковани су трењем између непокретних и покретних чврстих површина као и услед појаве сувог трења између покретних делова пумпи. Могу бити губици у заптивачима и губици у лежајевима.

Заптивачи код пумпи намењени су за спречавање било каквог контакта између радног флуида и околине на местима где вратило излази из кућишта пумпе. Лоше функционисање заптивача може да избаци пумпу или хидраулични мотор из рада, а такође, може бити узрок разних нежељених ситуација [13].

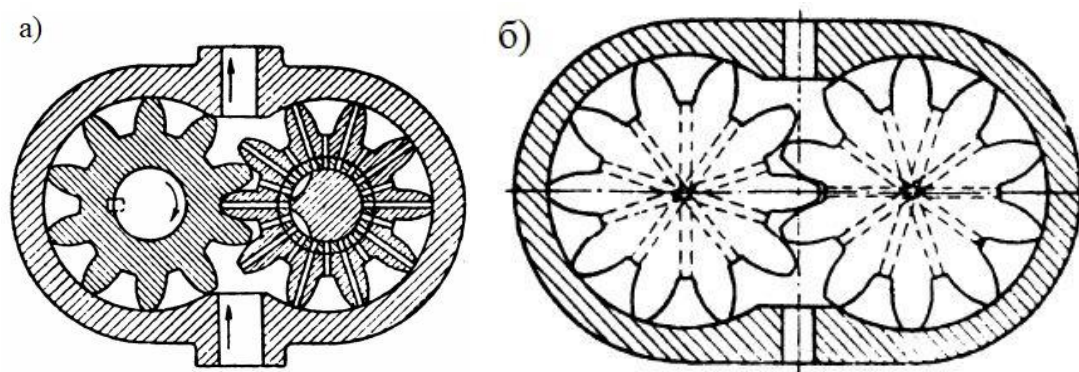
Најоптерећенији део код зупчасте пумпе су лежишта (котрљајна или клизна). Она су оптерећена деловањем радијалне силе притиска флуида на зупчанике и деловањем механичке силе, која је проузрокована реакцијом на обртни момент. Оптерећење лежајева се може повећати нарочито код пумпи високог притиска, када дође до захвата уља у међузубљу, на местима где зупчаници долазе на захват (слика 15). Врх зубаца врши притисак на задржану количину флуида у подножју међузубља, стварајући у уљу притисак пропорционалан интензитету силе оптерећења и величине површине које делују на притисак. Сила притиска се преноси на лежајеве, а долази и до наизменично-променљивих оптерећења зупчаника, вратила и лежајева [2].



Слика 15: Шема транспорта уља преко међузубља [2]

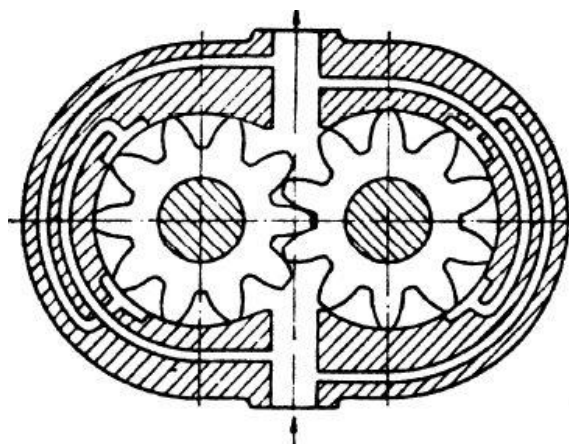
На слици 16а приказано је растерећење пумпе кроз избушене канале радијално од међузубља и кроз зупце, према оси вратила на гоњеном зупчанику, а на слици 16б дата је шема растерећења каналима који су избушени од међузубља на гоњеном и погонском зупчанику према осама вратила [2].

На површину зупчаника дејствује притисак, па у зависности од величине површине на коју делује, ствара се сила притиска. Она је променљиве величине, по интензитету је најмања код усисне, а највећа код потисне коморе.



Слика 16: а) Растерећење зупчаника од сила притиска израдом радијалних отвора у међузубљу, б) Растерећење зупчаника помоћу радијалних отвора на зупчанику [2]

Да би се смањила величина силе притиска, јер та сила ограничава највећи радни притисак зупчaste пумпе, морају да се смање величина пречника и ширина зупчаника. Радни притисак зупчaste пумпе могуће је повећати, ако се конструктивним путем растерете лежајеви, а то се може учинити уколико се, као што је приказано на слици 17, споје каналом комора високог и каналом коморе ниског притиска. Овако је могуће повећати радни притисак пумпе са 100 на 200 bar-а [2].



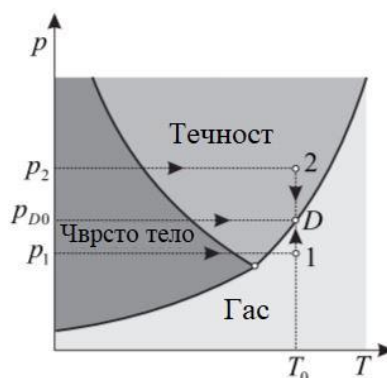
Слика 17: Растерећење зупчаника од сила притиска израдом отвора у кућишту [2]

3.5 Кавитација у пумпном постројењу

Једно од важних својства реалних флуида је да они могу да мењају своје агрегатно стање у зависности од услова у којима се налазе. Снижавањем температуре при константном притиску испод одговарајуће вредности (испод тачке мржњења) флуид прелази у чврсто стање, а са повећањем његове температуре изнад одговарајуће вредности (тачка кључања) флуид прелази у гасовиту фазу. Тачка мржњења и тачка кључања сваког реалног флуида функције су температуре и притиска. Зна се да сваки флуид за сваку вредност притиска, одговара једна вредност температуре мржњења или кључања (слика 18) [13].

Утицај кавитације на рад пумпе зависи од њеног стадијума. У зависности од размере и нивоа, кавитација се може поделити у три основна стадијума.

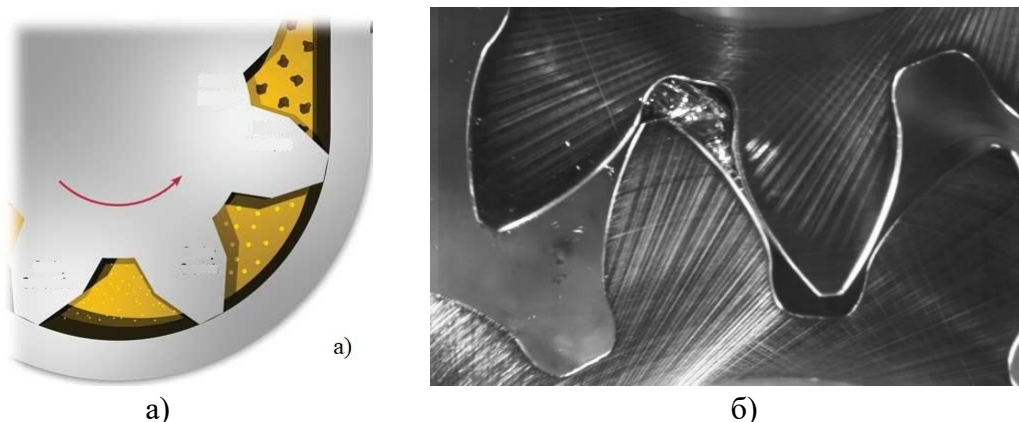
- Почетна кавитација – она се карактерише са малом висином шума, са постојањем мале количине кавитацијских мехурова, карактеристике пумпе при овом стадијуму се не мењају,
- Делимично развијена кавитација - карактерише се постојањем стационарне кавитацијске зоне одређених размера, значајно се појачава шум и јављају се вибрације код пумпе,
- Потпуно развијена кавитација – долази до прекида нормалног рада пумпе, долази до појаве оштећења на деловима пумпе, значајно долази до повећања вибрација и не може се управљати радом пумпе [13].



Слика 18: Графичка интерпретација настанка кавитације [13]

Уколико пумпа ради у режиму са великим оптерећењима, које карактерише релативно велик пораст притисак радне течности у пумпи, због велике разлике притисака на излазу и улазу пумпе, могуће је блокирање радне течности у међузубљима зупчаника. То доводи до повећања температуре, блокирања течности, додатно динамичко оптерећење зубаца, вратила и лежачева што може да доведе разарања радних површина тих елемената услед замора материјала. Поред тога, из блокиране течности по изласку у улазну комору у простор нижег притиска, издвајају се гасови и паре, тј. течност кавитира [12].

На слици 19а је приказан процес кавитације који се одвија у зупчастој пумпи који приказује како се шупљине стварају, расту и колабирају у компонентама флуидног типа.



Слика 19: а) стварање шупљина услед дејства кавитације [14], б) Појава кавитационог мехурића између зубаца зупчасте пумпе [15]

4. Радни параметри пумпи и обртних хидромотора

4.1 Параметри хидрауличне снаге код пумпи и обртних хидромотора

Напор код запреминских хидрауличних машина, тј. код пумпи је представљен као повећање, а код обртних хидромотора представља смањење енергије струјања радне течности, тј. практично је једнак разлици на излазу и у улазу у пумпу Δp_p [Pa], тј. на улазу и излазу из хидромотора Δp_m [Pa], па се за хидрауличну снагу пумпе P_{hp} [W] може написати израз: [6]

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

где је: Q_p [m³/s] – запремински проток пумпе на излазу,

а за хидрауличну снагу хидромотора P_{hm} [W]:

$$P_{hm} = Q_m \cdot \Delta p_m$$

Где је: Q_m [m³/s] – запремински проток на улазу у обртни хидромотор

Пораст притиска који ствара запреминска пумпа у хидрауличном систему зависи и од спољашњег оптерећења хидромотора и отпора насталих у хидрауличном систему услед трења радног флуида. Код обртних хидромотора, спољашње оптерећење изражено је преко обртног момента на вратилу хидромотора и зависи од разлике притиска на улазу и излазу из хидромотора. Радна течност пумпи доводи се из резервоара, а из хидромотора шаље у резервоар, где је притисак најчешће атмосферски, па се често при анализи биланса снаге запреминских машина, притисак на улазу на пумпу, тј. притисак на излазу из обртног хидромотора, занемарује као много мањи од притиска на излазу из пумпе p_p [Pa], односно на улазу у хидраулични мотор је p_m [Pa]: [6]

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

односно за хидромоторе имамо да је:

$$P_{hp} = Q_m \cdot p_m$$

4.2 Запремински проток код пумпи и обртних хидромотора

Запремински проток пумпе представља запреминску количину радног флуида (течности) која у јединици времена излази из пумпе, а запремински проток обртног хидромотора представља запреминску количину радне течности која у јединици времена улази у обртни хидромотор [6].

Теоријски проток пумпе представља укупну промену запремине радних комора у јединици времена, при чему се под радном запремином пумпе подразумева укупна промена запремина радних комора при једном обртају вратила [5].

Радна комора пумпе или хидромотора представља изоловани простор који образују делови пумпи, чија се запремина периодично повећава и смањује при раду пумпе, и која је наизменично у вези са усисним и потисним водом [5]. Теоријски проток пумпе или обртног хидромотора, математички се дефинише као производ специфичног протока пумпе q_p [m³/o]³ код обртног хидромотора q_m [m³/o] и угаоне брзине вратила пумпе ω_p [o/s], а код обртног хидромотора је ω_m [o/s] [6].

