

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Немања С. Аврамовић

**Израда конструкционе документације
склопа у области машинства
завршни рад**

Крагујевац, 2017

Факултет инжењерских наука Универзитета 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: 97/2014

Немања С. Аврамовић

**Израда конструкционе документације
склопа у области машинства
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Лозица Ивановић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

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

Немања Аврамовић 97/2014

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- изврши систематизацију техничких цртежа, опише њихов значај и карактеристике
- објасни толеранције дужинских мера и начин њиховог означавања на техничким цртежима
- представи примену софтвера у моделирању склопа на примеру конкретног производа
- уради конструкциону документацију склопа

Препоручена литература:

1. Ивановић Л., Ерић М.: Техничко цртање са компјутерском графиком - Практикум, ФИН, Крагујевац, 2011.
2. Ивановић Л.: Техничко цртање са компјутерском графиком, ауторизована предавања (скрипта), 2008.
3. Милојевић З., Рацков М., Кузмановић С., Кнежевић И., Навалушић С., Ивановић Л., Вереш М., Марковић Б.: Израда конструкционе документације, ФТН, Нови Сад, 2015.
4. Ненад Марјановић, Основе 3D моделирања у CAD софтверима, Крагујевац 2014.

Крагујевац, јун 2017.

Ментор:
Др Лозица Ивановић, ред. проф.

Садржај

1.	Увод.....	1
2.	Процес конструисања.....	2
2.1	Конструкциона документација.....	2
2.2	Техничка документација склопа.....	4
2.2.1	Формирање техничке документације.....	4
3.	Толеранције мера.....	6
3.1	Толеранције рупе (унутрашње мере).....	7
3.2	Толеранције осовине (спољашње мере).....	8
3.2	Толеранцијска поља.....	9
3.3	Толеранције налегања.....	10
4.	Геометрија редуктора са коничним зупчастим паром.....	14
4.1	Геометрија зупчастог пара.....	15
4.2	Геометрија вратила.....	16
5.	Процес формирања 3D модела склопа.....	17
6.	Технички цртежи.....	22
7.	Закључак.....	23
8.	Литература.....	24

Резиме :

У овом завршном раду описан је целокупан процес конструисања. Такође је описан целокупан процес израде конструкционе документације, техничке документације као и толеранције мера са посебним нагласком на толеранције рупе, осовине, налегања и толеранцијска поља. Извршен је прорачун геометрије редуктора са коничним зупчастим паром, при чему је одрађен прорачун геометрије зупчастог пара, геометрија вратила и на основу добијених резултата формиран и детаљно описан процес монтаже 3D модела склопа.

Кључне речи:

Конструкциона документације, техничка документација, толеранције, 3D модели, прорачун геометрије

Abstract:

In this final paper, the entire construction process is described. The entire process of design documentation design, technical documentation and tolerance measures with a particular emphasis on hole tolerance, axles, bending and tolerance fields are described. The calculation of the geometry of the gear converter with conical gear steam was performed, with the calculation of the geometry of the gear steam, the geometry of the shaft and on the basis of the obtained results a detailed and detailed description of the assembly process of the 3D model of the assembly was formed.

Key words:

Construction documentation, technical documentation, tolerances, 3D Models, geometry calculation

1. Увод

Тржиште данашњице захтева од произвођача да клијенту пружи пуну услугу од идеје до реализације пројекта. То подразумева да произвођач представи клијенту своју идеју за решавање проблема, водећи рачуна о економичности и својим могућностима. Мања предузећа чији се рад заснива на производњи машинских делова и склопова углавном су одређена на овакав вид пословања. Великосеријске производње су намењене предузећима са већим капацитетом док остала предузећа морају да се боре за своје место на тржишту излазећи у сусрет свим жељама клијента. Дакле, произвођач мора да затвори цео производни процес који се састоји превентивно од идеје, конструисања преко израде техничке документације до саме израде прототипа и његовог тестирања.

Овај рад се заснива на процесу израде целокупне конструкционе документације склопа једноставног редуктора. Циљ рада је да кроз пример покаже процес израде техничких цртежа свих делова склопа као и визуални приказ 3D модела. Такође, у првом делу рада дат је преглед основних врста техничких цртежа, описан је поступак израде техничке документације, а затим су дати и основни појмови који се односе на толеранције дужинских мера и њихово означавање на техничким цртежима.

За правилну израду конструкционе документације неопходна су знања из следећих области:

- Нацртне геометрије
- Техничког цртања
- Компјутерске графике

Нацртна геометрија представља теоријску основу израде техничких цртежа. Циљ изучавања овог дела је развијање простора и пространог представљања основних геометријских елемената и њихових међусобних односа како у простору, тако и у равни.

