

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

Никола Д. Ђорђевић
Примена анимације у техничком цртању
завршни рад

Крагујевац, 2017.

Универзитет у Крагујевцу

Факултет инжењерских Универзитета наука у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Техничко цртање са компјутерском графиком

Број индекса: 197/2012

Никола Д. Ђорђевић

Примена анимације у техничком цртању
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Лозица Ивановић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи и опише следеће теме:

- конструкциони облици и геометрија редуктора
- примена софтвера у моделирању склопа редуктора
- анимација и визуелизација у машинству.

Препоручена литература:

1. Лозица Ивановић, Милан Ерић: Техничко цртање са компјутерском графиком - практикум, Крагујевац 2011.
2. Aaron C. Clark *Technical Animation: A new concept for engeneering design graphics discipline*, NC State University, 2005.
3. Милан Д. Трбојевић, Момчило Р. Јанковић, Јово Вугделија, Слободан Ивковић, Војислав Латиновић: Редуктори, Београд, 1984.

Крагујевац, 2017

Ментор:

Др Лозица Ивановић, ред. проф.

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством, као и наведеном литературом.

Број индекса Име и презиме

197/2012 Ђорђевић Никола

Резиме:

У овом завршном раду описана је основна подела редуктора и његови конструкциони облици и параметри. Израђен је прорачун зупчаника, вратила и лежајева за једноступени цилиндрични редуктор са косим зупцима. Објашњен је процес конструисања помоћу рачунара и израђен је модел редуктора. Описан је поступак израде рендеровања и анимације. Израђен је технички цртеж склопа редуктора.

Кључне речи:

Редуктори, 3D модели, прорачун геометрије, рендеровање, анимација

Abstract:

In this final paper, the basic division of gearboxes, their structural forms and parameters are described. A calculation was done for the gear, shaft and bearings for a single step cylinder gearbox with silt teeth. The computer aided design was explained and a reducer model is made. The process of making rendering and animations is also described. A technical drawing of reducer assembly was made.

Key words:

Speed reducers, 3D models, geometry calculation, rendering, animation

Садржај

1. Увод.....	1
2. Редуктори.....	2
2.1 Подела редуктора.....	2
2.2 Конструктивни облици редуктора	3
2.3 Основни параметри редуктора	7
2.4 Цилиндрични зупчасти преносници са косим зупцима	9
2.5 Редукторска вратила и лежајеви.....	10
2.6 Кућиште редуктора.....	12
3. Геометрија редуктора са цилиндричним зупчастим паром.....	14
3.1 Прорачун зупчаника	15
3.2 Геометрија вратила	18
3.3 Избор лежајева	19
4. Конструисање помоћу рачунара.....	20
4.1 Процес моделирања делова.....	20
4.2 Процес израде склопа	22
5. Рендеровање	25
5.1 Израда рендеровања	26
6. Анимација у машинству	28
6.1 Историјат анимације.....	28
6.2 Израда анимације	29
7. Технички цртеж склопа.....	32
8. Закључак	33
9. Литература.....	34

1. Увод

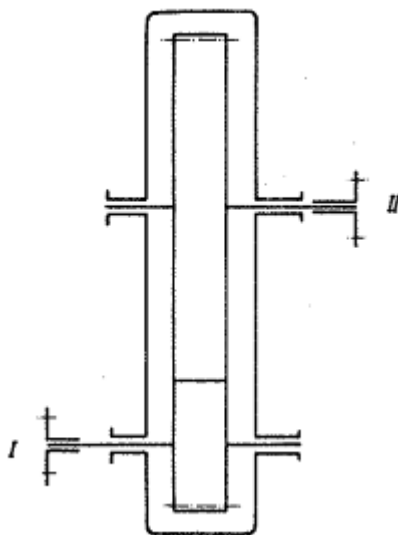
Редуктор је механички уређај који служи за смањење брзине између два вратила. Редуктори се користе у моторима свих врста како би се обртни момент повећао на излазном вратилу. Мењачи аутомобила су један од примера редукције снаге погона. Уобичајни уређаји у домаћинству код којих се примењује редуковање брзине су веш машине, блендери и други. Редуктори су нашли примену у свим гранама привреде и без њих живот у данашњици био би готово незамислив. У раду је извршена основна подела као и најчешћи конструкциони облици редуктора. Изведен је прорачун једноступеног редуктора са цилиндричним зупчастим паром.

Конструисање помоћу рачунара почиње примену почетком седамдесетих година прошлог века, када је конструисање на рачунару пружало више могућности него само ручна израда техничких цртежа. Увидевши погодности компаније су извршиле прелазак на конструисање помоћу рачунара. *CAD* софтвери као што су: *Catia*, *Inventor*, *Solidworks* налазе примену за израду *3D* модела, склопова, анимација, комплетне техничке документације и конструкторима олакшавају временски процес израде од саме идеје до коначног производа, укидају потребу за прототиповима у раним фазама конструисања и самим тим умањују трошкове компанија. Коришћењем *Solidworks* софтвера за компјутерско конструисање дошли смо до модела редуктора.

Анимација се користи као вид комуникације и лакшег обајашњавања одређених дешавања у едукацији, пословним презентацијама, и ширем друштву. Започела је открићем фенакистоскопа почетком *XIX* века. Анимација се и данас усавршава и користи се у различитим индустријама. Могућност израде анимације конструкторима је омогућена коришћењем софтвера за конструисање помоћу рачунара.

2. Редуктори

Појмом редуктор подразумева се зупчасти или пужни преносник смештен у кућишту. Редуктор се користи да преноси снагу са неког мотора на неку радну машину уз одговарајућу промену обртног момента. При том преносу брзина обртаја са мотора на радну машину се умањује, редукује. Вратило редуктора којим се снага доводи у редуктор зове се улазним, а оно којим се одводи из редуктора назива се излазним вратилом. На слици 1. имамо приказан једноступени редуктор код кога је улаз снаге са леве стране а излаз са десне.



Слика 1. Редуктор код кога је улазно вратило са доње стране, испред посматрача (I), а излазно са горње стране (II), иза посматрача [1]

2.1 Подела редуктора

Редуктори могу имати следеће поделе:

- Према типу редуктора
- Према положају улазног и излазног вратила
- Према броју степени преноса

Према типу редуктори се деле на редукторе са паралелним вратилима, вратилима која се секу и са вратилима која се укрштају, мимоилазе. Посебну групу чине планетни и мотор-редуктори. Код мотор-редуктора мотор заједно са редуктором чини посебну погонску јединицу.

Према положају улазног и излазног вратила редуктори са паралелним вратилима деле се на редукторе са вратилима у хоризонталној равни, са вратилима у вертикалној равни и у косој равни.

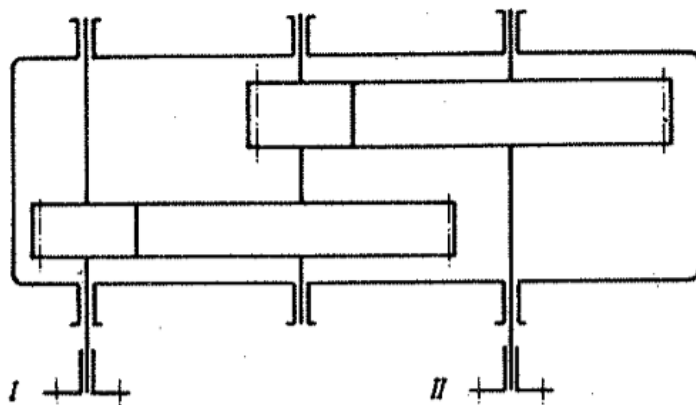
Код редуктора са вратилима која се секу, улазно вратило налази се у хоризонталној равни, док излазно вратило може бити у хоризонталној или вертикалној равни. Код редуктора са вратилима која се укрштају улазно вратило пужног завртња може бити изнад, испод или са стране пужног преносника. У прва два случаја вратило лежи у хоризонталној равни, а у трећем случају лежи у вертикалној равни. Код редуктора са паралелним вратилима улазно и излазно вратило може бити са једним или два улаза, излаза. Улазно вратило редуктора са вратилима која се секу или укрштају има само један улаз а излазно један или два излаза.

Према броју степени преноса редуктори могу бити једноstepени и вишестепенни. Једноstepени редуктори са паралелним вратилима имају један пар цилиндричних зупчаника а вишестепенни више пари. Једноstepени редуктор са вратилима која се секу има један пар коничних зупчаника а вишестепенни још један или више пари цилиндричних зупчаника. Редуктори са вратилима која се укрштају имају један пужни пар ако су једноstepени а два пужна пара ако су двостепенни. Комбиновани двостепенни редуктор у свом склопу има пужни и цилиндрични пар зупчаника. Планетни редуктори могу такође бити једноstepени и вишестепенни [1].

2.2 Конструкциони облици редуктора

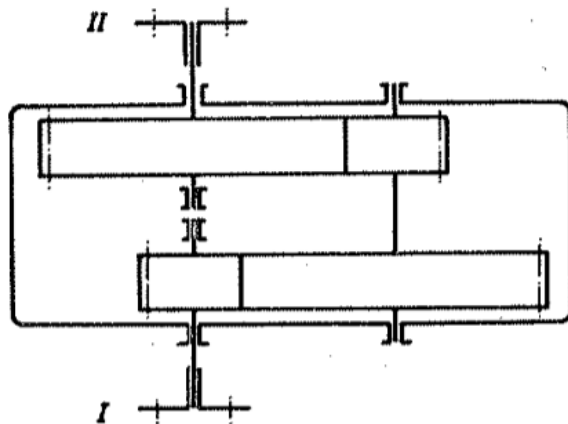
Редуктори са паралелним вратилима:

Погонски елементи редуктора са паралелним вратилима су цилиндрични зупчаници са правим, хеликоидним(косим) или са стреластим зупцима, двостепенни редуктори са паралелним вратилима изводе се у развученој конструкцији као приказано на слици 2.



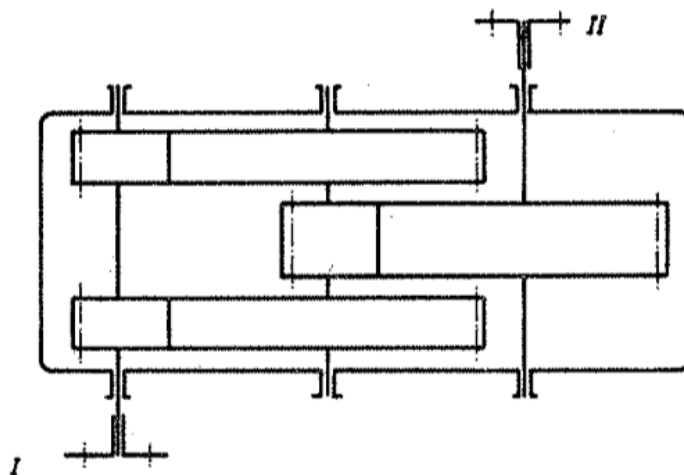
Слика 2. Двостепенни редуктор развучене конструкције [1]

Двостепени редуктори са паралелним вратилима израђују се и у коаксијалној конструкцији као приказано на слици 3.



Слика 3. Двостепени коаксијални редуктор [1]

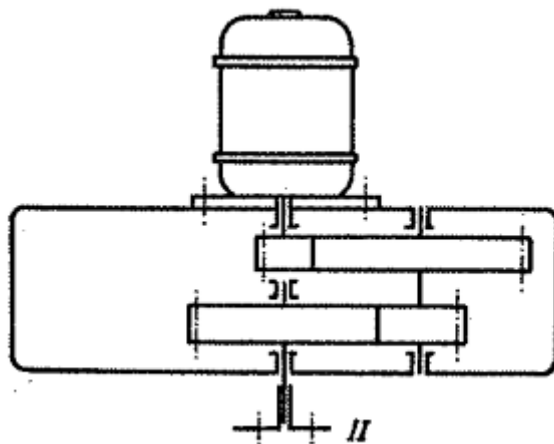
Обе конструкције двостепених редуктора могу бити са или без гранања снаге као што је приказано на слици 4.



Слика 4. Двостепени редуктор развучене конструкције са гранањем снаге [1]

Тростепени редуктори са паралелним вратилима обично су развучене конструкције са гранањем и без гранања снаге. Планетни редуктори су редуктори са паралелним вратилима, коаксијални и са гранањем снаге.