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

односно за хидромоторе имамо да је:

$$Q_{tm} = q_m \cdot \omega_m$$

При чему се под специфичним протоком запреминске машине q [m³/o] за пумпе q_p , а обртне хидромоторе q_m . Величина специфичног протока q зависи од врсте хидрауличне машине. У одељку 3.2 (пумпе са спољашњим озубљењем) и одељку 3.3 (пумпе са унутрашњим озубљењем) дати су изрази преко којих се специфични проток може приближно израчунати. [6]

Стварни проток запреминске машине разликује се од теоријског протока, због постојања запреминских губитака ΔQ [m³/s] – који се код пумпи означава са ΔQ_p а код обртних хидромотора ΔQ_m . Стварни проток је пумпе увек мањи од њеног теоријског протока: [6]

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

Стварни проток код обртних хидромотора, увек је већи од његовог теоријског протока

$$Q_m = Q_{tm} - \Delta Q_m$$

Код запреминских машина губици се означавају запреминским степеном корисности η_v [-], тј. код пумпи η_{vp} , а код хидромотора η_{vm} . [6]

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

4.3 Параметри механичке снаге пумпи и обртних хидромотора

Механичка снага пумпе P_{mp} [w] представља снагу која се на вратило од пумпе доводи са погонског агрегата у најчешћем случају електромотор или СУС мотор, а дефинише се изразом: [6]

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

док се код хидромотора механичка снага означава са P_{mm} [w] па је корисна снага на вратилу хидромотора:

$$P_{mm} = M_m \cdot \omega_m$$

где су:

M_p [N·m] – обртни односно торзиони момент на вратилу пумпе

M_m [N·m] – обртни односно торзиони момент на вратилу хидромотора

Обртни момент на вратилу пумпе је момент који је потребан за погон пумпе, а обртни момент код хидромотора је онај момент који се остварује на вратилу хидромотора. Теоријски обртни момент код запреминских хидрауличних машина је фиктивни момент којег ствара притисак радне течности у радном простору машине [6].

Обртни момент пумпе или хидромотора разликује се од теоријског обртног момента пумпе M_{tp} [N·m], код хидромотора M_{tm} [N·m], за износ губитака обртног момента у пумпи ΔM_p [N·m], а у хидромотору ΔM_m [N·m]. [6]

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

односно код хидромотора:

$$M_m = M_{tm} + \Delta M_m$$

Губитак обртног момента код хидрауличних машина изражава се механичким степеном корисности, при чему је механички степен корисности код пумпе η_{mp} [-], а код хидромотора η_{mm} [-] [6].

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

$$\eta_{vp} = \frac{M_m}{M_{tm}}$$

4.4 Укупан степен корисности код запреминских хидрауличних машина

Укупан степен корисности код хидрауличних машина представља однос снага на њеном излазу и улазу. Код запреминске пумпе укупан степен корисности се означава са η_p [-], а код обртних хидромотора са η_m [-] [6].

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

односно:

$$\eta_m = \frac{P_{mm}}{P_{hm}}$$

Укупан степен корисности пумпе је изражен преко механичког и хидрауличког степена корисности: [6]

За пумпе: $\eta_p = \eta_{mp} \cdot \eta_{vp}$

За хидромоторе: $\eta_m = \eta_{mm} \cdot \eta_{vm}$

4.5 Избор одговарајуће пумпе

На избор одговарајуће пумпе или обртног хидромотора може утицати доста фактора, почевши од основног, тј. да остварује одговарајућу снагу, брзину струјања течности, проток и слично, па све до цене или могућности сервирања. Неки од фактора који се гледају на правилан избор пумпе су: [5]

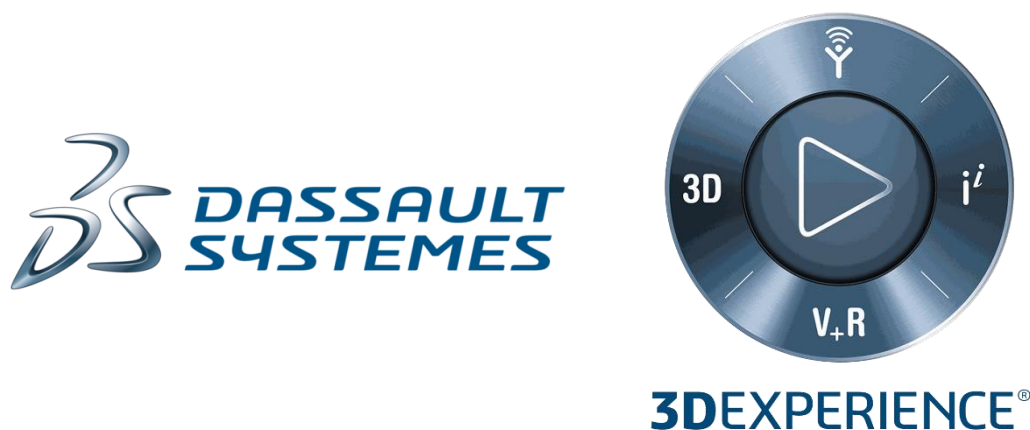
- Радни притисак, тј. опсег радног притиска,
- специфични проток,
- степен корисности пумпе,
- брзина, тежина, габарити,
- да ли постоји могућност регулације,
- радна течност машине,
- бука,
- цена,
- оддржавање;

5. 3DEXPERIENCE

5.1 Увод у 3DEXPERIENCE

Dassault Systemes описује 3DEXPERIENCE као „Платформу за пословно искуство” чији се подаци складиште на јавном или приватној серверској инфраструктури [17]. Ово значи да 3DEXPERIENCE платформа интегрише сва софтверска решења компаније *Dassault Systemes – Catia, SolidWorks, Enovia, Simulia, Delmia, 3DVIA, 3DEXCITE, Dymola, Exalead, Netvibes, Icem*, у заједничку платформу и на тај начин значајно олакшава сарадњу између конструктора и инжењера. Ова јединствена пословна платформа омогућава интеграцију свих процеса и података током целог животног циклуса производа, а доступна је у две верзије: на опреми код корисника (енг. *On Premise*) и на удаљеној серверској инфраструктури (енг. *On Cloud*).

У структури 3DEXPERIENCE платформе сви подаци о неком производу налазе се у централној бази података. Ова база података садржи физичке податке, логистичку структуру као и све информације о производу тј. 3D моделу. Овако централизована база података омогућава рад на неком другом рачунару без претходне обраде или копирања података са неког другог рачунара, што поједностављује процес управљања подацима и олакшава сарадњу као и размену информација између рачунара [18].



Слика 20: Логотип фирме *Dassault Systemes* (лево) [19], логотип *3DEXPERIENCE* платформе (десно) [20]

Већина инжењерских алата ради на принципу система са датотекама (*file-based system*) који захтева од корисника да у својој локалној станици (рачунару) има податке како би се они могли прегледати или модификовати. Када су у питању велики склопови, преузимање датотека може да потраје, а често се дешава да је преузета датотека застарела, односно да је у међувремену модификована од стране неког другог корисника уколико више корисника заједно учествује у креирању. 3DEXPERIENCE омогућава рад без датотека и омогућава прелазак на систем са чувањем података на удаљеном серверу, што омогућава бржи приступ сложеним моделима [18].

3DEXPERIENCE платформа дизајнирана је за сарадњу. Неколико корисника (један или више) може истовремена да приступи и управља подацима који су им потребни. Корисник може да провери како се део уклапа у склоп, ако произвођач (делови који се

налазе у библиотеци делова) у међувремену промени димензије дела, корисник ће добити обавештење о преклапању. Корисник је у могућности да промени димензије да би се прилагодио новим димензијама дела или да пошаље произвођачу проблем који се јавља услед промена димензије дела. 3DEXPERIENCE садржи апликације за управљање пројектима које корисници могу да користе за праћење напретка пројекта. Корисници у реалном времену могу да виде шта је потребно да се учини како би се завршили различити делови пројекта. Такође је могуће слати и примати поруке од других корисника који се налазе на пројекту [21].

Механизми заштите података су на веома високом нивоу и подаци су безбеднији него на већини сервера код којих је чување података базирано на серверској инфраструктури. Постоје три нивоа заштите података, који се примењују у складу са најновијим безбедносним стандардима. Dassault Systemes у сваком тренутку гарантује за безбедност података и омогућава кориснику да изврши „backup” и да их преузме у било ком тренутку [18].

Предности примене 3DEXPERIENCE платформе су:

- Планирање и управљање ресурсима на основу тренутних података из производње
- Увид у производне фазе у реалном времену и управљање пројектима и процесима унутар компаније,
- Краћи развојни и производни циклус и краће време до пласирања производа на тржиште,
- Смањење трошкова производње,
- Унапређена продуктивност (избегавање дуплирања података, тешког проналажење информација, ручног преноса података, нетачних и неажурираних делова)
- Унапређење тачности пројектовања и производње,
- Сигурност чувања података,
- Заштита интелектуалне својине компаније.

5.2 Апликације на 3DEXPERIENCE платформи

3DEXPERIENCE платформа нуди решења која су процесно оријентисана на поједину индустријску грану и води се у складу са индустријским стандардима. Платформа је прилагођена потребама и захтевима поједине индустријске гране, како би се могли оптимално интегрисати сви процеси и дисциплине, од саме идеје, преко пројектовања односно израде 3D модела до производње и испоруке производа [18].

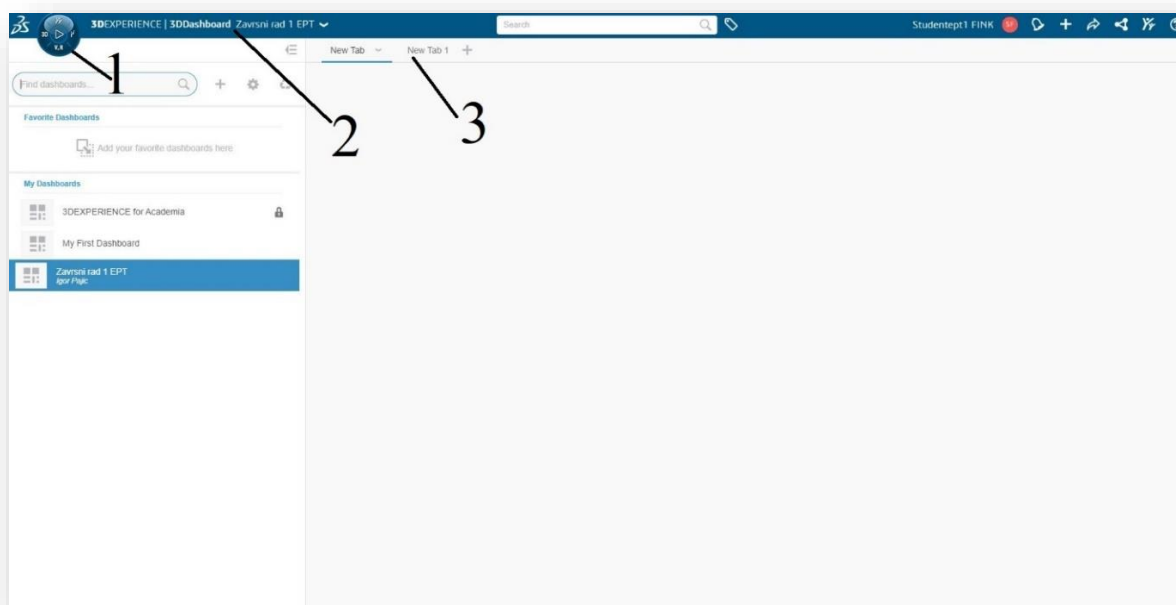


Слика 21: Програмска решења за различите индустрије [18]

5.2.1 Кориснички интерфејс

Унутар 3DEXPERIENCE платформе налази се *3DDashboard*, тј. контролна табла, која пружа кориснику моћан али уједно и лак приступ информацијама о пројектима, инжењерским апликацијама и осталим могућностима које нуди платформа. Типичан *3DDashboard* састоји се од неколико страница са картицама, а свака од картица се састоји од једног или више виџета. Виџет је у основи интерактивна апликација која се може користити за различите намене попут приказивања графика повезаних са пројектима, информацијама о пројекту, итд., што значи да сваки виџет може да доноси информације из различитих извора.

На слици 22 приказана је контролна табла која има више страница (број 3) које могу да испоручују информације од интерне платформе (продаја компаније, маркетинг, финансије) као и могућност додавања додатних страница за приказивање вести, као и могућност повезивање са апликацијама као што су „MySolidWorks” или „3DContentCentral” које могу помоћи дизајнерима у свакодневном раду.