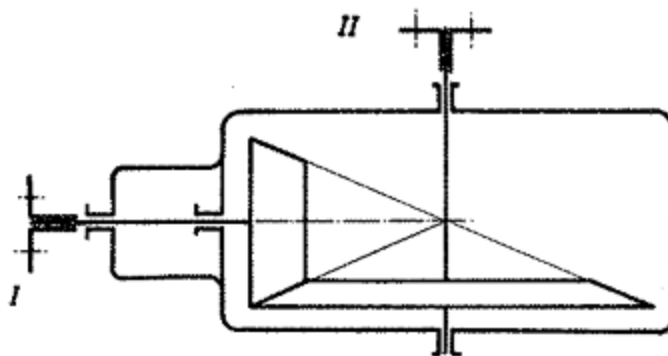
Код мотор редуктора први предајни зупчаник учвршћен је на вратила електромотора, док су остали зупчаници на својим вратилима у кућишту редуктора. Мотор и кућиште редуктора завртњевима спојени су у једну целину као што је приказано на слици 5.



Слика 5. Мотор-редуктр [1]

Редуктори са вратилима која се секу под 90° :

Једностепени редуктор са вратилима која се секу приказан је на слици 6. Код свих ових редуктора оса улазног вратила јесте и уздужна оса кућишта редуктора. Ова оса дели кућиште на два симетрична дела. Овакво решење омогућује произвољни смештај пријемног коничног зупчаника са леве или са десне стране предајног зупчаника[1].

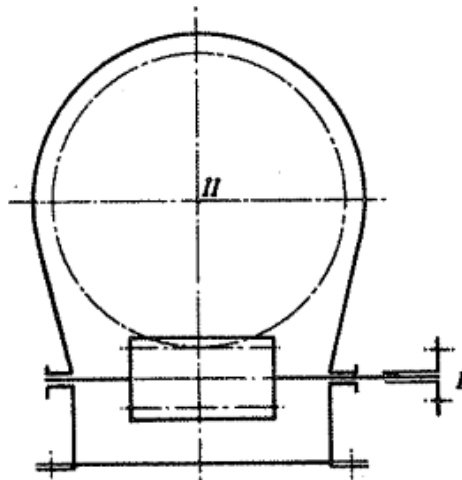


Слика 6. Једностепени редуктор са вратилима која се секу [1]

Редуктори са вратилима која се укрштају:

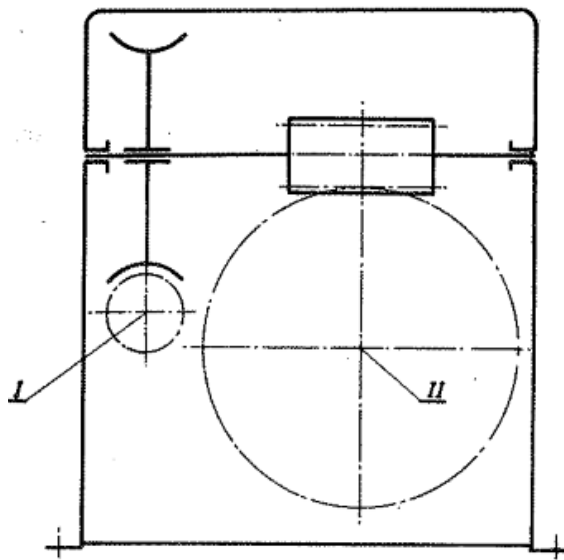
Једностепени пужни редуктор са пужним завртњем испод зупчаника приказан на слици 7.

Такође пужни пар може се поставити тако да пужни завртањ буде са стране пужног завртња.



Слика 7. Пужни редуктор са пужним завртњем испод пужног зупчаника [1]

Двостепени пужни редуктор код кога је у првом степену преноса пужни завртањ испод пужног зупчаника а у другом изнад зупчаника приказан је на слици 8. Пужни редуктор се може израђивати и у комбинацији са цилиндричним паром зупчаника. Обично је први степен преноса изграђен пужним паром а други цилиндричним. Овакав редуктор назива се комбиновани [1].



Слика 8. Комбиновани двостепени редуктор [1]

2.3 Основни параметри редуктора

- Преносни однос

Преносни однос редуктора је однос бројева обртаја улазног и излазног вратила. Код редуктора преносни однос је увек већи од један и по правилу је стандардни број. Мањи зупчаник има мањи пречник, мањи број зубаца, мањи обртни момент и већу угаону брзину од великог зупчаника и обрнуто. Услед ових разлика, зупчасти парови, при преносу кретања и оптерећења мењају њихове карактеристике, врше одређену трансформацију тих величина, та трансформација је сразмерна преносном односу.

- Међуосно растојање

Међуосно растојање редуктора са паралелним вратилима је растојање оса улазног и излазног вратила. Код редуктора са вратилима која се секу даје се само међуосно растојање оса цилиндричних зупчаника. Код пужних редуктора то је најкраће растојање оса пужног завртња и пужног зупчаника.

- Снага редуктора

Под снагом редуктора подразумева се номинална снага која одговара оном максималном оптерећењу, константног интензитета, које редуктор може трајно да преноси.

- Избор редуктора

Избор редуктора врши се на основу номиналне снаге P_n , која се у конкретном случају прорачунава на основу снаге радне машине P_{rm} , карактеристика рада мотора и радне машине и дневног трајања погона. Утицаји карактера рада мотора и радне машине као и дневног рада машине одређује се фактором радних услова K_A који се добијају експерименталиним путем, недостатком услова бира се из одговарајућих табела 1 и 2.

Табела 1. Вредности фактора радних услова K_A

Карактер рада радне машине	Дневно трајање погона у часовима					
	1	2	4	8	16	24
Миран рад	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	1,0-1,1	1,2-1,4	1,5-1,7
Рад са лаким ударима	0,75-0,8	0,85-0,9	1,0-1,1	1,1-1,3	1,3-1,6	1,65-2,0
Рад са осетним ударима	0,9-0,95	1,0-1,1	1,2-1,3	1,25-1,5	1,5-1,8	1,8-2,2
Рад са јаким ударима	1,0-1,1	1,15-1,2	1,3-1,45	1,4-1,7	1,7-2,1	2,1-2,5
Рад са врло јаким ударима	1,15-1,2	1,3-1,4	1,4-1,7	1,5-2,0	1,8-2,4	2,25-2,8

Подаци из табеле 1. се односе на погон помоћу електромотора или турбине, у случају погона помоћу вишецилиндричног мотора са унутрашњим сагоревањем податке из таблице треба повећати за 20 процената. Мања вредност из табеле 1 односи се на једносмерно оптерећење а већа на реверзибилно оптерећење [1].

Табела 2. Класификација радних машина према карактеру рада

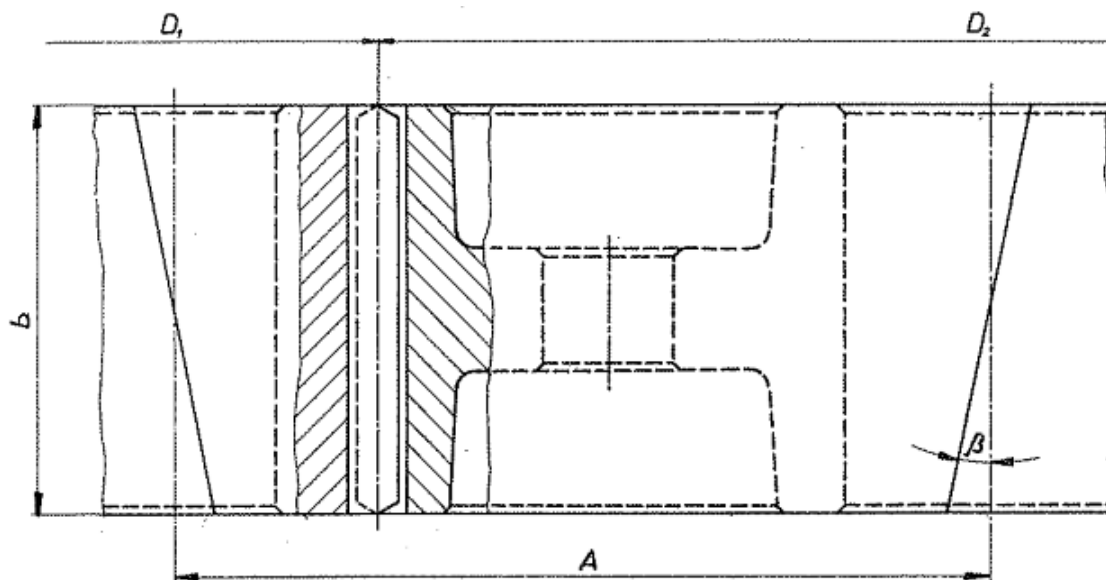
Карактер рада	Радна машина
Миран рад	Машине код којих је полазни момент мањи или једнак 2. Примери: електрични генератори, обртне пумпе, конвејери, мешалице за течности, центрифуге тракасти транспортери са контактним оптерећењем, машине за намотавање папира.
Рад са лаким ударима	Машине код којих је полазни момент мањи или једнак 2.2. Примери: Турбокомпресори, машине за савијање лима, алатне машине са кружним кретањем, транспортери са неравномерним пуњењем, добоши за чишћење у ливницама, машине за прање у текстилним фабрикама, мешалице.
Рад са осетним ударима	Машине код којих је полазни момент мањи или једнак 2.5. Примери: Елеватори, машине за обраду дрвета, ротационе пећи, млинови у индустрији папира, млинови са куглама у индустрији цемента, мешалице за бетон, ковачки чекићи, клипни компресори.
Рад са јаким ударима	Машине код којих је полазни момент измеђи 2.8 и 3. Примери: Пресе, машине за просецање и истискивање, дробилице, жичаре, бушилице у индустрији нафте, столови за провлачење жице, клипне пумпе са лакшим замајцима, отворене мешалице за гуму.
Рад са врло јаким ударима	Машине код којих је полазни момент између 3 и 3.5. Примери: Дробилице за камен, генератори за заваривање, ваљци за ваљање гуме, гатери, ваљаонички станови, чекићи са опругама, пресе са ексцентрима, пресе за брикетирање, пресе за израду цигли, транспортери у ваљаоницама

Наведени подаци у табели 2 су оријентациони. Зависно од номиналне снаге, преносног односа и жељеног положаја вратила врши се избор редуктора на основу каталога произвођача или се редуктор за вансеријске потребе конструише. Преносни однос код једностепених редуктора са паралелним вратилима може бити $i \leq 9$ за двостепени редуктор преносни однос износи $i = 8 \div 50$, за тростепене редукторе преносни однос је $i = 40 \div 250$.

2.4 Цилиндрични зупчасти преносници са косим зупцима

Од цилиндричних зупчаника за конструкцију редуктора најчешће су у примени зупчаници са хеликоидним (косим) зупцима, у примени су и зупчаници са стреластим зупцима а због велике неравномерности у подели оптерећења и буке у раду ређе се примењују зупчаници са правим зупцима и искључиво на спороходним вратилима. Основни параметри цилиндричних зупчастих преносника са косим зупцима као приказано на слици 9. су: међуосно растојање (A), стандардни модул зупчаника (m_n), преносни однос (i), аксијална дужина зубаца (b), збир фактора померања профила (x_1+x_2) и угао нагиба зубаца (β).

Код цилиндричних зупчаника као и код пужног пара за вратила која се укрштају, међуосно растојање је најважнији геометријски параметар од чије величине зависи и величина редуктора. У већини случајева међуосно растојање није задато и конструктор га бира или га израчунава у зависности од других усвојених параметара. Међуосно растојање може бити задато па у зависности од тога конструктор израчунава остале параметре.



Слика 9. Основне геометријске мере цилиндричног зупчастог пара са косим зупцима [1]

Изрази за међуосно растојање некоригованих и коригованих цилиндричних зупчаника су:

$$A = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \quad \text{и} \quad A_k = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}}$$

Где су α_{wt} угао додирнице у раду и α_t углови додирнице у бочној равни.

Угао нагиба зубаца код зупчаника са косим зупцима усваја се $\beta = (8 - 15)^\circ$. Веће вредности дају већи степен спрезања, равномернију поделу оптерећења, миран и бешуман рад зупчаника али и већа аксијална оптерећења лежишта.

Код конструисања редуктора модул зупчастог пара се прорачунава на основу познатих образаца а затим се стандардизује на прву већу вредност, или се одређује према задатом међуосном растојању [1].

$$m = \frac{d_1}{z_1} \quad m_n = m \cdot \cos \beta$$

Преносни однос редуктора је однос бројева обраја улазног и излазног вратила.

$$i = \frac{n_{ul}}{n_{iz}}$$

Стварни преносни односи за једноступене, двоступене и троступене редукторе су:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = 1.25 \div 10 \quad i = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = 8 \div 50 \quad i = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} = 40 \div 400$$

Код редуктора разлика између стварног и стандардног преносног односа не треба бити већа од 5%.