Слика 22: Контролна табла [22]

Под бројем 1 означен је компас који омогућава кориснику лакши приступ свим Dassault Systemes апликацијама, укључујући апликације за 3D моделирање, симулације, социјалне и колаборативне апликације, апликације вештачке интелигенције као и апликације за претраживање и систематизацију података.



Слика 23: Компас (мени) за навођење кроз 3DEXPERIENCE платформу [18]

Под бројем 2 је приказана трака контролне табле која пружа непосредан приступ кључним информација и услугама унутар 3DEXPERIENCE платформе. Изглед горње траке мења се у складу са ширином прозора, тј. на мањим екранима се оквир за претрагу (а) и менији свде на иконицу

У табели 1 приказане су команде контролне табле и њихове функције. Помоћу ових команди корисник се може кретати унутар 3DEXPERIENCE платформе.

Табела 1: Ставке контролне табле

Апликација	Име	Опис
	Мени контролне табле	Омогућава приступ и управљање контролне плоче и прозорима
	Претрага	Омогућава претраживање преко 3DEXPERIENCE платформе или унутар тренутне картице Резултати претраге се могу отклонити помоћу 6W Tags
	6WTags	Налази се поред претраге и омогућава кориснику да сними семантику на било којем садржају.
	Име корисника	Омогућава кориснику да приступи основним информацијама на профилу. Кад се кликне на иконицу отвара се нови прозор који садржи: My Roles: Означава које су улоге додељене кориснику My Profile: Приказује податке о 3Dpassport-у и податке о 3Dswym уколико корисник има приступ. Такође ту се приказује детаљни опис корисника, укључујући активности корисника Preferences: Приказује листу доступних језика које корисник може лако одабрати Sign Out: Затвара 3DEXPERIENCE платформу
	Обавештења	Отвара се 3DNotification Center у десном ћошку контролне табле како би се приказала обавештења.
	Додај	Омогућава креирање и организацију надзорне табле
	Дељење	Омогућава дељење картица или надзорне табле са другим корисницима.

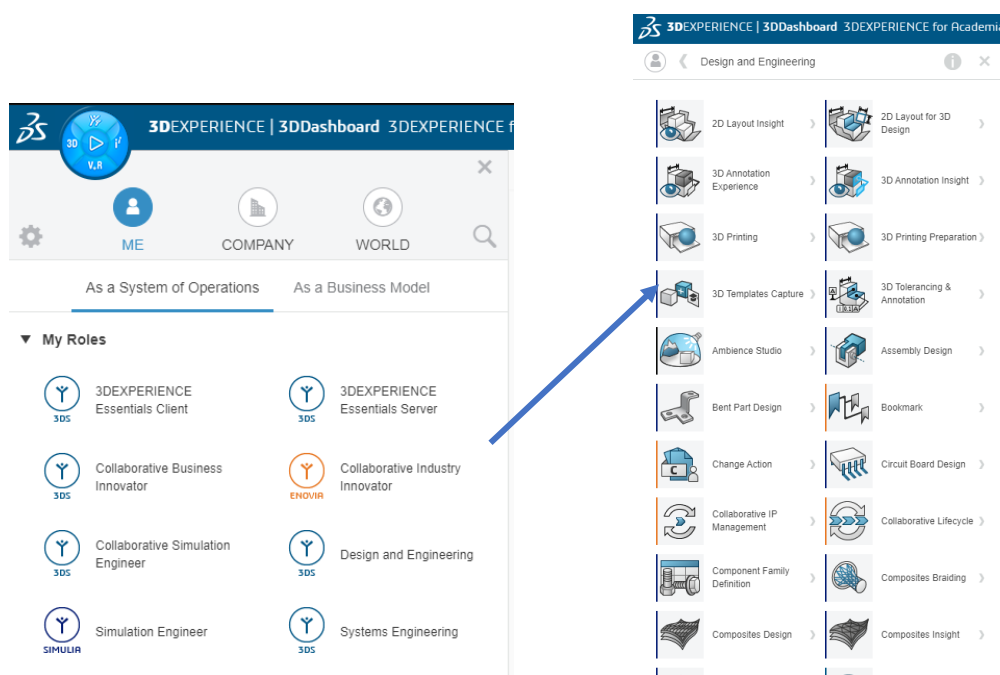
Табела 1: наставак

	Садржај	Отвара 3Ddrive на десном делу контролне табле како би корисник безбедно приступио, чувао, делио датотеке путем интернета са једног уређаја на остале.
	Помоћ	Омогућава кориснику приступ следећем: Get Started: Водич, тј. концептуални прозор који је дизајниран да пружи основни преглед платформе. User's Communities: Отвара заједницу где се могу пронаћи форуми на којима дају одговоре други корисници. About 3DEXPERIENCE Platform displays: Корисник добија увид о политици приватности и осталим информацијама у вези платформе 3DEXPERIENCE User Assistance: Омогућава кориснику да приступи мрежној помоћи где су кориснику на располагању упутства о употреби платформе.

5.2.2 Улоге и апликације

Улоге (Roles) су независне јединице које се могу наручити и састоје се од групе апликација. Када је кориснику додељена улога, он може да обавља скуп активности које су део пословних процеса у склопу одређене улоге. На пример, ако корисник има улогу менаџера производа, он је у могућности да дефинише захтеве као и покретање развоја везаних за дати производ. Апликације засноване на улогама обликоване су тако да покривају широк спектар инжењерских активности специфичних за различите индустрије. Корисници платформе могу директно приступити улогама и одговарајућим апликацијама помоћу компаса (слика 24).

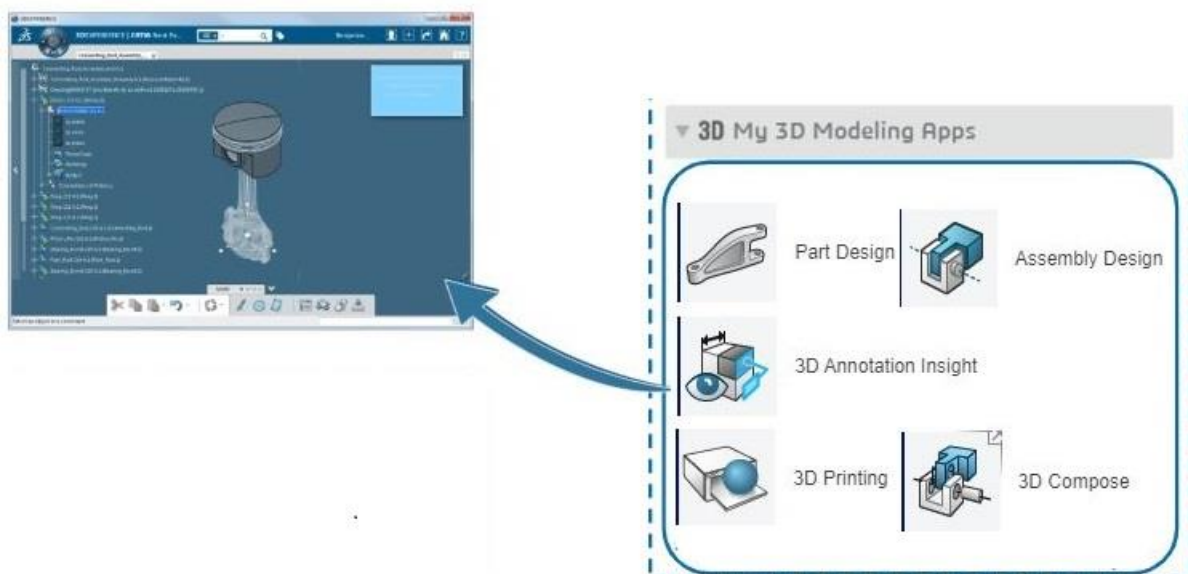
Апликације су скуп функција које имају најмање једну улогу. На пример кликом на *ME* → *As a System of Operations* у компасу и одабиром улоге *Design and Engineering*, у менију се могу видети апликације које одговарају датој улози.



Слика 24: Приступ улогама и апликацијама преко компаса [23]

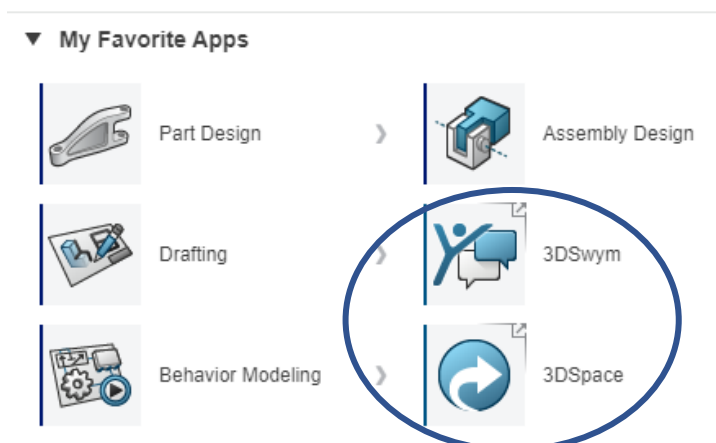
Врсте апликација које се налазе унутар 3DEXPERIENCE платформе су:

1. Нативне апликације (*NativeApps*) су апликације које се могу отворити са радне површине, тј. нативне апликације се покрећу са локалног рачунара и захтевају од корисника да софтвер има инсталиран на локалном рачунару. Ове апликације се отварају у клијенту, а не у контролној табли као остале апликације, у ове апликације спадају алати за израду 3D модела.
 - На пример апликације као што су, *Bent Part Design*, *Drafting* и *Mechanical System Design* (слика 25) су нативне апликације које захтевају инсталације на локалном рачунару [23].



Слика 25: Приступ нативним апликацијама [23]

2. Веб апликације (*WebApps*), приликом одабира, отвара се нова картица у прегледачу и не захтевају никакву локалну инсталацију да би функционисале.
3. Виџет апликације (*AppWidgets*) су посебне веб апликације које се могу додати (превући или обрисати) на контролној табли или кликнути за приказ. Апликације ових виџета (слика 26) могу се препознати по малој стрелици која се налази горњем десном углу иконе апликације [23]. На пример, *3DSpace* и *3Dswym* спадају у ове виџете.



Слика 26: Виџет апликације [23]

Осим лиценцираних апликација, постоје и апликације које се могу користити без поседовања лиценце или улоге за њихово коришћење и неке од њих су:

Табела 2: Апликације на платформама које су доступне сваком кориснику

Апликација	Име	Опис
 3DSwym	3DSwym	Омогућава да се креирају заједнице које могу заједно да сарађују у неструктурираном окружењу
 3DSpace	3DSpace	Омогућава слање и складиштење података (слике, документа, 3D модели) на облаку
 3DPlay	3DPlay	Омогућава 3D преглед објеката или пуштање неки од 3D сценарија. Или визуализацију 2D садржаја
 3DDashboard	3DDashboard	Омогућава кориснику да управља пословним процесима и циљевима користећи једноставне и обједињене контролне табле.
 3DSearch	3DSearch	Омогућава кориснику прикупљање структурираних или неструктурираних информација у физичком окружењу као што је на пример Catia

5.3 Апликације за израду 3D модела

Апликације за 3D моделирање пружају снажне алате за колаборацију за креирање, усавршавање и рад са 3D дигиталним моделима и облицима различитих нивоа сложености. 3DEXPERIENCE омогућава рад са моделима који су креирани у другим CAD системима. Различити почетни формати могу се користити за стварање тачног и ажурног склопа унутар 3DEXPERIENCE платформе, пружајући могућности за ремоделирање без обзира што је почетни модел из другог CAD системима. Сарадња са CATIA V5 је двосмерна, што значи да се стабло модела у потпуности преноси, што конструктору значајно олакшава рад. Измене на моделима из других CAD система су могуће до одређене мере. 3DEXPERIENCE може да генерише различите формате као што су: CGR, STEP, IGES, JPEG и остали.

У апликације за израду 3D модела, укључени су различити приступи за израду прецизних 3D форми, као што су могућности директног моделирања, моделирање засновано на процедуралним спецификацијама и функционално моделирање. Поред тога, напредне технологије су такође доступне за припрему, поправак и оптимизацију геометрије и топологије површине за симулацију и производне процесе.

3DEXPERIENCE платформа поседује велики број апликација за креирање 3D форми. У табели 3 су приказане неке од апликација које поседује 3DEXPERIENCE платформа.

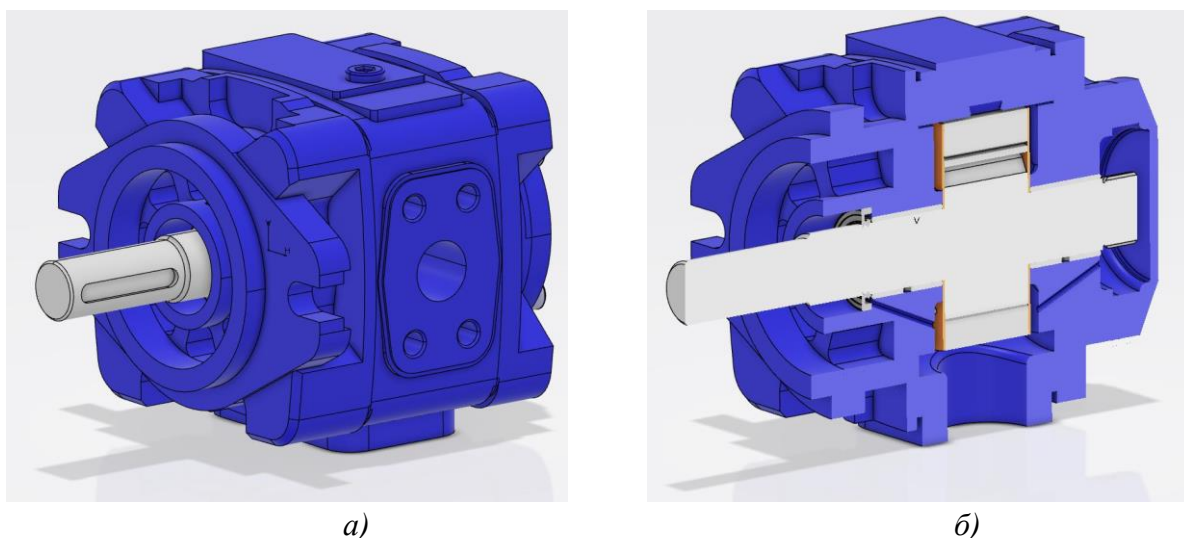
У наредном поглављу на конкретном примеру израде 3D модела, биће приказано како се приступа радном окружењу преко апликација из табеле 3 као и примена алата које те апликацију нуде у свом радном окружењу.

Табела 3: Основне апликације које се налазе у оквиру *Design nad Engineering*

Апликација	Име	Опис
 Drafting	<i>Drafting</i>	Пружа функције за генерисање радионичких цртежа из 3D делова и склопова
 Part Design	<i>Part Design</i>	Омогућава прецизно креирање 3D делова са интуитивним и флексибилним корисничким интерфејсом, од скицирања до интерактивног детаљног дизајна
 Assembly Design	<i>Assembly Design</i>	Омогућава дизајнирање склопова

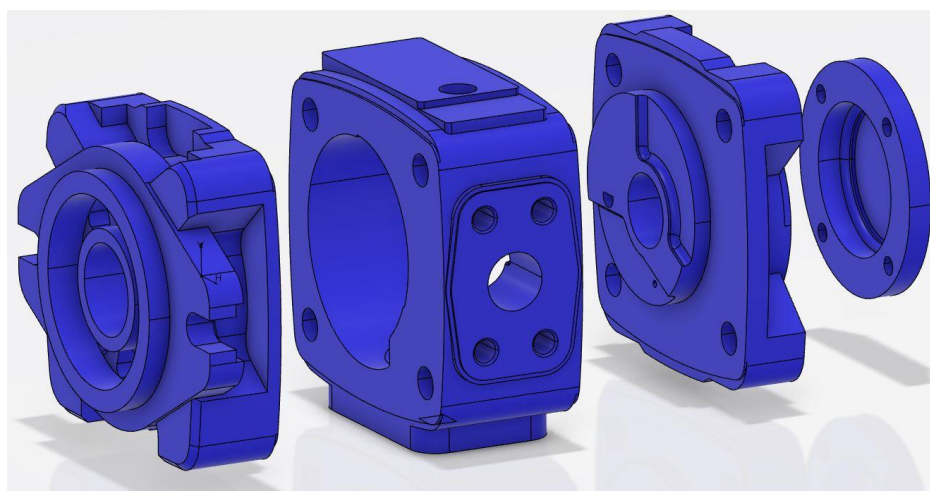
6. Израда 3D модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем

На следећим сликама приказани је 3D модел зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем, као и њени делови од којих је сачињен склоп.



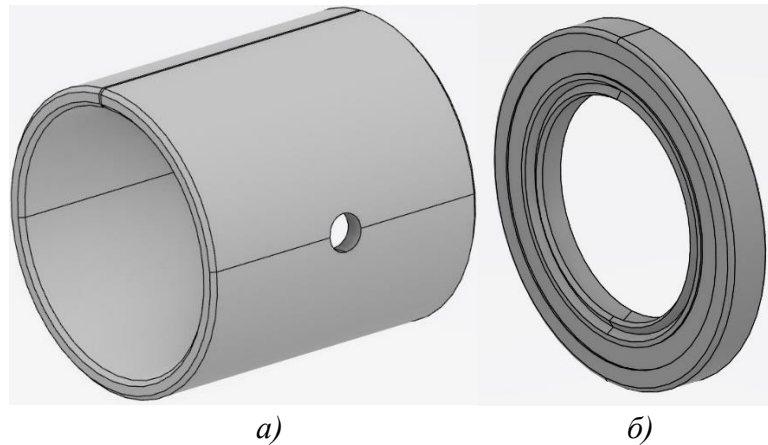
Слика 27: 3D модел зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем - PGH4-3X/032RE11VU2, а) -изометријски приказ пумпе; б) -пресек пумпе

Као што се на слици може видети зупчаста пумпа се састоји из кућишта (које је подељено на три дела) и поклопца (слика 28).



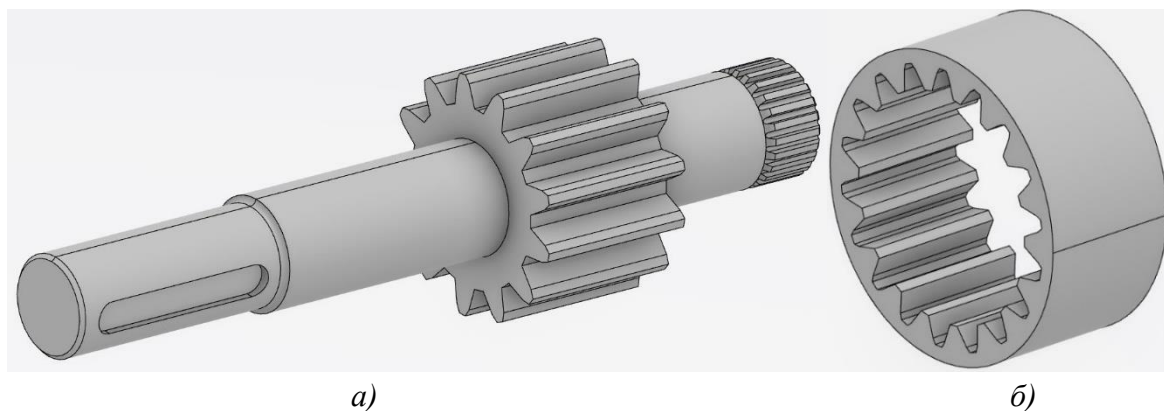
Слика 28: 3D модели кућишта пумпе и поклопца

Унутар кућишта налазе се радни елементи пумпе, који се састоје од два клизна лежаја (слика 29 а) који су смештени са обе стране вратила пумпе, заптивача на вратилу чији је задатак да спречи продирање течности (уља) преко погонског вратила пумпе у спољну околину (слика 29 б).



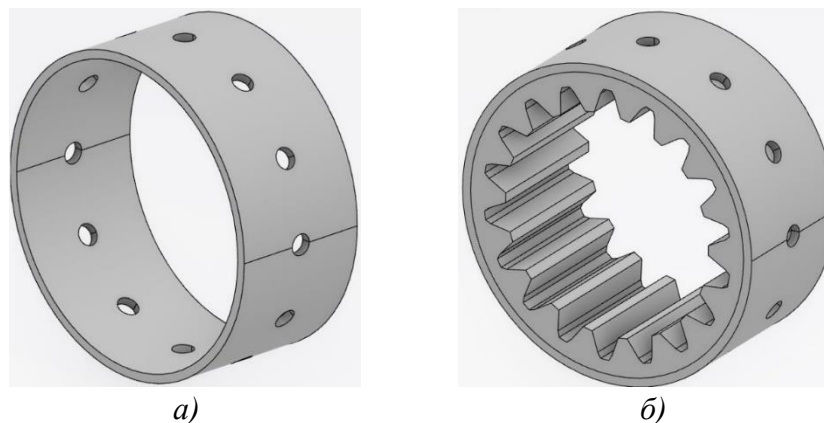
Слика 29: а) -3D модел клизног лежаја; б) -модел заптивача на вратилу

Унутар кућишта пумпе налази се још и зупчаника са спољашњим озубљењем који се израђује заједно са вратилом (слика 30 а), док је зупчаник са унутрашњим озубљењем (слика 30 б) гоњени зупчаник.



Слика 30: а) -3D модел погонског вратила; б) -3D модел гоњеног зупчаника

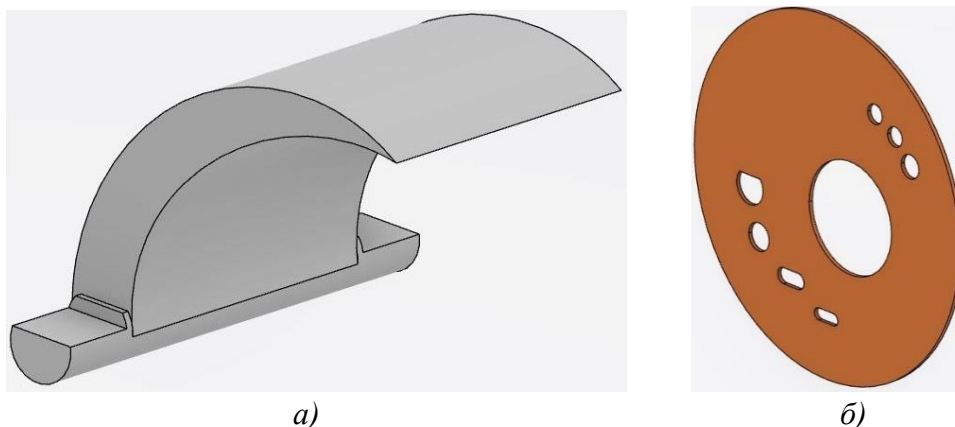
Зупчаник са унутрашњим озубљењем налази се у прстену за подмазивање (слика 31), прстен поседује отворе који приликом обртања захватају радну течност (уље). Уље се кроз отворе на прстену доводи на површину зупчанику.