Под аксијалном дужином зубаца подразумева се спрегнута дужина зубаца зупчастог пара. У прорачуне зупчаника уводи се коефициент ширине зупчаника представљен односом

$\psi_{bd} = \frac{b}{d_1}$. При пројектовању редуктора вредност за ψ_{bd} се добија из одређене табеле. Из

овог односа добија се ширина зупчаника $b = \varphi \cdot d_1$ [2].

2.5 Редукторска вратила и лежајеви

Редукторска вратила су најчешће пуног округлог пресека који се по дужини степенасто мења, углавном се израђују од јефтинијег челика мање јачине и мање осетљивости на концентрацију напона. У случају да се вратило и зупчаник израђују од једног комада материјал вратила зависи од материјала зупчаника. Степенасто вратило је при једнакој чврстоћи због мање тежине повољније од вратила константног пресека. За неке посебне слушајеве конструишу се и шупља вратила. Редукторска вратила морају бити довољно крута да би се обезбедило исправно спрезање зупчаника и при најтежим радним условима. На оптерећеном делу сем полазећих заобљења и жљебова за клинове не би требало да постоји ниједан други извор концентрације напона, канале за ускочнике, завојнице за навртке и остале изворе концентрације треба израђивати само на неоптерећеном делу вратила [1].

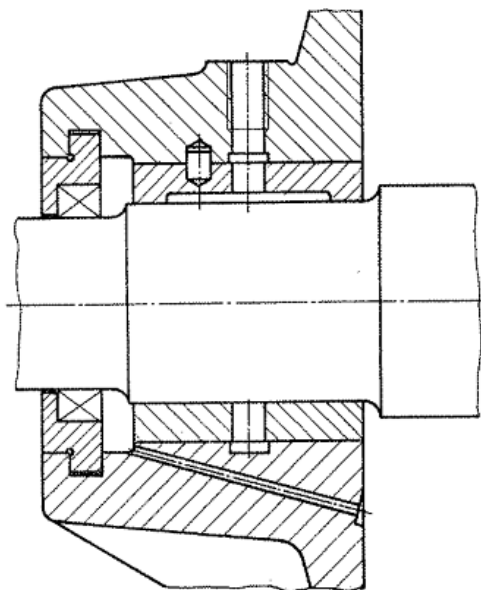
При конструисању редуктора користе се клизна и котрљана лежишта.

Клизна лежишта у скоријем времену налазе ређу примену и користе се углавном за брзоходне јако оптерећене редукторе где употреба котрљаних лежајева није препоручена.

Добре особине клизних лежишта у односу на котрљана лежишта су:

- При правилном избору материјала и уља за подмазивање могу да раде у агресивнијој средини и на већем опсегу температура.
- У условима течног подмазивања могу да раде са врло великим бројем обртаја, а са веома малим губицима на трење у лежишту
- Клизна лежишта су веома добри пригушивачи осцилација вратила што се повољно одражава на исправан рад као и истрајност зупчаника.
- У односу на пречник рукавца вратила клизна лежишта су знатно мањих димензија што утиче на компактност целог редуктора
- Монтажа вратила са клизним лежиштима простија је од монтаже вратила са котрљаним лежиштима.

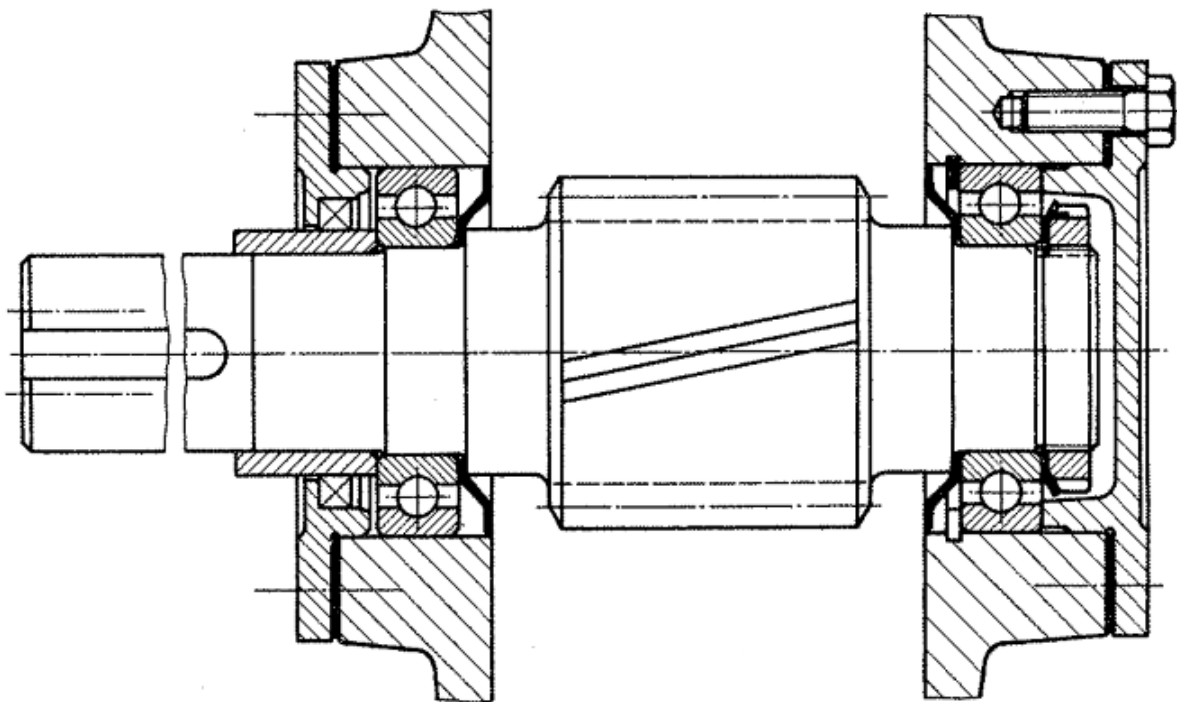
Клизна лежишта примењују се у виду дводелне постељице која је уграђена у кућишту редуктора као на слици 10.



Слика 10. Клизно лежиште за радијално оптерећење [1]

Иако се у савременој и масовној производњи редуктора више примењују котрљани лежајеви, њихова примена је ограничена на редукторе малих и средњих снага. Са разлогом што котрљани лежајеви добро и поуздано раде са нижим бројевима обртаја. Гранични број обртаја котрљаних лежајева се креће у границама од 10.000 до 30.000 min⁻¹ за лежишта минималних спољашњих пречника $D=(30-40)$ mm. За лежишта већих димензија $D=(260-360)$ mm гранични број обртаја је од 1.500 до 2.000 min⁻¹ за случај да се лежишта подмазују уљем. Ако се као мазиво користи маст онда ове вредности опадају за око 20% према испитивањима фирме “FAG”.

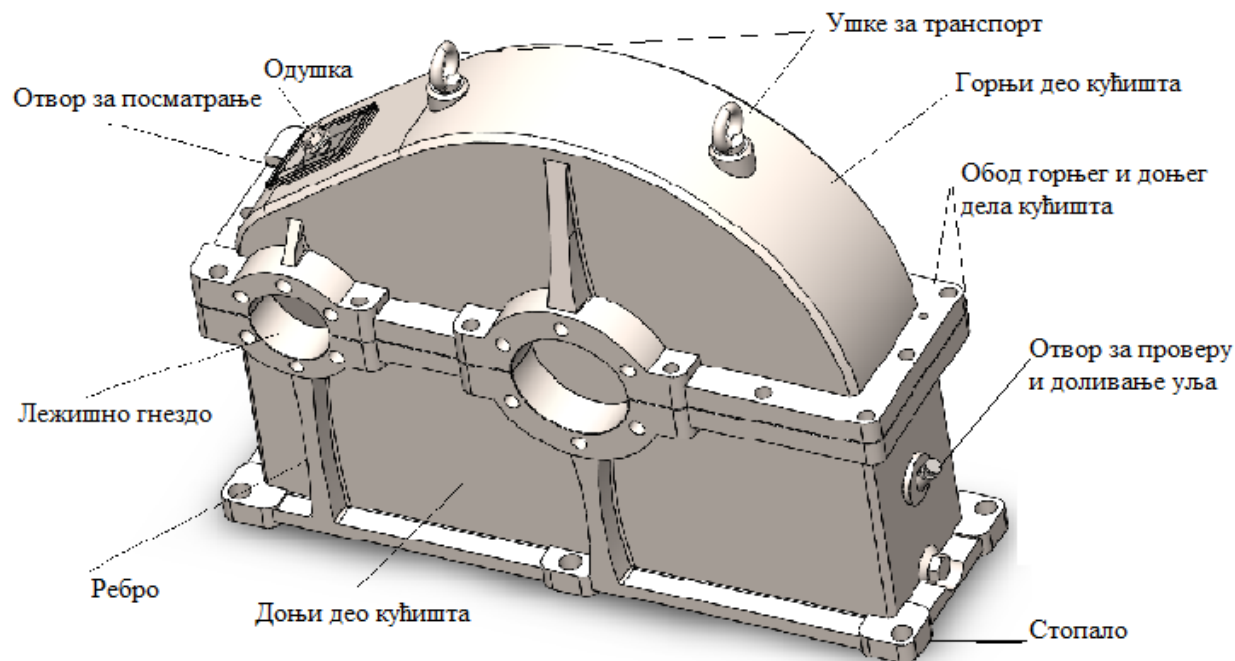
При коришћењу котрљаних лежајева постиже се веома тачно међуосно растојање вратила, повољан коефициент искоришћења, добро подмазивање углавном истим уљем које се користи за подмазивање зубаца, у случају оштећења лежајева лако се замењују. Пример вратила који је са зупчаником израђен из једног дела и котрљаним лежајевима приказан је на слици 11.



Слика 11. Вратило са котрљаним лежајевима [1]

2.6 Кућиште редуктора

Кућиште редуктора обезбеђује потребан положај делова редуктора, прима оптерећења са лежишта и преноси их на постоље, штити погонске елементе, вратила и лежишта од утицаја спољашње средине, садржи уље за подмазивање погонских елемената. Кућишта су углавном дводелне конструкције али могу бити вишеделни код вишестепених и великих редуктора. Да би остварила функцију кућишта морају да онемогуће истицање мазива и продирање прашине. Конструкција кућишта треба да буде таква да је склапање и одржавање редуктора лако. Израда кућишта мора бити једноставна како би цена израде кућишта била нижа. Праве се најчешће од сивог лива, за јака оптерећења од челичног лива, могу се правити и од алуминијумских легура ако је важна мања тежина редуктора. Кућиште може бити завареног типа и обично је лакше од ливене варијанте, користи се за врло мале серије или за изузетно велика кућишта. Код кућних апарата израђују се и од пластике. Основни делови кућишта приказани су на слици 12.



Слика 12. Основни елементи кућишта

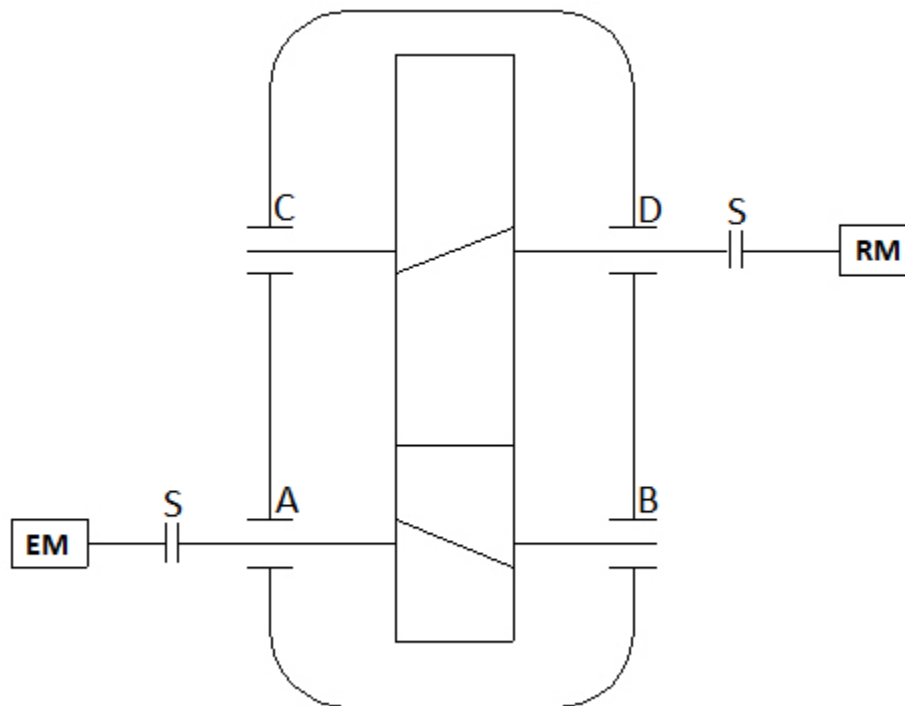
Код редуктора посебне намене које се граде за неке специфичне потребе које се не могу задовољити редукторима опште намене којих има на располагању, кућиште се обликује за само један одређени преносни однос, за одређене погонске елементе, вратила и лежишта тако може бити врло компактна. Ради повећања крутости постављају се ребра на местима лежишних гнезда где је оптерећење највеће. Ребра помажу и за боље хлађење редуктора, када је загревање велико конструишу се додатна ребра за одвођење топлоте, њима је повећање крутости секундарна функција. Кућиште се састоји од додатних корисних делова као што су отвор за посматрање зупчаника, испусте за преношење редуктора, отворе за доливање и испуштање уља, мерач висине уља у доњем делу кућишта, доњи део кућишта треба да има нагиб према отвору за изливање уља. Све ово ствара сложенији облик кућишта.