Слика 31: а) -3D модел прстена за подмазивање;
б) -3D модел гоњеног зупчаника унутар подмазивајућег прстена

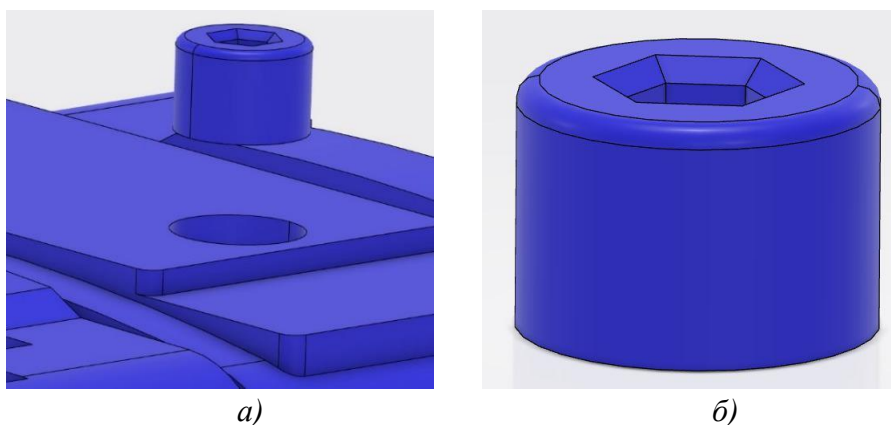
Пумпу погони електромотор снаге 1.1 kW, у зависности од радне течности, тј. врсте уља пумпа може да ради на бројевима обртаја од 200 до 3000 О/мин. Приликом стартовања пумпе вратило преноси обртно кретање на погонски зупчаник, затим се обртно кретање преноси на гоњени, па се заједно ротирају. У зависности од пумпе, од произвођача може да се тражи да смер гоњеног зупчаника буде у смеру казаљке на сату или супротно од смера казаљке на сату.

Радијално компензациони сегмент или срп (слика 32 а) је непокретан и он има улогу да раздваја усисну од потисне коморе, срп је смештен између зупчаника који се налазе између две аксијалне подлошке (слика 32 б), које имају са доње стране отворе са усис, а на врху отворе за потис радне течности. Флуид испуњава међузубља оба зупчаника и транспортује се у потисну комору.



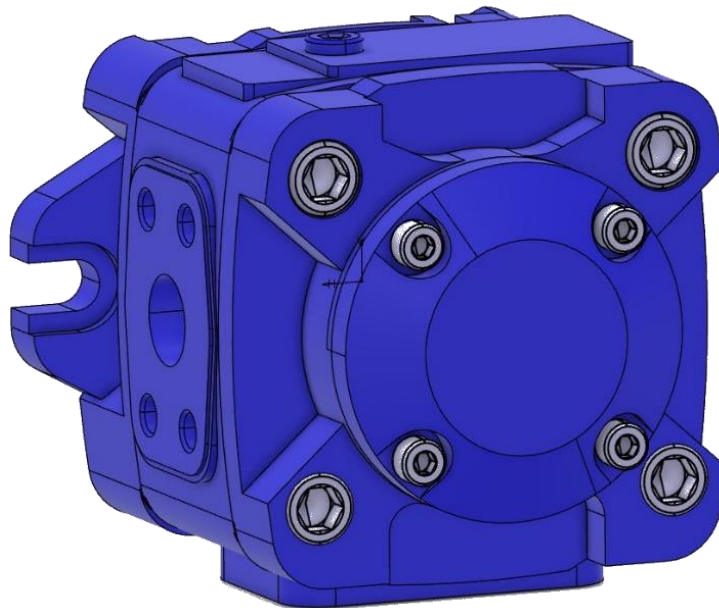
Слика 32: а) -3D модел српа; б) -3D модел аксијалне подлошке

На врху пумпе налази се отвор за манометар (слика 33 а). Када се манометар не налази на пумпи отвор се затвара са завртњем M16x11 mm (слика 34 б).



Слика 33: а) -Отвор за манометар; б) -3D модел завртња M16x11

Сва три кућишта спајају се преко 4 завртња M14x100 mm, док се поклопац спаја са кућиштем преко 4 завртња M8x35 mm, као што се може видети на слици испод.



Слика 34: Поглед пумпе са задње стране

6.1 Поступак моделирања компоненти

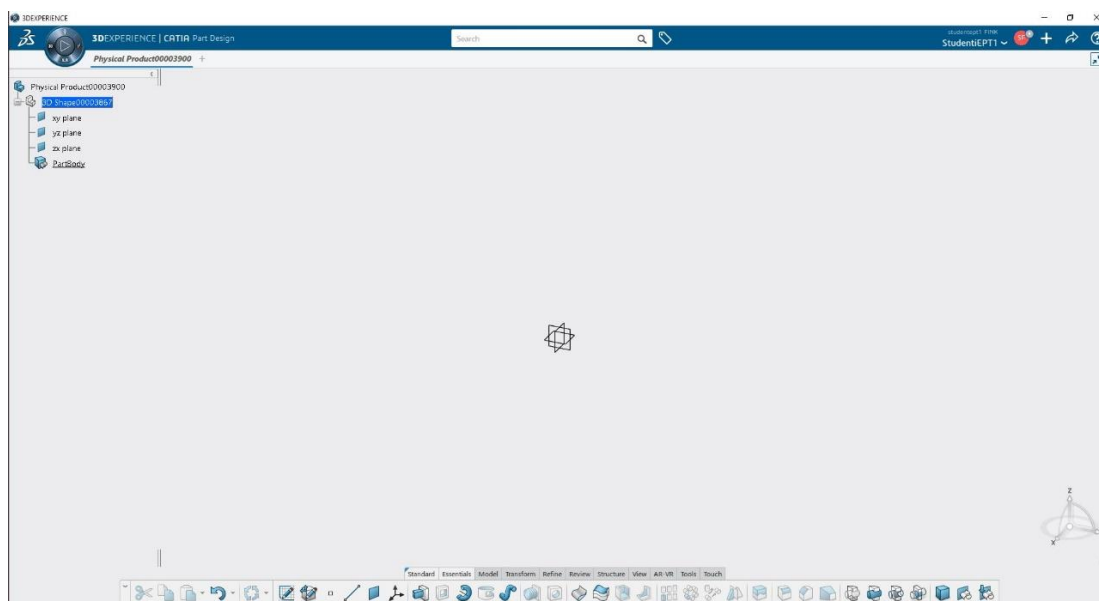
При изради 3D модела пумпе коришћене су следеће апликације 3DEXPERIENCE платформе:

- Part Design – за израду просторних 3D модела,
- Assembly Design – за склапање делова у један склоп.

Пре него што се почне са израдом 3D модела потребно је отворити локални клијент за израду 3D модела. Њему се приступа преко компаса, слика 35. Затим се изабере апликација под називом „Part Design”. Притиском на стрелицу поред имена отвара се радна површина за израду делова (слика 36).



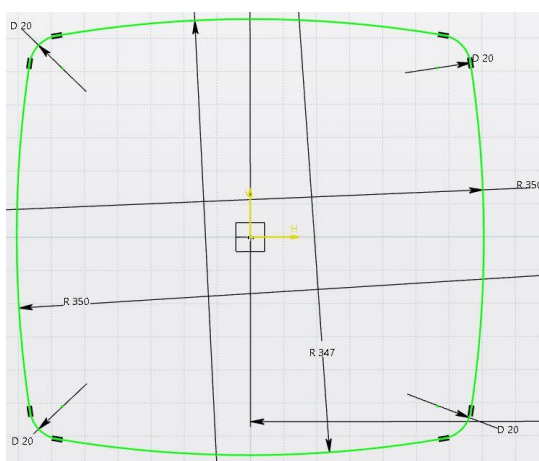
Слика 35: Покретање апликације „Part Design” [22]



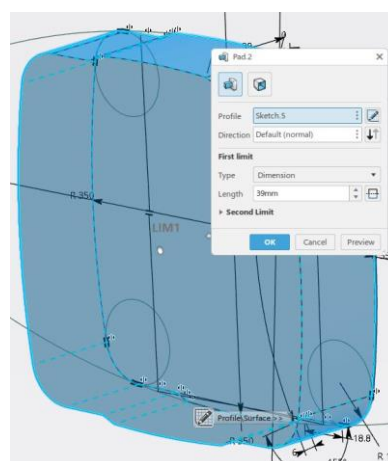
Слика 36: Радна површина

Први корак при моделирању компоненте (предњег кућишта) јесте избор референтне равни и израда иницијалне скице применом алатке „Positioned Sketch”. Када се активира команда, на радној површини се бира xy , yz , zx раван. Након бирања равни (у овом случају yz) отвара се 2D простор за израду скице. Скица се састоји од 4 главне линије (где свака представља део једне велике кружности), линије са страна (лева и десна) су сачињене од кружности радијуса 350 mm, са хоризонталним растојањем од 552 mm, док линије које се налазе са стране (горње и доње) сачињене су од кружности чији је радијус 347 mm, а чије је вертикално растојање 562.5 mm (растојања су од центра до центра кружности). Док се на угловима налазе закривљења чији су радијуси 10 mm што се може видети на слици 37а. Када је скица креирана, командом „Exit App” враћамо се у 3D радни простор. Затим је потребно да се преко команде „Pad” „извуче” трећа димензија. Део се екструдира на дужину од 1 mm.

Затим се на плочи за налегање креира идентична скица, само што се на овој скици разлику горња два круга чији је радијус сада 350 mm, а њихово вертикално растојање је онда 559 mm. Применом команде „Pad” део се екструдира на дужину од 39 mm (слика 37б).



а)

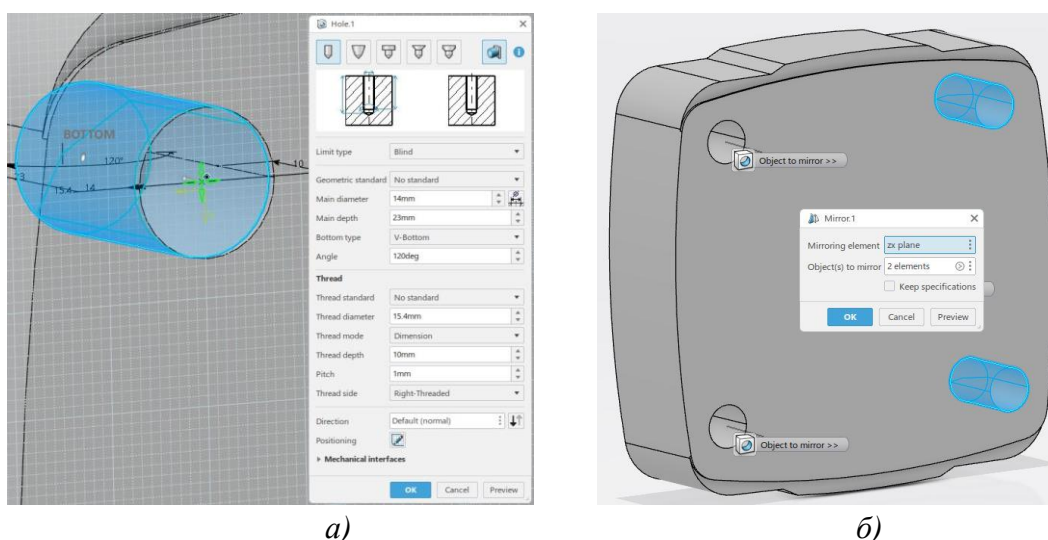


б)

Слика 37: а) -Скица плоче за налегање између кућишта; б) -Примена „Pad” команде

Након што је моделирано тело кућишта потребно је да се креирају отвори кроз које ће касније да пролазе завртњевци. Рупа или отвор се креира преко команде „Hole” , коришћењем команде „Hole” могуће је дефинисати навој. Навој се може дефинисати тако што се у прозору за дефинисање отвора/рупе налази команда „Add thread on current hole” , а могуће је и накнадно дефинисати навој коришћењем команде „Thread/Tap”  која се налази на дну радне површине са осталим алатима.

Помоћу команде „Mirror”  навој се пресликава на другу страну пумпе (слика 38 б). Команда „Mirror” може дизајнеру у раду знатно да олакша посао јер се не губи време на поновној изради појединих компоненти.



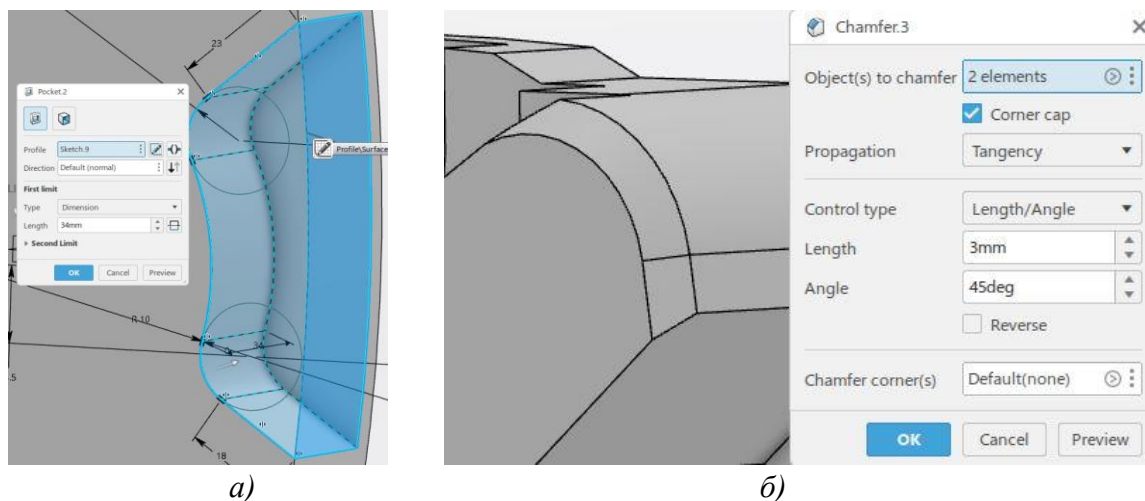
Слика 38: а) -Израда навоја; б) -Примена команде „Mirror”

Након израде тела кућишта потребно је одстранити део материјала како би се добио жељени облик кућишта пумпе. Уклањање материјала врши се помоћу команде „Pocket”  На слици 39 а), приказана је примена команде „Pocket”. Прво је потребно нацртати скицу материјала који желимо да уклонимо и након тога се дефинише дубина уклањања материјала (у овом случају 34 mm). Након тога потребно је оборити ивице пумпе. Обарање ивица врши се применом команде „Chamfer”  Прво је потребно изабрати ивицу коју треба оборити (слика 39 б), а затим се дефинише дужина оборене линије (у овом случају 3 mm) и угао обарања линије (у овом случају 45°).

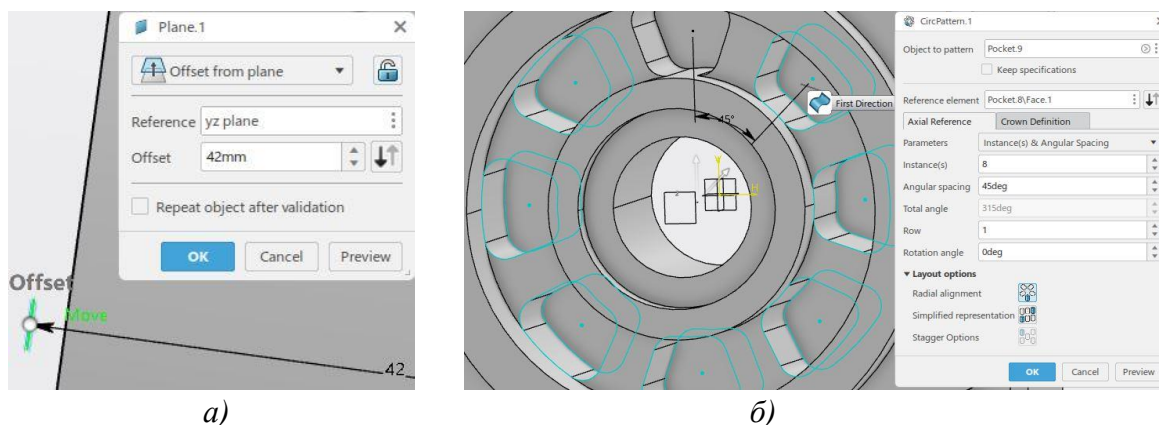
За израду прирубнице за причвршћивање отвора потребно је креирати нову референтну раван. Нова референтна раван се креира применом команде „Plane” , у овом случају креирана је паралелним померањем од равни yz за 42 mm (слика 40 а).

Након формирања кућишта применом команди „Pad” и „Pocket” добија се изглед приближан финалном производу. Потребно је сада израдити отворе за олакшање који служе да се смањи маса кућишта пумпе. На кућишту се израђује један отвор, затим се применом команде „Circular Pattern”  врши кружно копирање датог отвора (слика 41 б). Пре него што део може кружно да се копира потребно је селектовати отвор и одредити му смер у којем ће да се врши копирање (може да буде у смеру казаљке на сату или супротан). Смер се може променити кликом на белу стрелицу која се налази у центру кружнице по којој се врши копирање. Након тога потребно је дефинисати колико отвора

за олакшање треба да се налази на кућишту пумпе (у овом случају 8) и угао колико су удаљени центри отвора један од другог (у овом случају је 45°).

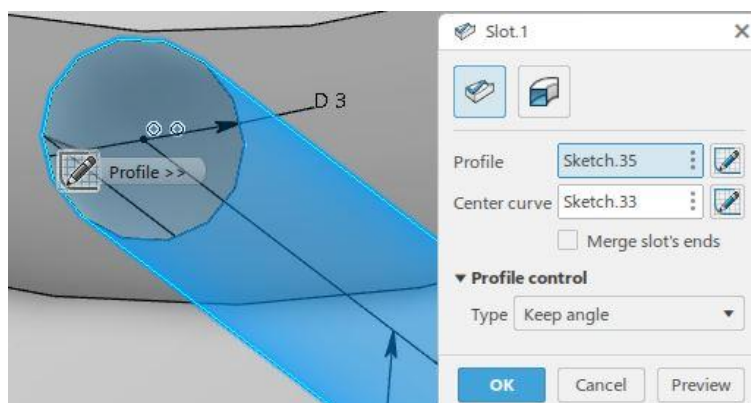


Слика 39: а) -Примена команде „Pocket”; б) -Примена команде „Chamfer”



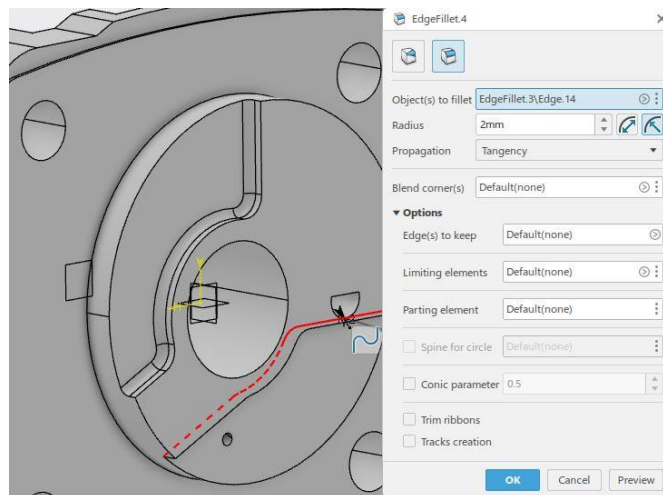
Слика 40: а) -Примена команде „Pocket”; б) -Примена команде „Circular Pattern”

Предњи и задњи део кућишта поседује мале канале (слика 27 б) који служе да проводе радну течност, помоћу које се врши подмазивање клизних лежајева. Израда овог канала врши се применом команде „Slot” . Приликом коришћења ове команде, потребно је дефинисати профил (може бити, кружног, правоугаоног, или неког другог облика) и путању по којој се тај профил креће (слика 41).



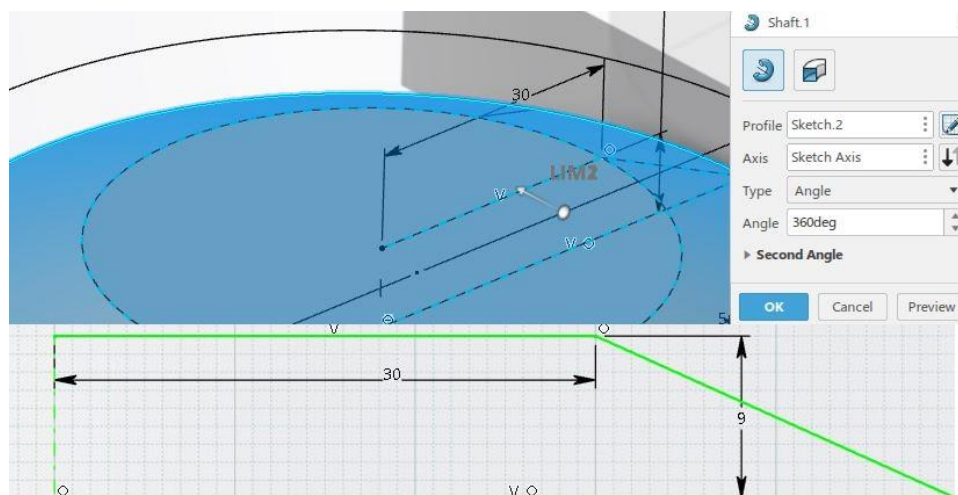
Слика 41: Примена команде „Slot”

Да би, на крају кућиште било готово потребно је оборити ивице са стране која улази у радно коло, тј. са стране кроз коју протиче радни флуид (уље). Заобљавање ивица врши се применом команде „Edge Fillet” . Примена ове команде је слична као и примена команде „Chamfer”, само што се овде не дефинише дужина и угао линије већ само радијус (Слика 42).



Слика 42: Примена команде „Edge Fillet”

За израду поклопца коришћена је команда „Shaft” , помоћу ове команде скица се ротира око осе за одређени угао и даје геометријски кружни облик.



Слика 43: Примена команде „Shaft”

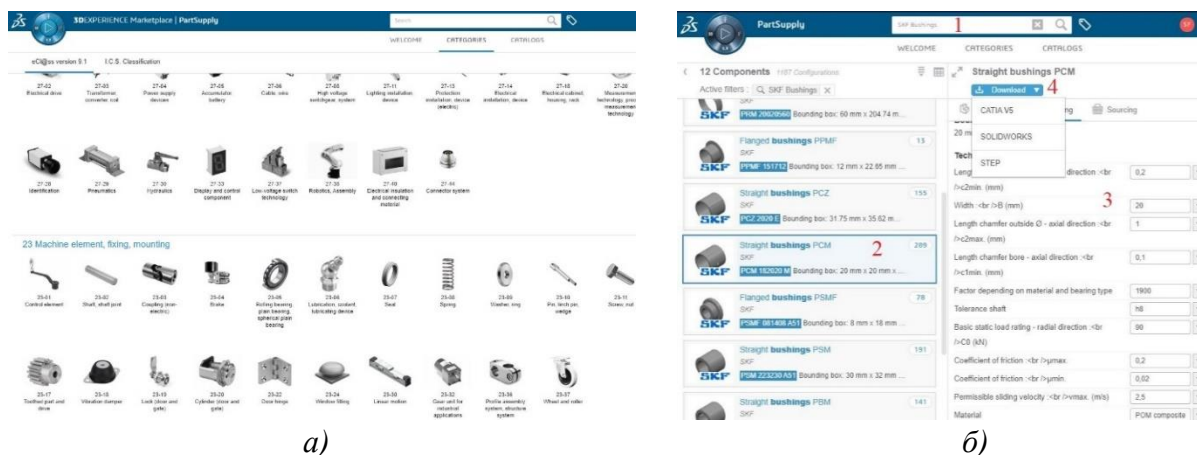
У табели 4 дај је кратак преглед основних команди које су коришћене при изради 3D модела пумпе.