3. Геометрија редуктора са цилиндричним зупчастим паром

Целокупни прорачун редуктора одрађен је у оквиру пројектног задатка из предмета Машински елементи 2 [3].

Задате карактеристике редуктора:

- $P_{em} = 12.5 kW$
- $n_{EM} = 1400 min^{-1}$
- $n_{RM} = 222.2 min^{-1}$
- $\eta_s = 0.99$
- $L_h = 10.000 h$
- $K_A = 1.25$



Слика 13. Скица једностепеног цилиндричног зупчаника са косим зупцима

3.1 Прорачун зупчаника

- Одређивање преносног односа:

$$u_R = \frac{n_{EM}}{n_{RM}} = \frac{1400}{222.2} = 6.3006$$

- Усвајен број зубаца погонског зупчаника:

$$z_1 = 23$$

- Одређивање броја зубаца гоњеног зупчаника:

$$z_2 = u_R \cdot z_1 = 6.3006 \cdot 23 = 144.9$$

Усвојен број зубаца гоњеног зупчаника је

$$z_2 = 145$$

- Одређивање стварног преносног односа

$$u_{Rst} = u_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{145}{23} = 6.3043$$

Грешка преносног односа је мања од 5%

- Одређивање снага, обртних момента, броја обртаја и угаоних брзина на свим елементима преносника:

Снаге:

$$P_{EM} = 12.5 \text{ kW}$$

$$P_{S1} = P_1 = P_{EM} \cdot \eta_s = 12.5 \cdot 0.99 = 12.375 \text{ kW}$$

Усвојен степен искоришћења зупчастог преносника је

$$\eta_{12} = 0.98$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{12} = 12.375 \cdot 0.98 = 12.12 \text{ kW}$$

$$P_{S2} = P_{RM} = P_2 \cdot \eta_s = 12.12 \cdot 0.99 = 12 \text{ kW}$$

Бројеви обртаја:

$$n_{EM} = n_{S1} = n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = n_{S2} = n_{RM} = \frac{n_{EM}}{u_{12}} = \frac{1400}{6.3043} = 222.07 \text{ min}^{-1}$$

Угаоне брзине:

$$\omega_{EM} = \omega_{s1} = \omega_1 = \frac{n_{EM} \cdot \pi}{30} = \frac{1400 \cdot \pi}{30} = 146.608 s^{-1}$$

$$\omega_2 = \omega_{s2} = \omega_{RM} = \frac{\omega_{EM}}{u_{12}} = \frac{146.608}{6.3043} = 23.25 s^{-1}$$

Обртни моменти:

$$T_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_{EM}} = \frac{12.5 \cdot 10^3}{146.608} = 85.26 Nm$$

$$T_{s1} = T_1 = T_{EM} \cdot \eta_s = 85.26 \cdot 0.99 = 84.41 Nm$$

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_{12} \cdot u_{12} = 84.41 \cdot 0.98 \cdot 6.3043 = 521.52 Nm$$

$$T_s = T_{RM} = T_2 \cdot \eta_s = 521.52 \cdot 0.99 = 516.3 Nm$$

- Усвајање материјала зупчаника:

Као материјал погонског и гоњеног зупчаника усваја се челик за побољшање Š5431

- Препорукама усваја се фактор К

$$K = 1.2 [N / mm^2]$$

- Усвајање односа ширине и пречника подеоног круга малог зупчаника ψ_{bd}

$$\psi_{bd} = 1.1$$

- Одређивање подеоног пречника мањег зупчаника:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot T_1 \cdot K_A \cdot u_R + 1}{K \cdot \psi_{bd} \cdot u_R}}$$

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot 84.41 \cdot 1.25 \cdot 6.3043 + 1}{1.2 \cdot 1.1 \cdot 6.3043}} \geq 57.003 mm$$

- На основу препорука усваја се нагиб зубаца погонског и гоњеног зупчаника:

$$\beta = 15^\circ$$

- Модул погонског зупчаника је:

$$m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{57.003}{23} = 2.4785 mm$$

$$m_n = m \cdot \cos \beta = 2.4785 \cdot \cos 15^\circ = 2.393 mm$$

Усвојена стандардна вредност модула $m_n = 2.5 mm$

- Геометријске величине погонског и гоњеног зупчаника:

Угао нагиба профила алата:

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} \Rightarrow \alpha_t = 20.646$$

Модул:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{2.5}{\cos 15^\circ} = 2.588 \text{ mm}$$

Пречници подеоних кругова:

$$d_1 = m_t \cdot z_1 = 2.588 \cdot 23 = 59.524 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_t \cdot z_2 = 2.588 \cdot 145 = 374.1 \text{ mm}$$

Ширина зупчаника:

$$b = \varphi \cdot d_1 = 1.1 \cdot 59.524 = 65.47 \text{ mm}$$

Усвојена ширина зупчаника $b = 65 \text{ mm}$

Пречници основних кругова:

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t = 59.524 \cdot \cos 20.646 = 55.7 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t = 374.1 \cdot \cos 20.6467 = 350 \text{ mm}$$

Осно растојање:

$$a = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = 217.39 \text{ mm}$$

Пречници кинематских кругова:

$$d_{w1} = d_1 = 59.524 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 = 374.1 \text{ mm}$$

Пречници подножних кругова:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_{fp} + 2 \cdot x_1 \cdot m_n = 59.524 - 2 \cdot 3.125 + 2 \cdot 0 \cdot 2.5 = 53.274 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_{fp} + 2 \cdot x_2 \cdot m_n = 374.1 - 2 \cdot 2.125 + 2 \cdot 0 \cdot 2.5 = 367.85 \text{ mm}$$

Пречници темених кругова:

$$d_{a1} = 2 \cdot a - d_{f2} - 2 \cdot c = 2 \cdot 216.8 - 367.85 - 2 \cdot 0.625 = 64.5 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = 2 \cdot a - d_{f1} - 2 \cdot c = 2 \cdot 216.8 - 53.274 - 2 \cdot 0.625 = 379.07 \text{ mm}$$

3.2 Геометрија вратила

Као материјал за погонско вратило усваја се конструкциони челик $\check{C}$ 0645 следећих карактеристика:

Увојна издржљивост: $\tau_{D(0)} = 200 \div 230 \text{ MPa} = 215 \text{ MPa}$

Савојна издржљивост: $\sigma_{D(0)} = 280 \div 330 \text{ MPa} = 300 \text{ MPa}$

Затезна чврстоћа: $R_m = 600 \div 720 \text{ MPa} = 660 \text{ MPa}$

Степен сигурности: $S = 1.5 \div 2.5 = 2$

Након прорачуна, димензије пречника вратила усвајају се из таблице стандардних димензија пречника вратила.

Вратило 1.

Место	d_i , mm	t , mm	$d_{vr} = d_i + t$; mm	d_{st} , mm
S ₁	22.238	4.1	26.338	28
A	23.809	0	23.809	30
1 L	26.778	4.1	30.878	32
1 D	24.238	4.1	28.338	32
B	0	0	0	30

Исти материјал користи се за прорачун димензија за гоњено вратило код којег су димензије следеће.

Вратило 2.

Mesto	d_i , mm	t , mm	$d_{vr} = d_i + t$; mm	d_{st} , mm
C	43.688	0	43.688	50
2 L	25.24	4.1	29.34	56
2 D	41.5	4.7	46.2	56
D	0	0	0	50
S ₂	40.8	4.7	45.5	48

3.3 Избор лежајева

Избор лежајева врши се на основу моћи ношења и пречницима вратила на месту за лежај.

Ослонац А: 7206 В ($d=30\text{ mm}$, $C=17.8\text{ kN}$)

Димензије лежаја А:
 $d = 30\text{ mm}$; $D = 62\text{ mm}$; $B = 16\text{ mm}$
 $a = 27\text{ mm}$; $r_{\min} = 1\text{ mm}$; $r_{1\min} = 0.6\text{ mm}$

Ослонац В: 7206 В ($d=30\text{ mm}$, $C=17.8\text{ kN}$)

Димензије лежаја В:
 $d = 30\text{ mm}$; $D = 62\text{ mm}$; $B = 16\text{ mm}$
 $a = 27\text{ mm}$; $r_{\min} = 1\text{ mm}$; $r_{1\min} = 0.6\text{ mm}$

Ослонац С: 7210 В ($d=50\text{ mm}$, $C=34.7\text{ kN}$)

Димензије лежаја С:
 $d = 50\text{ mm}$; $D = 90\text{ mm}$; $B = 19\text{ mm}$
 $a = 39\text{ mm}$; $r_{\min} = 1.1\text{ mm}$; $r_{1\min} = 0.6\text{ mm}$

Ослонац D: 7210 В ($d=50\text{ mm}$, $C=34.7\text{ kN}$)

Димензије лежаја D:
 $d = 50\text{ mm}$; $D = 90\text{ mm}$; $B = 19\text{ mm}$
 $a = 39\text{ mm}$; $r_{\min} = 1.1\text{ mm}$; $r_{1\min} = 0.6\text{ mm}$

4. Конструисање помоћу рачунара

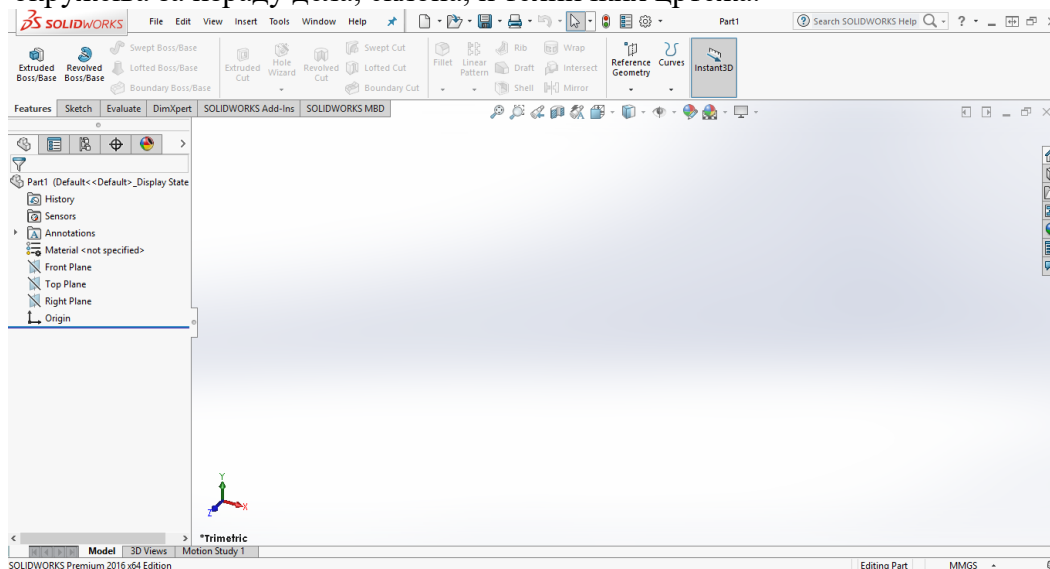
Конструисање помоћу рачунара – *Computer aided design (CAD)* дефинисано је коришћењем информационих технологија у процесу конструисања. *CAD* систем састоји се од хардверског дела (компјутера), и софтверског дела потребног за одређену функцију. Кључни део *CAD* система је његов софтверски део, који користи графику за представљање производа и његову презентацију. Његово коришћење не мења природу процеса конструисања, али како се у називу каже да помаже дизајнеру конструкција. Дизајнер је главни актер у процесу конструисања у свим фазама од идентификације проблема до фазе имплементације [4].

Улога *CAD* софтвера је да помажу конструктору пружањем прецизно израђених и лако изменљивих графичких приказа производа. Корисник може гледати створени производ на екрану, прави било какве модификације на њему и представити своје идеје другима. Изводи комплексне анализе у кратком временском периоду, коришћењем методе коначних елемената корисник може вршити разне анализе на производу.