Табела 4: Команде примењиване при изради 3D модела

Команда	Име	Опис
	Positioned Sketch	Омогућује кориснику брзо цртање 2D геометрије на задатој референтној равни.
	Pad	Применом команде „Pad” извлачи се скица (додаје се скици трећа димензија) у позитивном или негативном смеру.
	Hole	Применом команде „Hole” креира се отвор, рупа са навојем или забушена рупа на делу.
	Thread/Tap	Применом команде „Thread/Tap” омогућава се креирање навоја у отвору или на површини цилиндра.
	Mirror	Применом команде „Mirror” изабрани геометријски облик или облици биће пресликани као у огледалу, у односу на изабрану раван.
	Pocket	Применом команде „Pocket” одузима се део материјала са самог дела.
	Chamfer	Применом команде „Chamfer” обарају се ивице на селектованој ивици или ивицама.
	Plane	Применом команде „Plane” креира се радна раван.
	Circular Pattern	Применом команде „Circular Pattern” изабрани геометријски облик биће копиран по неком кружном шаблону, око осе линије.
	Slot	Применом команде „Slot” креира се геометријски облик извлачењем скице по одређеној путањи.
	Edge Fillet	Применом команде „Edge Fillet” креира се заобљена ивица или ивице. Заобљавање може да буде са додавањем или са одузимањем материјала.
	Shaft	Применом команде „Shaft” ротира се скица око прве ивице или осе за одређени угао (за колико степени ће се скица ротирати).

6.2 Поступак коришћења готових компоненти

Велики број машинских делова (различите врсте лежајева, завртњеве, навртке, итд...) раде се према неком стандарду (ISO, DIN, UNI, ASCE и други) па сходно томе различити произвођачи нуде готове 3D моделе ових компоненти за одређени стандард. 3DEXPERIENCE платформа поседује своју библиотеку готових делова (3DEXPERIENCE Marketplace PartSupply слика 44 а). Коришћење готових 3D модела, значајно олакшава сам поступак израде склопа и убрзава процес развоја производа.



а) *3DEXPERIENCE Marketplace PartSupply*
 б) *Тражење делова ручном претрагом*

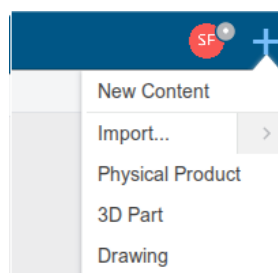
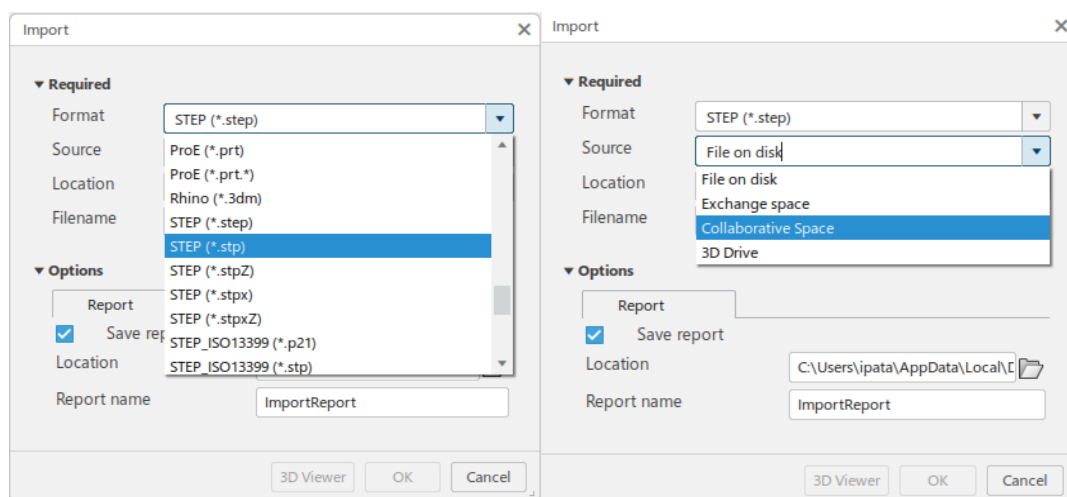
Уколико корисник жели да пронађе део који му је потребан, а нема тачно одређеног произвођача или стандард, могуће је део пронаћи визуелно (слика 44 а). Уколико корисник зна који му је тачно део неопходан за склоп (слика 44 б), могуће га је пронаћи преко претраге. У овом примеру тражи се клизни лежај произвођача SKF. Преко претраге (1) тражи се жељени део „SKF Bushings”, након претраге са леве стране (2) отвара се списак делова који одговарају датој претрази. Када се нађе део који је потребан, биће са десне стране отворена табела (3) преко које се дефинишу димензије дела. Након што се одреде димензије, притиском на „Download” кориснику је на располагању у ком формату жели део да преузме жељени фајл. На располагању су CATIA V5, SolidWorks и Step формати.

Компоненте које су увезене за израду овог склопа:

- Клизни лежај произвођача SKF,
- Заптивач вратила произвођача SKF,
- Завртањ M14x100 mm произвођача TR Fastenings,
- Завртањ M8x35 mm произвођача TR Fastenings.

Када се део који је потребно увести у склоп, налази на локалном рачунару, онда се преко команде „import” додаје део (слика 45).

Преко команде „import” отвара се нови прозор на коме су приказана подешавања за увоз дела (слика 46). Кориснику је на располагању да изабере формат у којем се налази део који жели да увезе (слика 46 а). Корисник има на располагању да изабере одакле ће део да буде преузет, са локалног рачунара или са сервера (слика 46 б).

Слика 45: Примена команде *Import*

а)

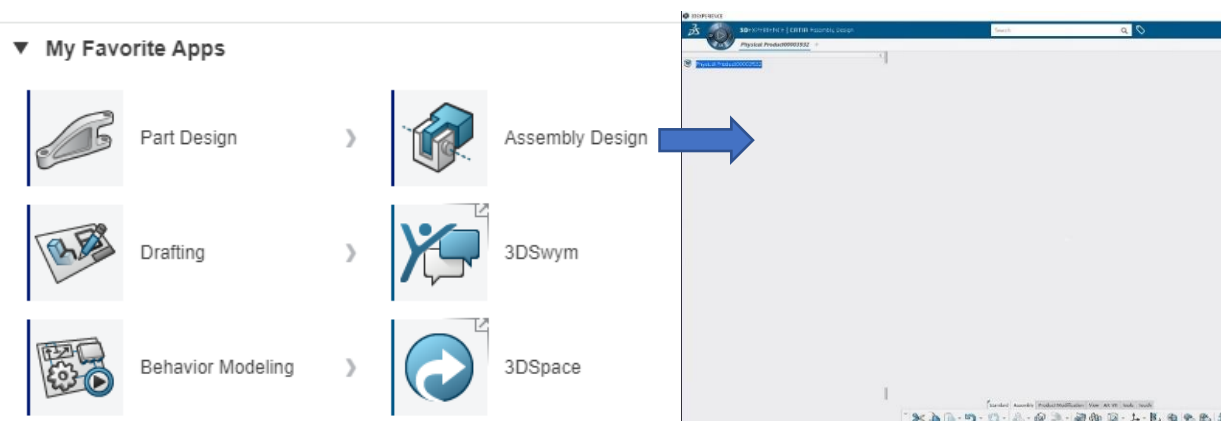
б)

Слика 46: а) -Избор формата фајла; б) -Слика десно: Избор локације дела

6.3 Израда склопа пумпе унутар 3DEXPERIENCE платформе

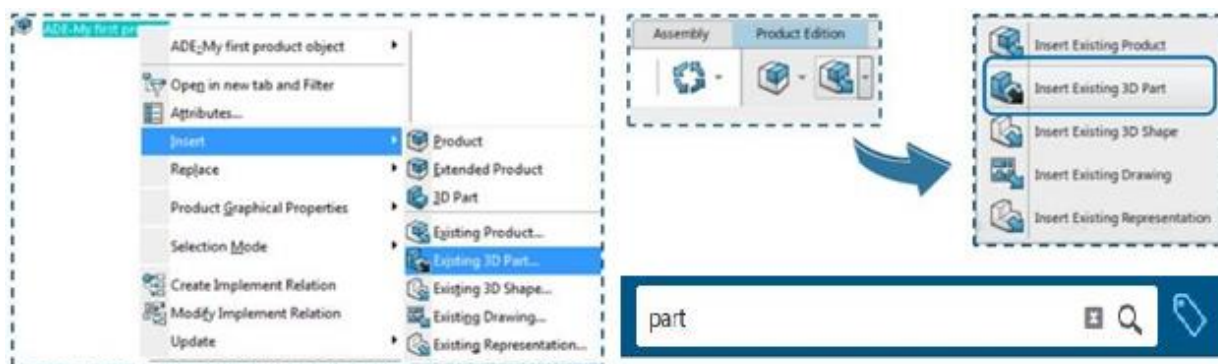
На 3DEXPERIENCE платформи за израду модела склопа користи се „Assembly Design”. Assembly Design омогућава уметање делова и других склопова (подсклопова) како би се креирале одговарајуће, функционалне целине.

Покретање „Assembly Design” апликације не разликује се од покретања „Part Design” апликације. Приступа се преко компаса, бира се секција за израду 3D модела, затим се покрене апликација под називом „Assembly Design”, након чега се отвара радна површина за креирање склопа (слика 47).



Слика 47: Покретања апликације „Assembly Design”[22]

Делови или подсклопови могу да се увезу (или учитају) у основни склоп на два начина. Један од начина је да се делови учитају у склоп преко стабла (слика 48 а), док је други начин да се делови убаце преко палете са алатима (слика 48 б) „Product Modification” > „Insert existing 3D part”. Затим се помоћу претраге тражи део на серверу да би се довео у склоп.

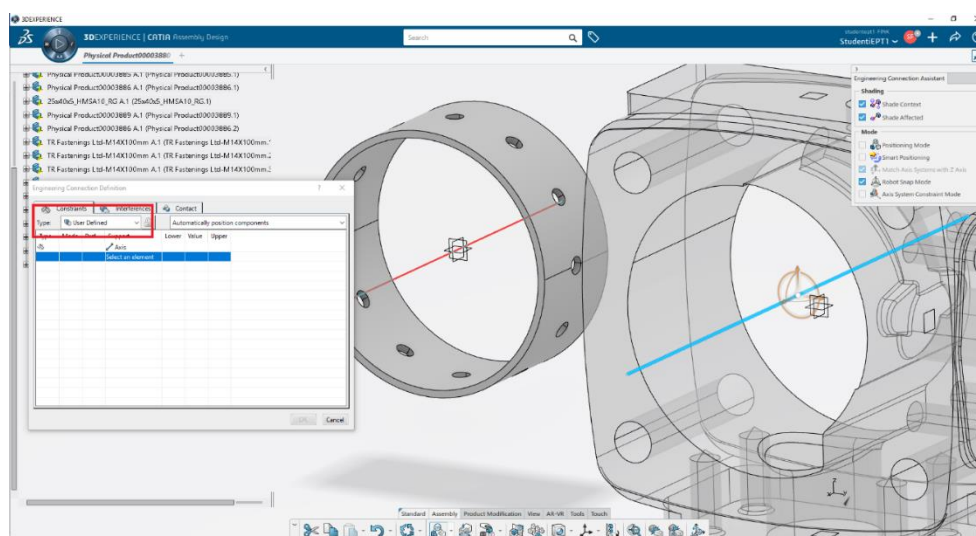


а)

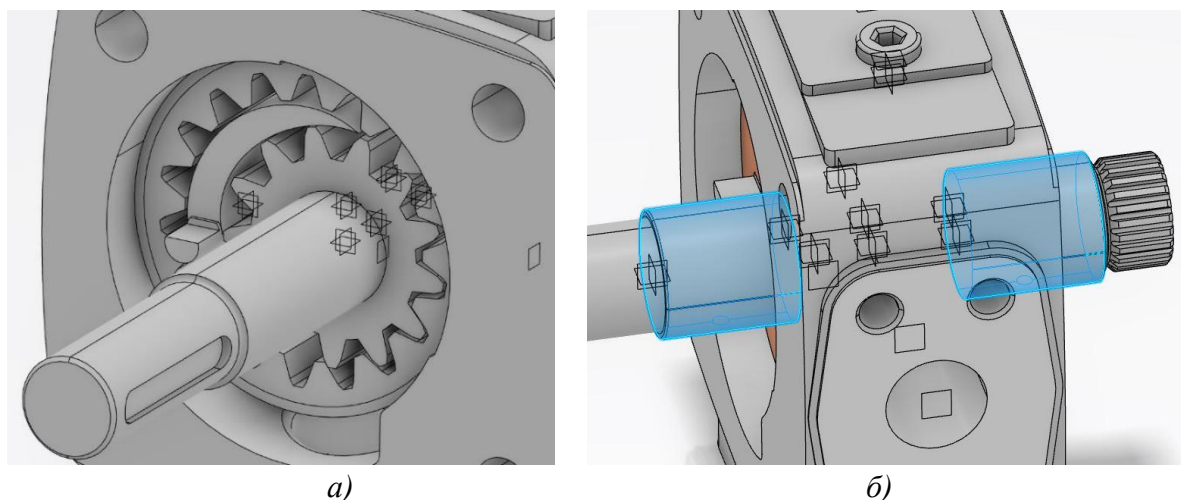
б)

Слика 48: а) -Додавање делова преко стабла; б) -Додавање делова преко палете са алаткама

Након убацивања делова у радни простор, делови ће (уколико се убаце одједном) бити један преко другог. Применом команде „Manipulate” , делови се могу транслаторно померати по простору тј. по осама (x,y,z) или се ротирати око изабране осе. Након расподеле делова по простору, применом команде „Engineering Connections”  остварују се геометријски односи између компонената, дефинишу се степени слободе транслаторног или ротационог кретања елемената склопа. Деловањем на команду „Engineering Connections” отвара се нови прозор где корисник дефинише какву врсту везе жели између две компоненте (слика 49). На слици испод се може видети да је дефинисано преклапање оса (саосност). Избор везе се врши унутар прозора, са горње леве стране испред „Type” (означено црвено) бира се врста везе (саосност, налегање површина и друге). Након задавања ограничења компоненте ће се саме спојити.

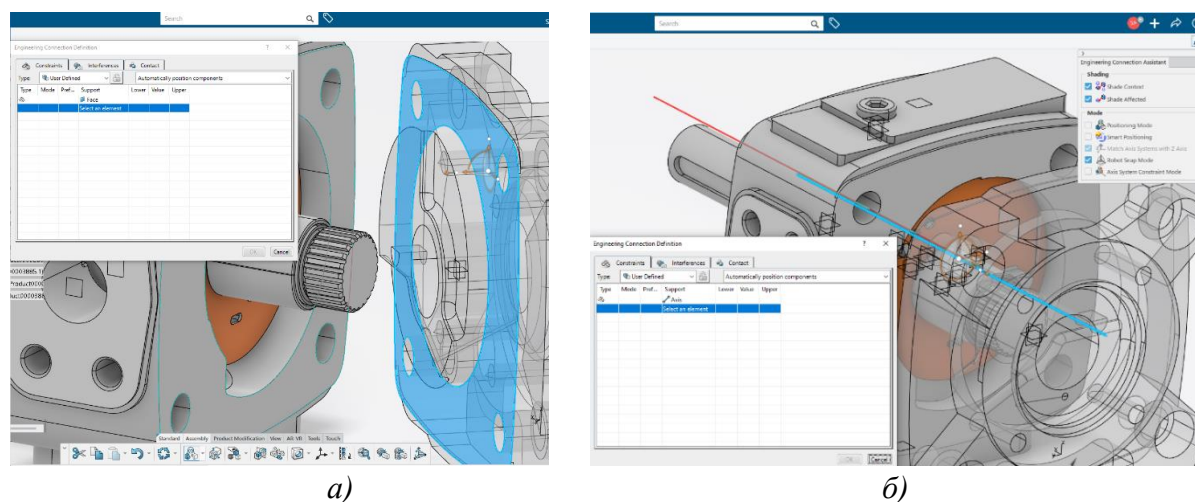


Слика 49: Примена команде „Engineering Connections” цилиндричном везом



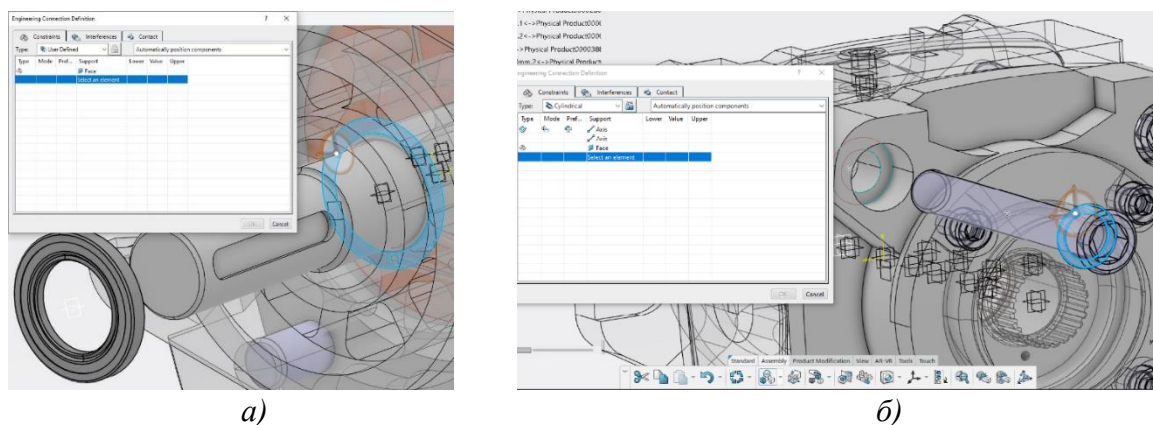
Слика 50: а) -Извршни органи зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем; б) - Додавање пливајућих клизних лежајева

Након што је додато радно кола пумпе (слика 50) потребно је да се радни органи затворе кућиштем пумпе. На слици 51 приказано је склапање задњег дела кућишта са средњим делом кућишта. На слици 51 а), приказано је спајање површина кућишта, а на слици 51 б), приказано је преклапање оса отвора оба кућишта. Исти овај поступак се примењује при спајању предњег кућишта са средњим кућиштем.



Слика 51: а) -Поклапање површина; б) -Саосност

Након склапања кућишта остало је још да се убаци заптивач вратила (слика 52 а) и завртњеви. Поступак убацивања заптивача у склоп своди се на то, да површина заптивача и површина унутар пумпе треба да се додирују, као и да се оствари саосност између заптивача и отвора на предњем кућишту пумпе. Поступак убацивања завртњева не разликује се од убацивања заптивача у склоп. Као што је приказано на слици 52 б), потребно је остварити саосност између отвора и завртња као и налегање површина.



Слика 52: а) -Постављање заптивача; б) -Постављање завртња

Са убацивањем завртњева у склоп, склоп пумпе са унутрашњим озубљењем је завршен. На слици 27 и слици 34 приказани су готови модели склопа пумпе. У табели 5 могу се видети које су команде коришћене при изради склопа. У табели 6 су приказане основне везе које нуди команда „Engineering Connection“.

Табела 5: Команде примењиване при склапању 3D модела

Команда	Име	Опис
	„Manipulate“	Омогућава кориснику да помера или ротира део.
	„Engineering Connection“	Омогућава кориснику да врши спајање компонената, тј. да дефинише геометријске односе између компонената.
	„Update“	Омогућава кориснику ажурирање склопа.

Табела 6: Основне везе које нуди „Engineering Connection“.

Команда	Име	Опис
	„Coincidence Constraint“	Концентричност, поставља одабране објекте тако да они деле исту централну линију.
	„Contact Constraint“	Контакт, омогућава налагање површина једну на другу.
	„Offset Constraint“	Поставља две површине на одређену удаљеност
	„Angle Constraint“	Угао, омогућава постављање делова под неким одређеним углом.
	„Fix Constraint“	Сидро, укида све степене слободе неког дела.

Закључак

Данас готово да не постоји грана индустрије где се за погон неке компоненте или за аутоматизацију неког процеса не користе хидраулични преносници снаге. Постоји велики број конструкцијских извођења радних елемената код запреминских хидрауличних машина и тешко је пребројати сва решења која се могу наћи на тржишту. У овом раду посебна пажња је посвећена зупчастим пумпама, где је детаљно описана њихова подела, конструкцијска решења и начин њиховог функционисања, као и како кавитација утиче на рад зупчастих пумпи. Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем сложеније су за израду, али имају већи проток него пумпе са спољашњим озубљењем истих габарита и скоро су бешумне у раду, а и степен пулзације им је мали.

3DEXPERIENCE је јединствена развојна платформа која својим корисницима омогућава приступ за колаборацију, 3D моделирање, симулације и апликације за прикупљање информација и пословну интелигенцију из различитих извора. На 3DEXPERIENCE платформи налази се преко 500 различитих апликација, које није било могуће све преставити у овом раду. У овом раду описана је 3DEXPERIENCE платформа, њено функционисање тј. примена платформе за креирање 3D модела и склопова. Једна од великих предности ове платформе је поседовање једноставног корисничког интерфејса који је погодан за лако коришћење.

Унутар 3DEXPERIENCE платформе обрађена је израда 3D модела зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем, на чијем је примеру приказано какве све могућности за моделирање и обраду модела 3DEXPERIENCE платформа може да пружи дизајнеру при изради неког производа.

Литература

- [1] Keith Dinwiddie „Basic Robotics”, USA, 2015
- [2] Владимир Савић „Уљна хидраулика“ Зеница, 1987
- [3] M. Gallal Rabie „Fluid Power engineering” Modern Academy for Engineering and Technology Cairo, Egypt, 2009
- [4] Др. Новица Р. Грујић „Примењена хидраулика: Функционалност и одржавање“, Пожаревац, 2002
- [5] Проф. Др. Живослав Ж. Адамовић, Мр. Марина Кутин, Мр. Мирјана Пухарић, Мирјана Адамовић „Хидраулика и пнеуматика“, Београд, 2009
- [6] Душан Гордић „Пренос снаге флуидом“ Машински факултет Крагујевац, 2007
- [7] Слика, сајт <http://www.pumpschool.com/principles/internal.php#advantages> приступљено 04.03.2020
- [8] Слика, сајт <https://www.flowserve.com/en/products/pumps/positive-displacement-pumps/gear-pumps/gear-pumps-gr> приступљено 04.03.2020
- [9] Peter J. Chapple „Principles of Hydraulic System Design”, UK, 2003
- [10] Т.М Башта „Машинска хидраулика“ Машински факултет Београд, 1986
- [11] „Хидраулични и пнеуматски системи” pdf фајл
- [12] Душан Гордић „Запреминске хидрауличне машине - запреминске пумпе и хидромотори” Машински факултет Крагујевац
- [13] Милун Бабић „Хидрауличне и пнеуматске машине“
- [14] Слика, сајт <https://www.machinerylubrication.com/Read/380/cavitation-wear-hydraulic> приступљено 15.03.2020.
- [15] Слика, сајт https://i.ytimg.com/vi/a_o0v9mPkhU/maxresdefault.jpg приступљено 15.03.2020.
- [16] Rexroth „Internal gear pump, fixed displacement” Type PGH, RE 10227/2018-08 каталог
- [17] Сајт, <https://www.3ds.com/about-3ds/3dexperience-platform/> приступљено 29.03.2020
- [18] Сајт, <https://www.cadcam-group.eu/rs/softver/3dexperience-on-premise> приступљено 29.03.2020

[19] Сајт, <http://www.type3-caa.com/assets/images/rvb-type-3-size-for-ds-307x161.png> приступљено 29.03.2020

[20] Сајт, <https://lirpcdn.multiscreensite.com/b8a34b8e/dms3rep/multi/opt/3DEXPERIENCELogo-320w.png> приступљено 29.03.2020

[21] Erik Bernérus Marc Karlsson „*Simulation with 3DEXPERIENCE Evaluation of software for production flow simulation in manufacturing industry*” Master’s thesis 2016

[22] Сајт, <https://help.3ds.com/2020x/English/DSDoc/EXP3DGettingStartedMap/exp3-GS-c-ov.htm?ContextScope=cloud&id=3103d713596b48049cb273ea81abae2d#Pg0> приступљено 21.04.2020

[23] 3DSAcademy 3DEXPERIENCE Courses приступљено 24.04.2020