Најзаступљенији *CAD* софтвери који се користе су: *Catia*, *Inventor*, *Solidworks*. Код сваког од ових наведених софтвера процес израде модела, рендеровања модела и израде анимације врши се на сличан начин. За израду прорачунатог редуктора коришћен је *Solidworks*.

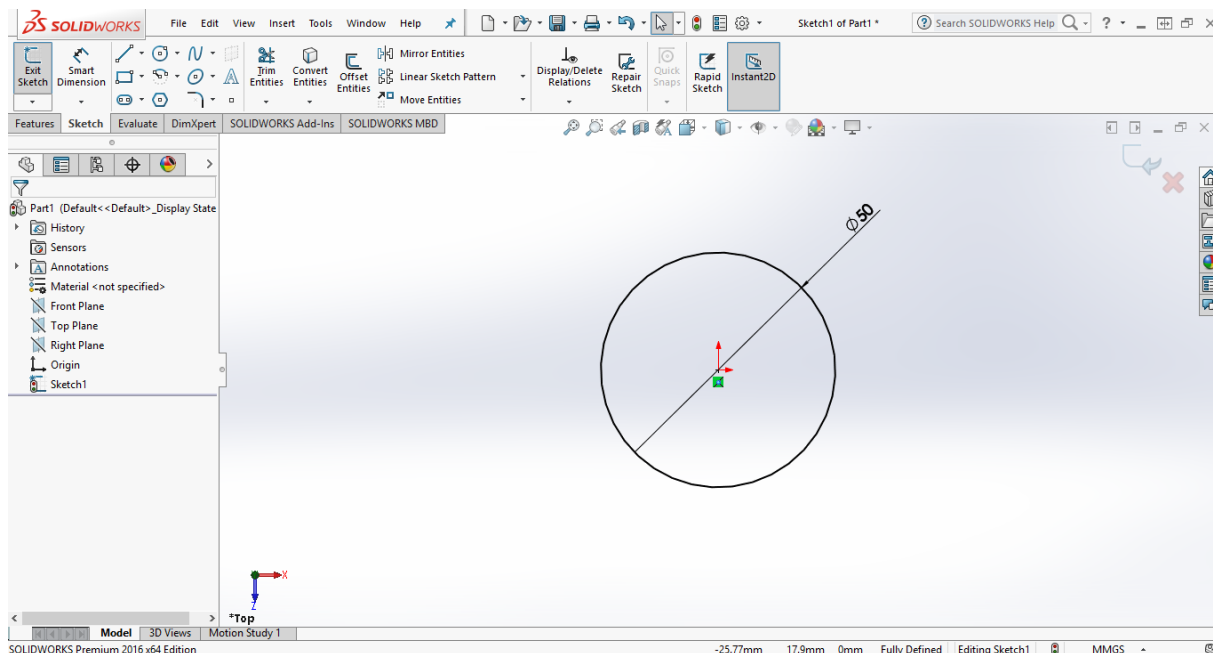
4.1 Процес моделирања делова

За израду модела редуктора потребно је моделирати све његове делове. За долажење у окружење за моделирање делова потребно је да из *File* падајућег менија одаберемо опцију *New* за стварање новог *Solidworks* документа. У прозору опције *New* има могућност бирања радног окружења за израду дела, склопа, и техничких цртежа.



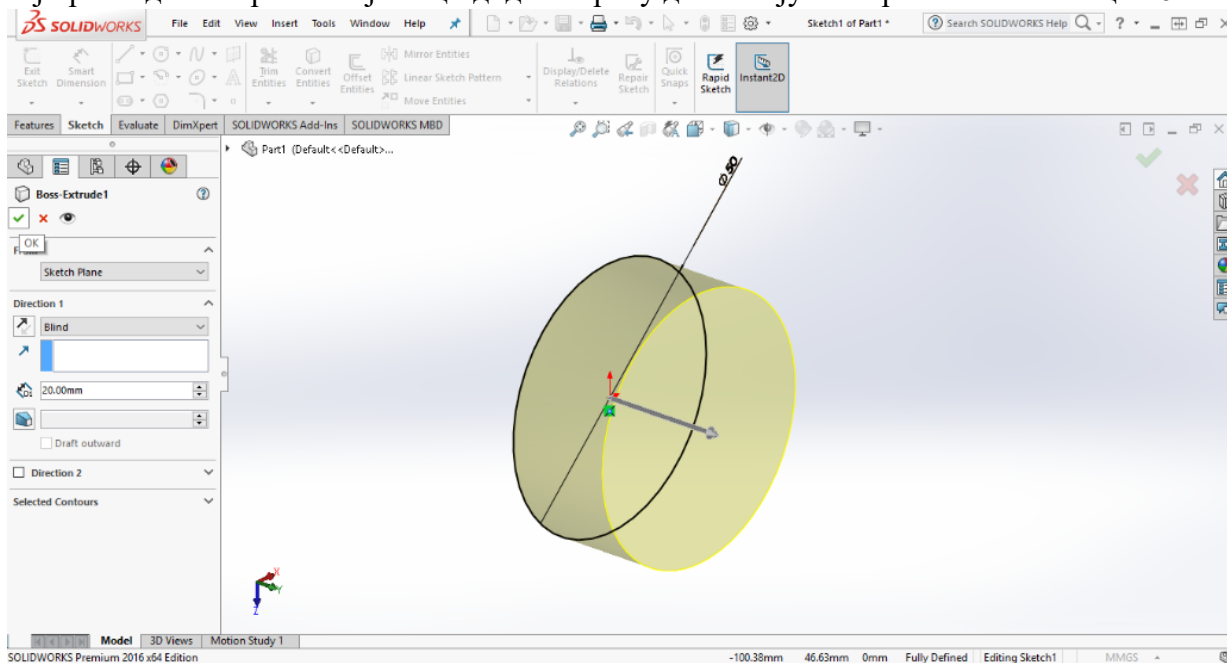
Слика 14. Радно окружење за моделирање делова

У радном окружењу за моделирање делова налазе се картице од значаја за израду модела које се називају *Features* и *Sketch*. Да би дошли до неког тродимензионалног модела потребно је да у опцији *Sketch* направимо дводимензионалну скицу. Једна од страница дела који израђујемо као приказано на слици 15. Скица мора бити у потпуности дефинисана геометријским величинама и мора бити везана за координатни систем.



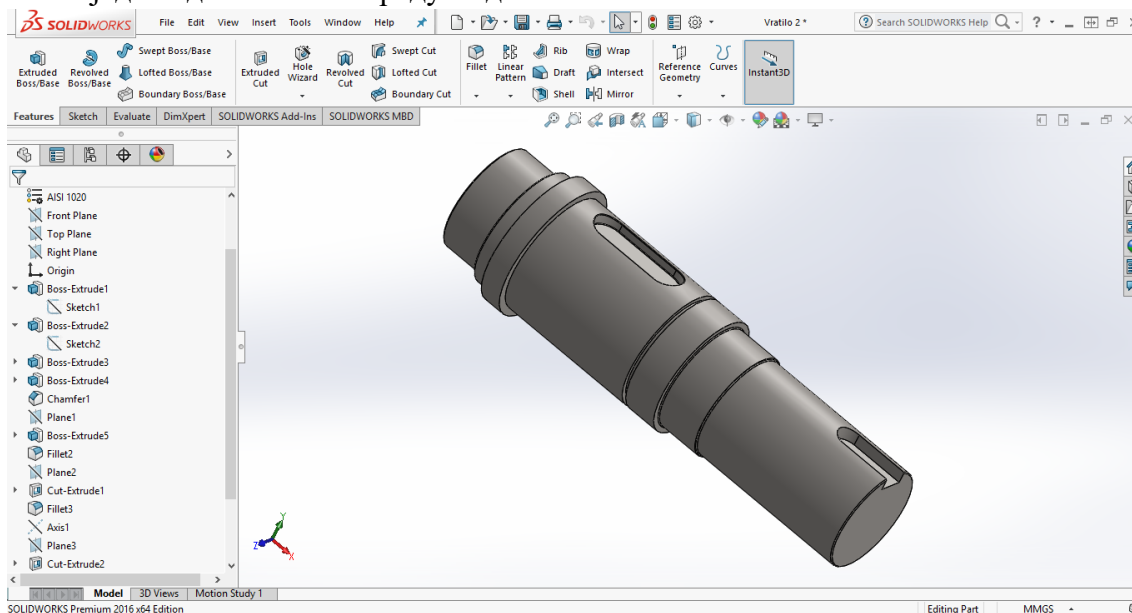
Слика 15. Радно окружење таблице *Sketch*

Након израђене скице, враћамо се на картицу *Features* у којој користимо опцију *Extruded Boss/Base* која се налази у горњем левом углу радног окружења и која нам омогућава да нашој претходно направљеној скици додамо трећу димензију као приказано на слици 16.



Слика 16. Користићење опције *Extruded Boss/Base* за добијање 3D модела

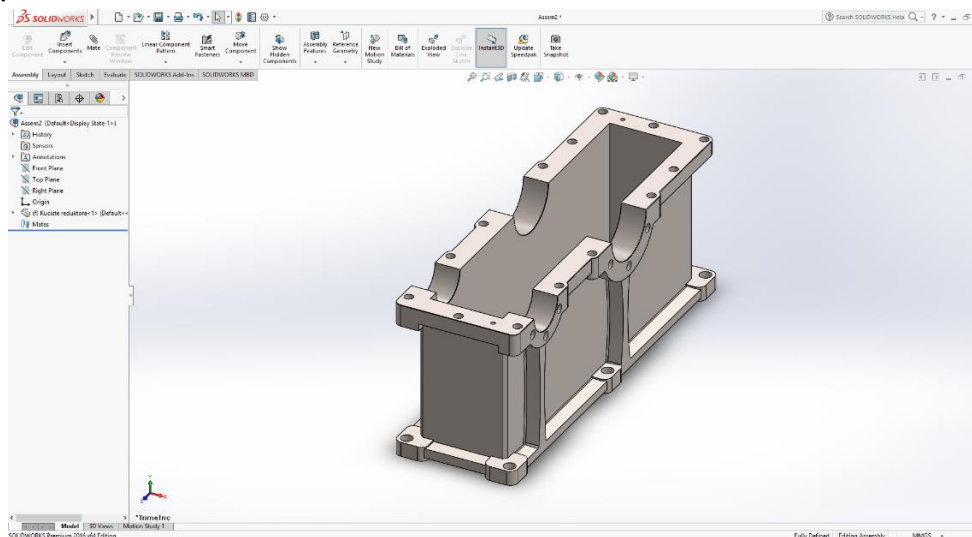
Настављеним коришћењем опција из картица *Features* и *Sketch* стиже се до финалног изгледа модела вратила за гоњени зупчаник на Слици 17. који се даље користи за израду склопа. Целокупно вратило је израђено са скицама и опцијама *Extruded Boss*, *Extruded Cut*. То је само један од начина за израду модела.



Слика 17. Модел гоњеног вратила

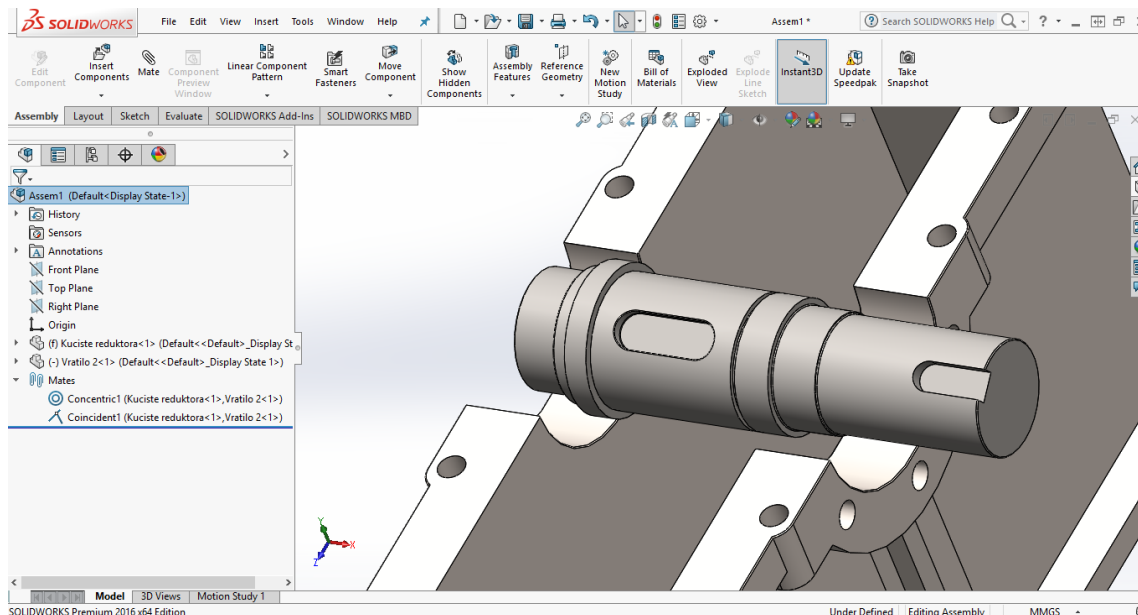
4.2 Процес израде склопа

Са израдом свих потребних делова за склоп, могућа је израда и самог склопа редуктора у оквиру радног окружења *Assembly*, који започиње убацивањем фиксног дела који се у склопу не помера по координатним осама. Један од таквих делова јесте кућиште редуктора, Слика 18.



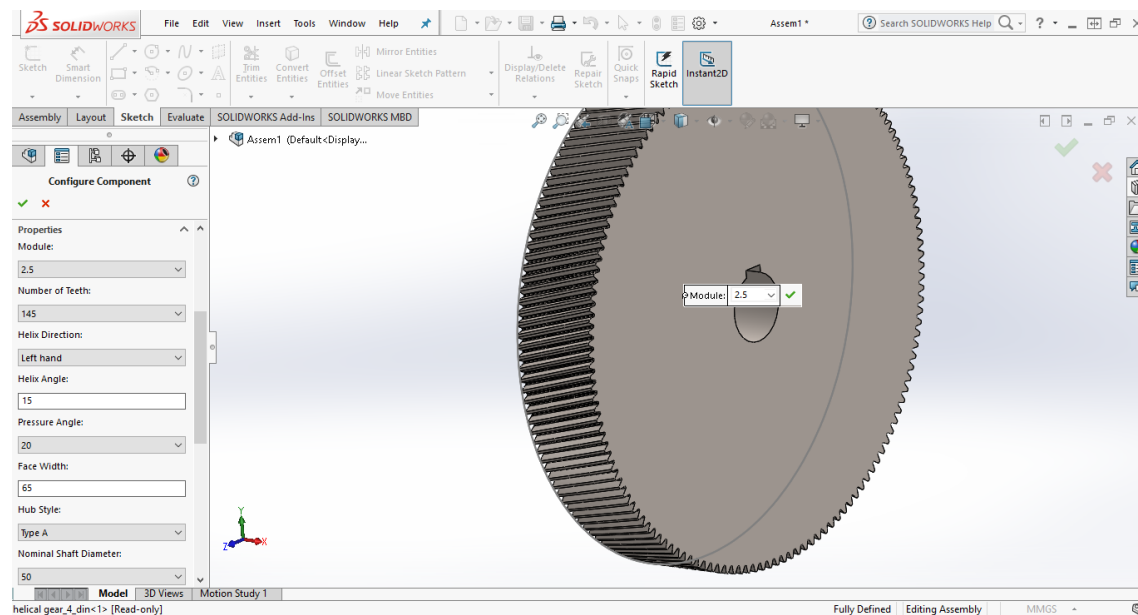
Слика 18. Кућиште редуктора

У картици *Assembly* постоје опције за додавање нових делова *Insert Components*, и опцију *Mate* која служи за ограничавање слободе кретања делова у односу на друге делове. Задавањем потребних ограничења између гоњеног вратила и кућишта помоћу опције *Mate* вратило је доведено у одговарајући положај у односу на кућиште. Једино омогућено кретање је ротационо кретање око осе x као што је приказано на слици 19.



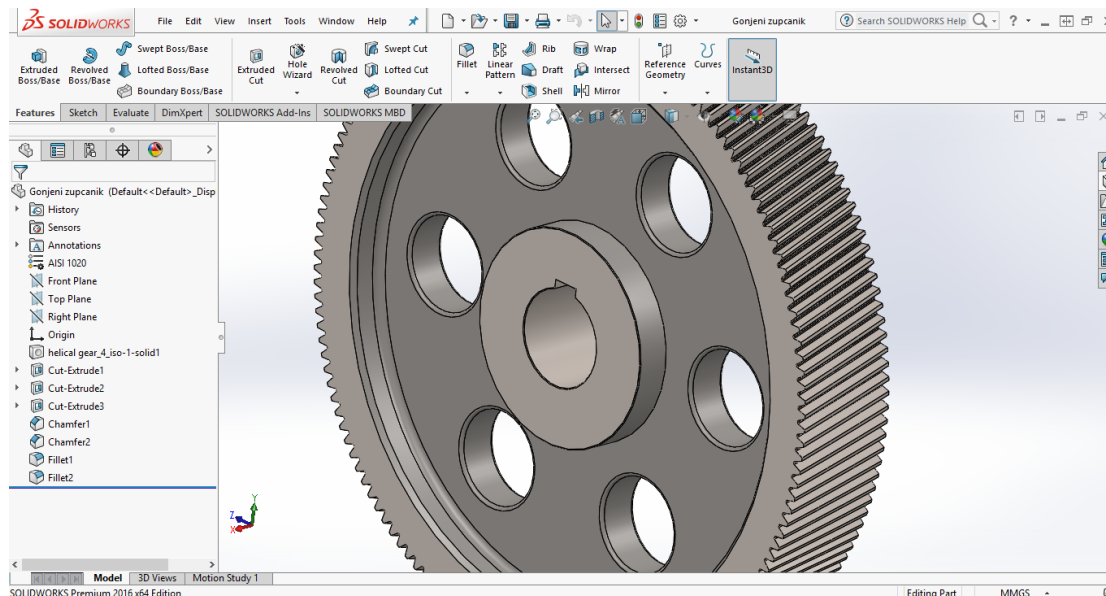
Слика 19. Гоњено вратило са одговарајућим ограничењима

У *Solidworks*-у стандардне делове као што су зупчаници, лежајеви, навртке, завртњеве и многи други, узима се из базе стандардних делова у опцији *Toolbox* као на слици 20. Конструктору се на овај начин умањује време за израду тих стандардних делова. Из опције *Toolbox* узимају се сви потребни стандардни делови и по потреби на њима вршити дораду.



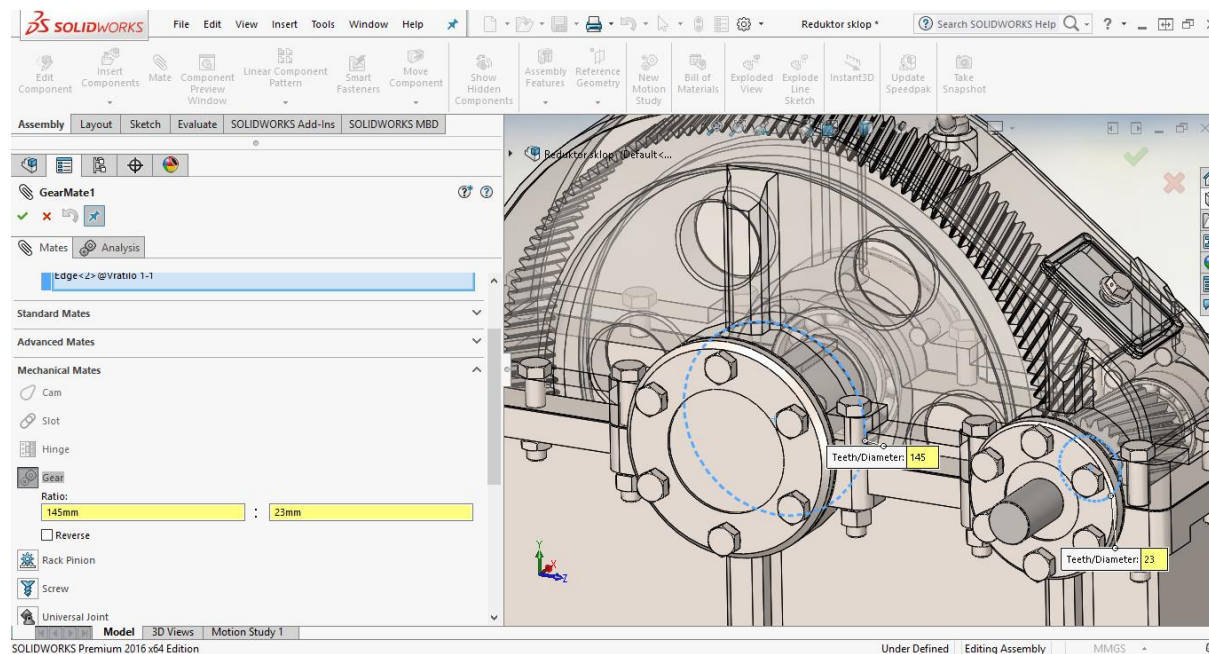
Слика 20. Увођење зупчаника из *Toolbox*-а

Увођењем зупчаника у склоп постоји низ опција како би зупчаник био жељених димензија, опције које се приказују су: Модул зупчаника, број зубаца, угао нагиба зубаца, смер зубаца, пречник отвора за вратило, отвори за клин. Ради уштеде материјала и олакшања зупчаника урађена је даља дорада око модела зупчаника и он изгледа као на слици 21.



Слика 21. Гоњени зупчаник са олакшањем

Након убацивања свих делове и направљеног склопа редуктора неопходно је да зупчаници буду у спрези са одговарајућим преносним односом што је могуће постићи опцијом *GearMate* и уношењем одговарајућег преносног односа између два зупчаника као на слици 22.



Слика 22. Коришћење опције *GearMate*

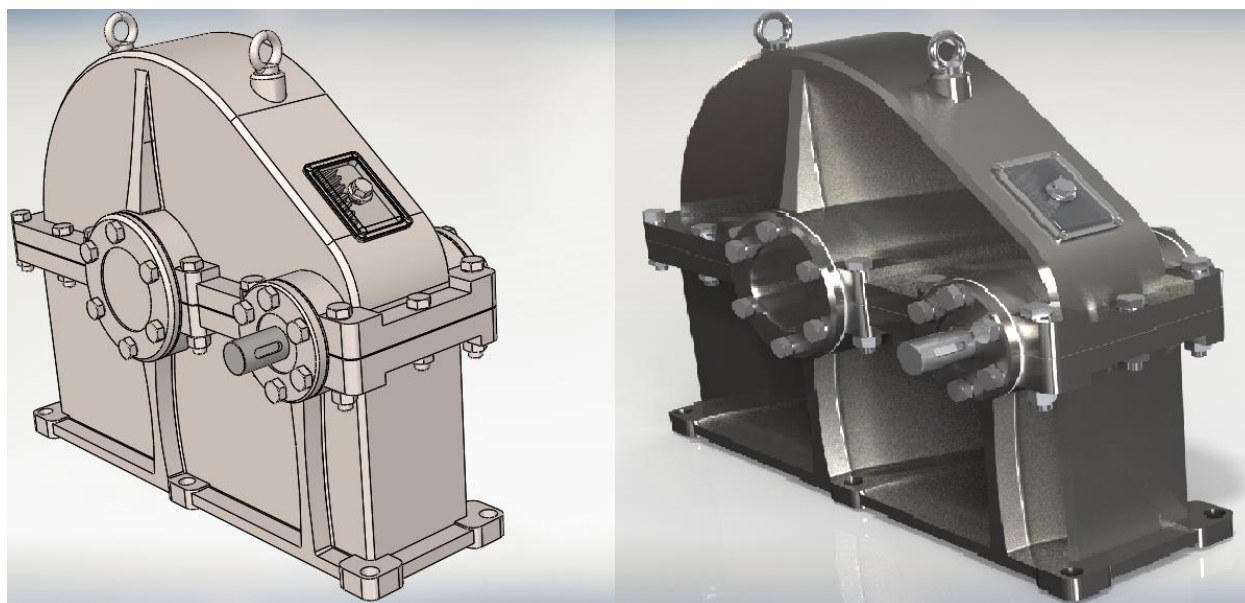
5. Рендеровање

Рендеровање ствара дводимензионалну слику засновану на тродимензионалном моделу. Сенци геометрију модела користећи постављено осветљење у радном простору, примењене материјале на моделу, и остале поставке као што су позадина, магла и други. Рендеровање може бити веома дугачак аспект пројекта који одузима доста времена приликом подешавања положаја макера, осветљења и материјала. У прошлости било је потребно утрошити више времена за рендеровање него што је потребно за креирање целог склопа. Поред тога, док радите са више извора светлости код којих сваки баца сенке рачунарски прорачуни захтевају изузетно јаке и модерне компјутере. Једно решење за скраћивање ових процеса у *Solidworks*-у јесте *Preview Window* опција која нам пружа да изглед приближне слике коначног изгледа модела. Пожељно је да прво рендеровање модела буде у лошијем квалитету ради провере пре финалног рендеровања.

Процес креирања компјутеризованог рендеровања укључује четири корака:

- Креирање модела
- Постављање осветљења
- Додељивање материјала
- Рендеровање

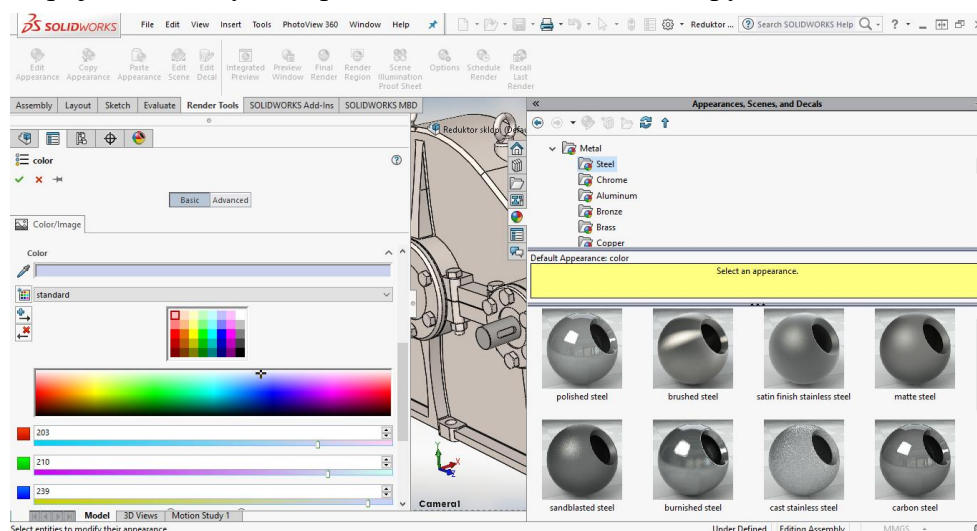
Осим креирања модела, сви остали процеси нису секвенцијални и изводе се у више наврата. Примера ради, након постављања осветљења потребно је креирати пробно рендеровање слике и ако нам се резултати не допадају потребно је поново намештати осветљење [5].



Слика 23. Изглед редуктора пре и после рендеровања

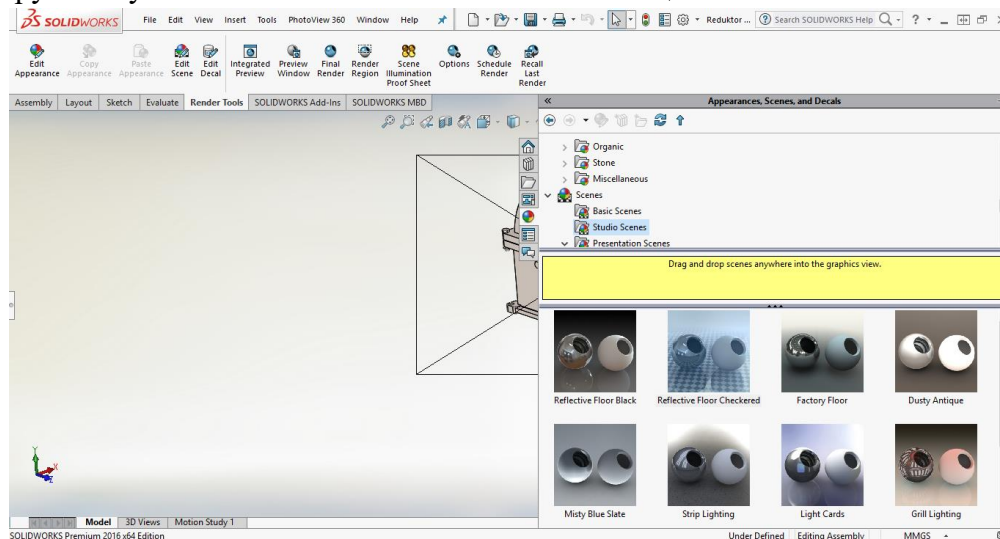
5.1 Израда рендеровања

У *Solidworks* додацима опција *PhotoView 360* и коју треба укључити директно у *assembly* окружење, она омогућава приступ *Render Tools* картици која даје приступ свим алатима потребним за рендеровање склопа редуктора. Први корак јесте додељивање материјала сваком од делова склопа, сваки материјал има одређену текстуру и другачију реакцију на осветљење у окружењу. За избор материјала улазимо у опцију *Edit Appearance* која садржи велики избор материјала и текстура, могуће је одабрати велики број челика, пластика, гума, дрвета и других метала као приказано на слици 24. Могуће је стварати нове материјале за жељене изгледе. Материјали се додељују превлачењем жељеног изгледа директно на делове склопа, материјали се могу копирати за лакше додељивање другим деловима склопа.



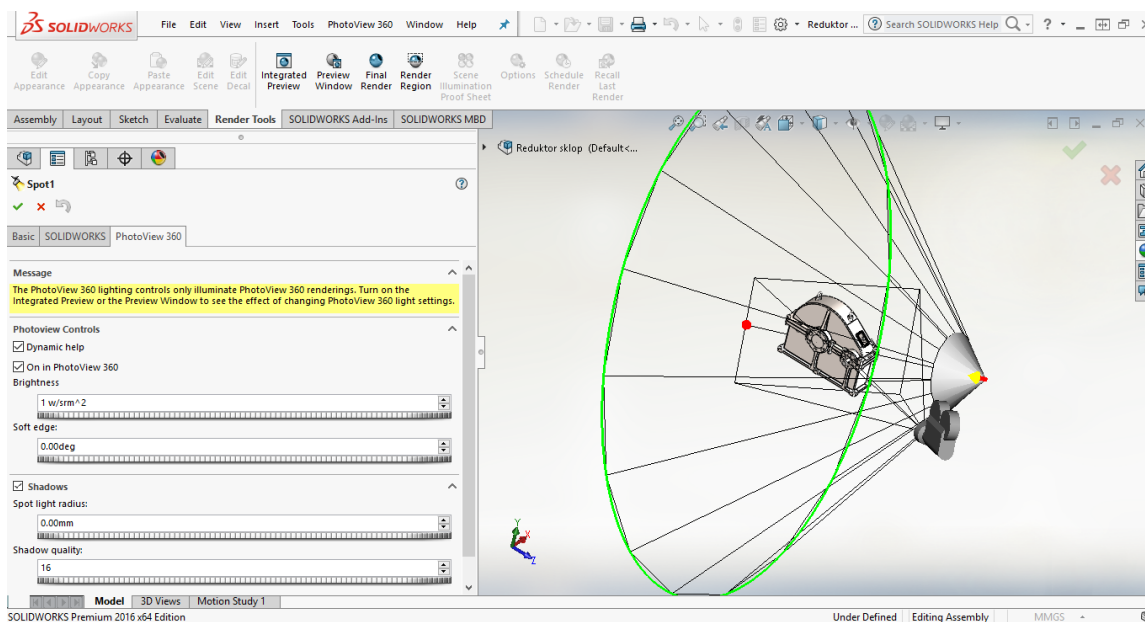
Слика 24. Избор материјала

Након одабира материјала следи постављање сцене опцијом *New Scene* у којој се бира изглед окружења у коме се наш склоп налази као на слици 25.



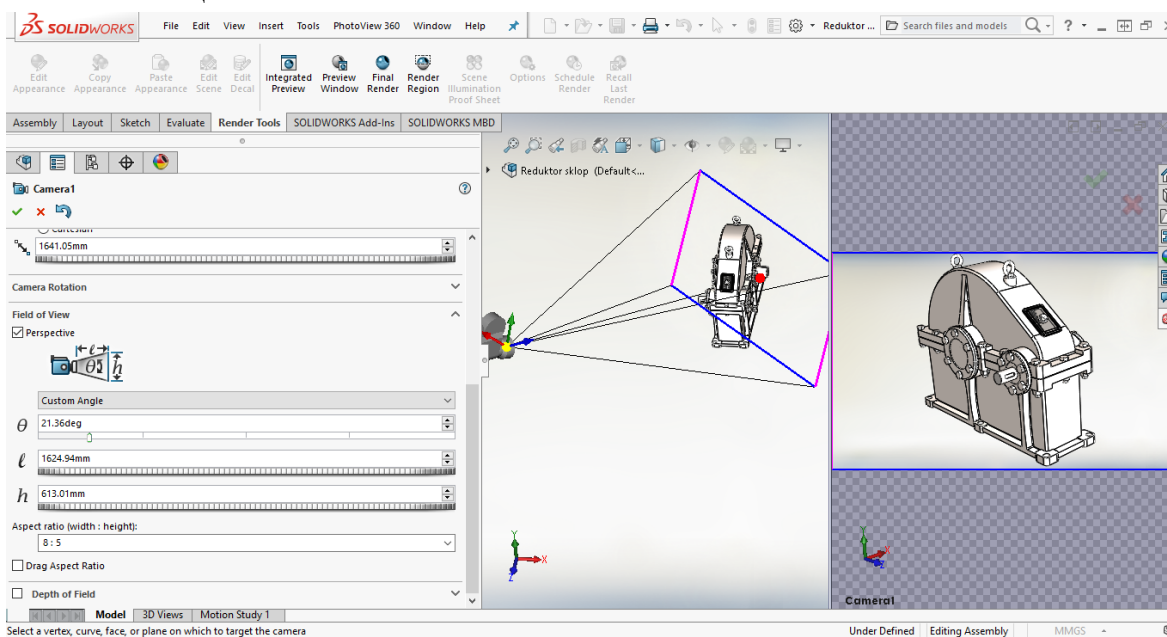
Слика 25. Избор сцене

Постављање осветљења у модел додаје нови ниво реализације. Комбинација пажљиво постављеног осветљења и реалних материјала доводе целокупни склоп ближе реалности. Постоји четири типа осветљења: Усмерено светло, са извором из тачке, сунчева светлост, рефлекторско светло приказано на слици 26. Свако од ових има одређене опције за јачину и квалитет сенке коју остварују.



Слика 26. Рефлекторско осветљење

На крају потребно је одабрати камеру и угао из кога ћемо снимити наш склоп редуктора. Додавањем камере се бира њен положај, оријентацију и однос висине и ширине видног поља као на слици 27.



Слика 27. Постављање камере.

6 Анимација у машинству

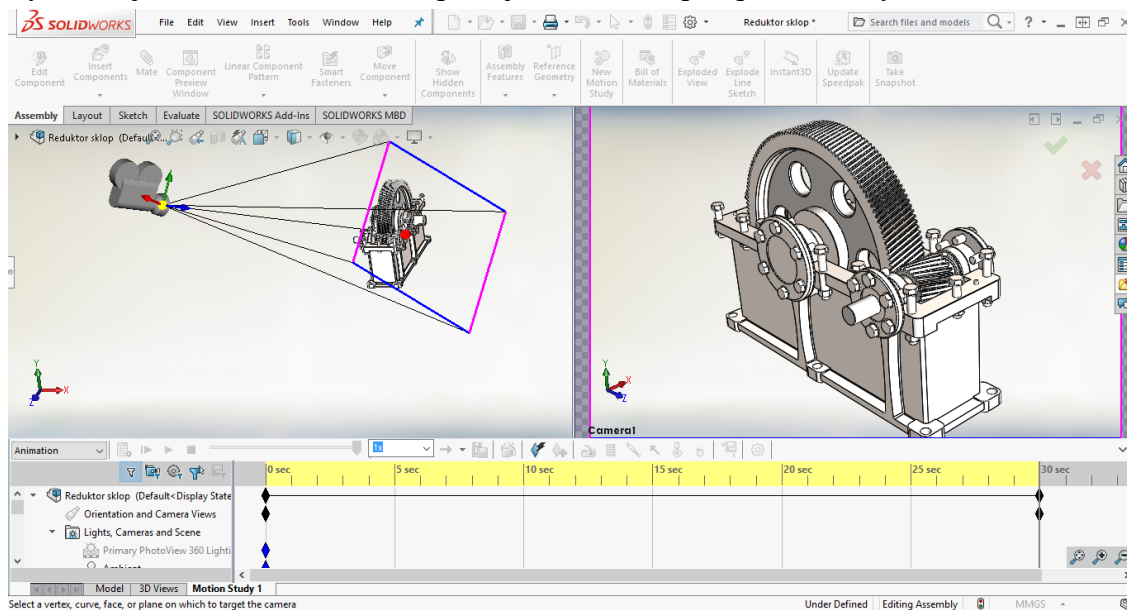
Анимација се може дефинисати на разне начине зависно од намере онога што творац жели да прикаже. Једна од дефиниција приказује анимацију као процес креирања ради преношења идеје или приче. CAD софтвери нам омогућавају да анимирамо наш модел како би лакше објаснили његову функцију и монтажу, и како се он уклапа са сличним производима. Приказивање видео записа је изузетно моћан начин комуникације на различитим језицима и са људима различитих степена образовања [7].

6.1 Историјат анимације

Док многи људи анимацију асоцирају са компјутерима, искључиво тродимензионалним (3D) сликама, већина историје асоцирана са техничком анимацијом починје у раним годинама деветнаестог века, 1824. године са изумом *Peter Rogers*-а као што су његови покретни објекти и тауматроп, 1831. године изумом фенакистоскопа од стране *Plateau*. Ове раније иницијативе довеле су до Едисоновог истраживања филма од 1887 до 1889 године. Иако су Едисонова истраживања започела коришћење филмова и анимације као форму комуникације и забаве, до открића кинематографије и првог анимираног филма „*Humorous Phases of Funny Faces*“ 1906. године од стране Лумиера јавност није увидела корист анимације. 1915. године *Erl Hurd* Амерички аниматор и филмски директор створио је нови начин прављења анимације под називом цел анимација. Овај изум је створио продуктиван начин израде анимације који се и данас користи, већина софтвера за анимацију користи овај процес за развој филма. 1927 године. Браћа Борнер објавили су прву анимацију која је комбиновала звук и слику названу „*The Jazz Singer*“ До овог догађаја анимација се састојала само од слика или фотографија логички и равномерно постављеним у реду или на округли диск сличан грамофонским плочама. 1928. године Дизни је направио прву успешну цртану анимацију у анимираном филму са Мики Маусом. Прва компјутерска анимација направљена је од стране *Bell laboratory* 1964. године. Од 1980. године у продају стиже велики избор софтвера за израду анимације. Средином деведесетих софтвери за израду анимације су постали толико приступачни да било ко уз поседовање персоналног рачунара у могућности је да ствара анимације, професионалци у наукама и техничким подручјима су кренули да их користе као врсту комуникације. Техничка анимација вуче корене из симулације, која је дефинисана као способност виртуалне симулације стварног окружења ради прикупљања података или демонстрирања процеса. Инжењери и научници користили су велике рачунаре шездесетих година да креирају виртуална окружења, због развоја рачунара и цени новонасталих софтвера осамдесетих година симулација постаје главни стил изражавања и комуникације међу инжењерима и научницима. Данас инжењери користе анимацију и симулацију у свакодневном раду, за тестирање материјала и окружења методом коначних елемената (FEA) и кретања флуида помоћу рачунара (CFD) [6].

6.2 Израда анимације

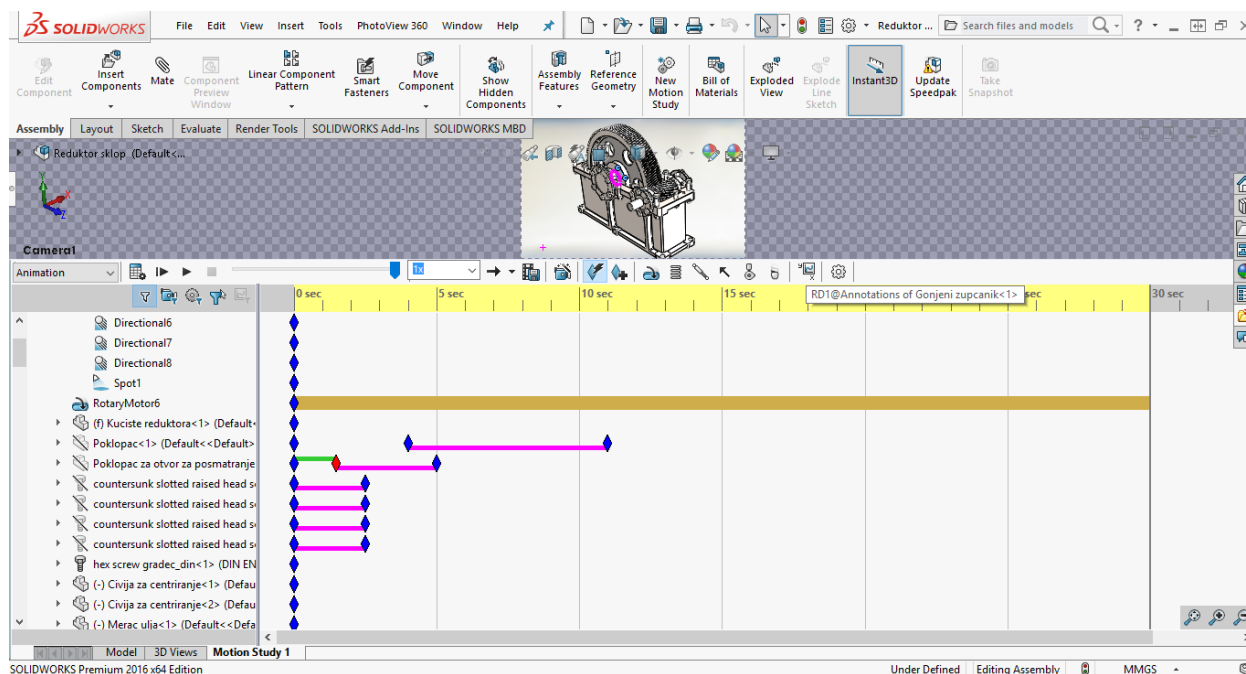
Долажење у окружење за израду анимације постиже се уласком на опцију *New Motion Study* која је у склопу *Assembly kartice*. Израда анимације у *Solidworks*-у започиње са постављањем камере која може бити статична или може имати линију кретања са усмерењем у жељеном правцу. Опције за постављање камере која се не помера приказане су на слици 28.



Слика 28. Постављање камере

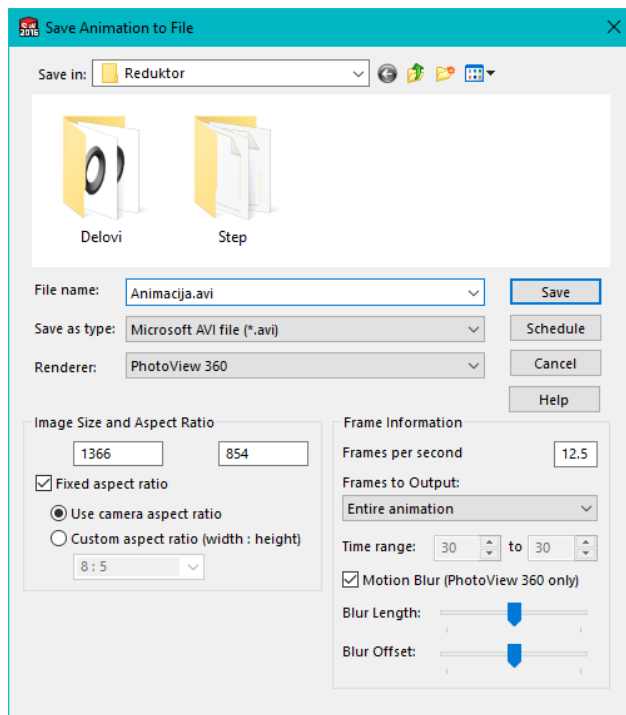
Камера може бити усмерена на одређен део конструкције и може бити слободна, усмерена камера прати кретање делова склопа уколико се они померају.

Solidworks користи временску траку на којој се налазе све камере, осветљења и делови склопа, са њима корисник може да интерактује мењајући им позицију, транспарентност, и друге. Постоје опције за постављање функције мотора, опруга, амортизера, силе, контакта и гравитације које склопу дају природнија кретања и доста олакшавају процес стварања анимације. На временској траци потребно је обележити свако кретање и дешавања делова у одређеном временском периоду. Одређено померање дела склопа постиже се обележавањем првобитне позиције на временској траци на жељеном временском периоду до кога неће бити померања, затим померамо модел и бележимо другу позицију у жељеном времену на временској траци. Модел ће имати транслаторно кретање између две позиције у дужина кретања зависиће од раздаљине почетног и крајњег положаја и трајања анимације кретања у временском интервалу одређеном на временској траци. На слици 29. види се временске интервале за *Motor* функцију која се поставља на једно од вратила, унутар те функције бира се смер обртања вратила и број обртаја који не мора бити константан, број обртаја који се одабере за анимацију требало би бити што мањи, да би анимација имала лепши изглед. На временској траци на слици 29. види се и временске интервале који су постављени за сакривање горњег поклопца кућишта, и на свим деловима на кућишту у различитим временским интервалима.



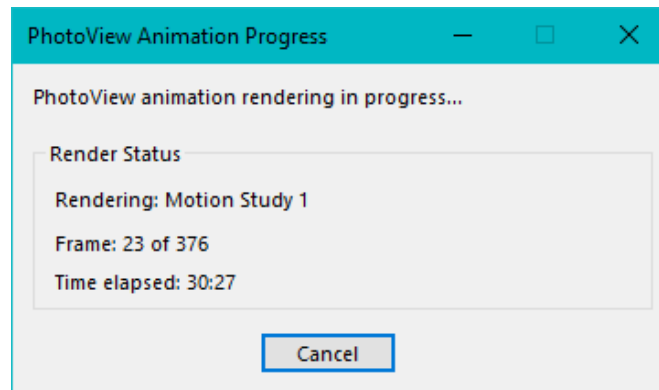
Слика 29. Временска трака за анимацију

Након постављања свих жељених померања и функција на анимацију редуктора потребно је да компјутер одради прорачун кретања анимације опцијом *Calculate*. После завршеног прорачуна анимација се може пустити у рад притиском на опцију *Play*. Задовољни резултатима анимацију треба сачувати и у видео формату опцијом *Save Animation* приказано на слици 30.



Слика 30. Чување анимације

Сачување рендероване анимације може трајати данима и зависи од опција за величину резолуције, количине кретања у анимацији, од жељеног броја фрејмова у секунди и осветљења. Ради смањења времена израде анимације резолуција је смањена са 1980x1025 на 1366x854 и број фрејмова са 30 на 12.5. Са оваквим подешавањима просечан временски период за израду једног фрејма је око 3 минута за анимацију од 30 секунди потребно нам је 20 сати рендеровања, приказ процеса рендеровања анимације налази се на слици 31.



Слика 31. Рендеровање анимације

7. Технички цртеж склопа

Технички цртеж представља основни документ по коме се израђују, контролишу и монтирају машински делови и склопови. Техничко цртање пружа знање и неопходне вештине за израду и читање техничког цртежа, у ортогоналним пројекцијама и у просторном приказу. Кроз техничко цртање стиче се знање о основним правилима, стандардима и приказима машинских облика у три пројекције. Стичу се знања потребна за разумевање, како конструкције тако и за самосталну израду техничке документације.[8]

У додатку рада приложен је технички цртеж склопа редуктора у три пројекције, као и рендеровани модел редуктора приказан у простору.

7 Закључак

Редуктори налазе велику примену у свим областима привреде и самим тим имају велики број конструкционих решења. Поштујући одређена правила за конструисање дошло се до финалног конструкционог решења за једностепени редуктор са цилиндричним зупчаницима.

CAD софтвери са лакоћом долазе од идеје до коначног изгледа *3D* модела за представљање на тржишту без потребе за прототипом. Време реализације концепта је умањено због тога што се у програмима за моделирање веома брзо врше преправке на моделима. Израда техничке документације на компјутерима је олакшана и само време израде је скраћено.

Анимација помаже код визуализације великог броја информација у релативно кратком временском периоду, као и да створи слику идеје неког истраживања широј публици. Анимација заслужује већу примену у пољу едукације због способности да са лакоћом објашњава сложеније облике и кретања из разних области.

8 Литература

- [1] Милан Д. Трбојевић, Момчило Р. Јанковић, Јово Вугделија, Слободан Ивковић, Војислав Латиновић: Редуктори, Београд, 1984.
- [2] Вера Николић: Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Крагујевац, 2004.
- [3] Read Atyat 251/2012, Прорачун цилиндричних зупчаника, Крагујевац, 2015.
- [4] Nicos Bilalis: *Computer aided design CAD*, Technical University of Crete, 2000.
- [5] David Cohn: *Photorealistic rendering Techniques in AutoCad 3D*, Autocad University 2009.
- [6] Aaron C. Clark *Technical Animation: A new concept for engeneering design graphics discipline*, NC State University, 2005.
- [7] John R. Bordeaux: *Introduction to Animation in AutoCAD 2013*, Kankakee Community College 2009.
- [8] Лозица Т. Ивановић, Милан Д. Ерић: Техничко цртање са компјутерском графиком – Практикум, ФИН, Крагујевац, 2011