Техничко цртање пружа знање и неопходне вештине за израду и читање техничких 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 начина примене приказаног машинског дела, а такође и за самосталну израду техничке документације.

Компјутерска графика омогућава аутоматизацију инжењерско-графичких поступака, који се уз помоћ рачунара изводе квалитетније, тачније и брже. Основни циљ ове дисциплине је усвајање метода и средстава компјутерске графике, стицање знања и вештина у раду са програмским пакетом AutoCAD, аутоматизација процеса израде цртежа склопа, радионичких цртежа детаља и израде техничке документације.

Технички цртеж мора бити дефинисан обликом, што значи да буде у потпуности одређен предмет кога касније треба изградити предвиђеним технолошким поступком. Пре свега цртеж треба бити јасан, тачан и уредан (цртање се врши према строгим правилима техничког цртања). [1]

2. Процес конструисања

Конструисање је креативни процес који се одвија по узастопним етапама при чему се полази од идеје, а на крају се добија конструкционо технолошка документација за производњу машинског система. Циљ конструисања је да за техничке проблеме нађе решења, односно да испуни све захтеве за производњу и експлоатацију, а да при томе машински систем буде конкурентан на тржишту. Конструисање подразумева активност која се своди на дефинисање и узајамно распоређивање елемената и подсклопова неке машине или уређаја. Базира се на резултатима пројектовања и прецизира сва инжењерска решења која су настала при пројектовању. Као резултат пројектовања настаје конструкциона документација која обезбеђује пренос свих конструкционих информација на нови производ чиме се обезбеђује њихова рационална израда и експлоатација.

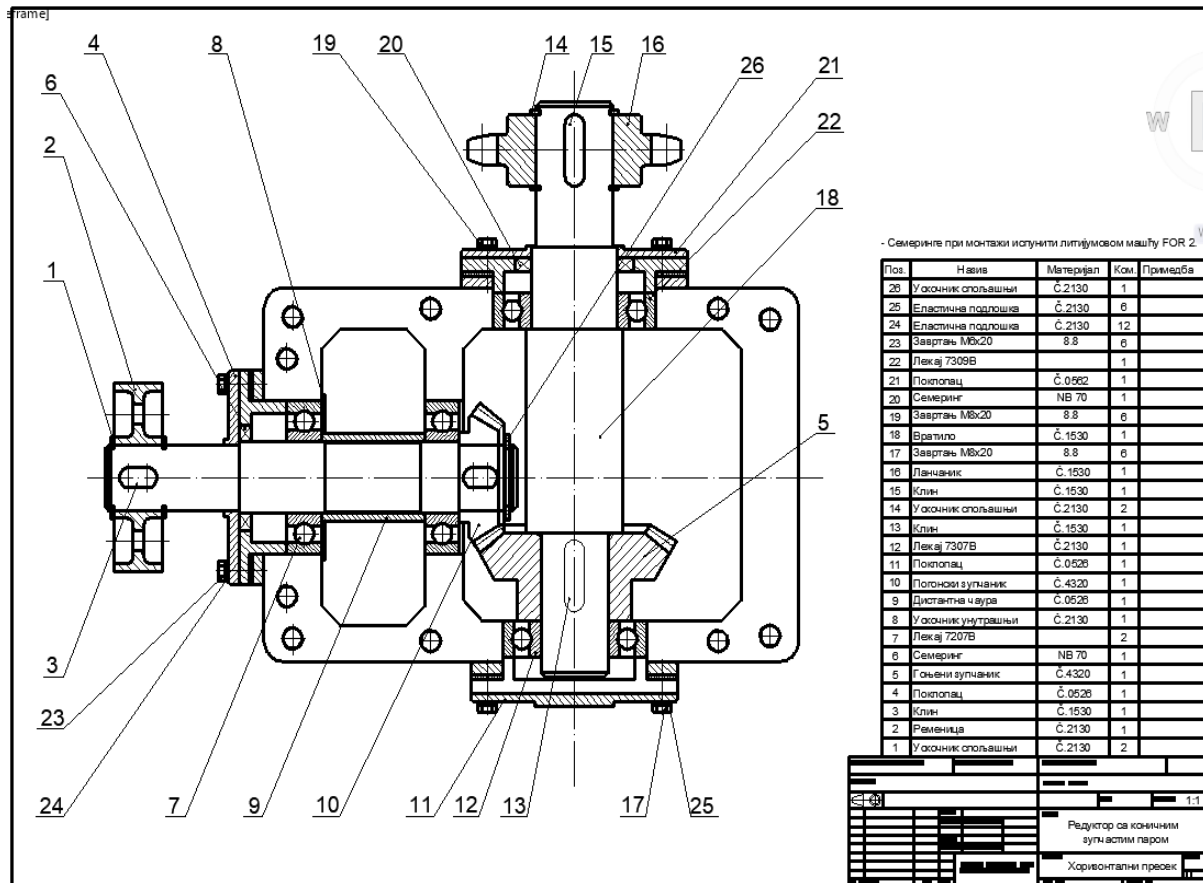
2.1 Конструкциона документација

Конструкциона документација представља резултат пројектовања коју сачињава више докумената, а то су:

- Цртеж дела
- Цртеж склопа
- Саставница
- Цртеж општег изгледа
- Габаритни цртеж
- Цртеж уградње
- Експанзиони цртеж
- Табела
- Шема
- Све врсте упуства

Цртеж дела (радионички цртеж) је основни документ на којем је дат графички приказ дела, његов облик, карактеристичне димензије, толеранције, материјал, квалитет обраде и сви други подаци за израду и контролу. На њему је потребно посебно истаћи све кота чија нетачност изазива критичне мане.

Цртеж склопа (склопни цртеж) је документ на којем је приказан изглед склопа и сви други подаци везани за његово склапање и контролу (слика 1). У склопне цртеже спадају и цртежи по којима се врши монтажа цевних инсталација.



Слика 1. Технички цртеж склопа

Саставница (спецификација) је документ на којем је дат списак свих делова који сачињавају један склоп.

Цртеж општег изгледа је документ који приказује изглед производа, узајамно дејство компонената и објашњава принцип његовог рада.

Габаритни цртеж је документ на којем је дат упрошћен приказ контуре производа са габаритним и прикључним димензијама. Овај цртеж се обично користи при сагледавању могућности транспорта, паковања и сл.

Цртеж уградње је документ на којем је упрошћено приказана контура производа и сви потребни подаци за уградњу.

Експанзион цртежи су цртежи на којима су визуелно (3D) приказани сви делови у растављеном стању и служи за то да свако може да види саставне делове склопа. Ови цртежи су намењени сервисерима и ремонтним радницима ради лакшег наручивања резервних делова.

Табела је документ у којем су дати одговарајући подаци машинских делова и склопова у табеларном облику.

Шема представља документ у коме су упрошћено приказане саставне компоненте склопа и веза између њих.

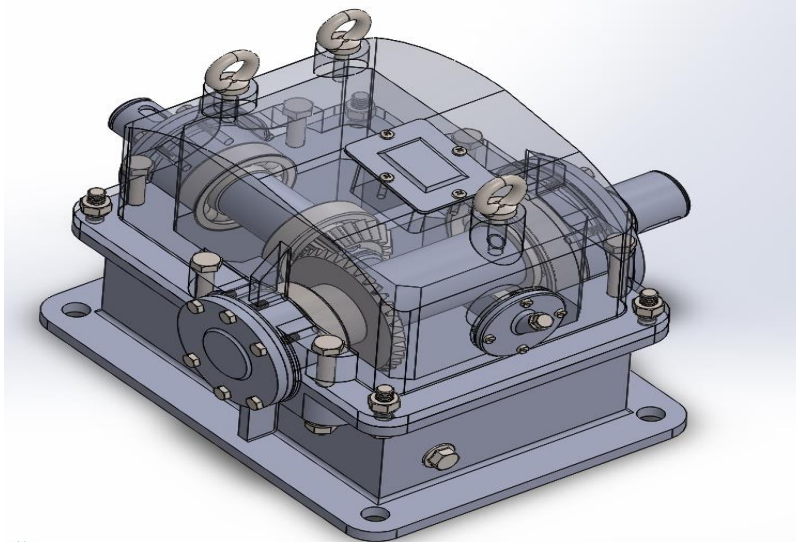
Упутства су документи у којима су дата сва потребна објашњења везана за производ. У склопу конструкционе документације спадају упутства за експлоатацију, надзор, одржавање и рекламацију.[2]

2.2 Техничка документација склопа

Више машинских делова повезаних у једну функционалну целину представљају склоп. Скуп цртежа главног склопа, подсклопа и машинских делова представљају техничку документацију склопа. За разраду техничке документације склопа примењују се стандарди техничког цртања. Израда документације, односно израда радионичких цртежа и 3D модела (слика 2.) ради се у неком од CAD (Computer Aided Design) софтвера као што су AutoCad, SolidWorks, Catia, Inventor, Solid-edge.

Пре израде техничких цртежа склопа потребно је да се утврди:

- какву функцију има склоп
- каква је улога појединих делова у току рада
- у каквој су међусобној вези поједини делови склопа
- облик и мере појединих делова склопа и материјал од кога су израђени [3]



Слика 2. Визуелни приказ редуктора са коничним зупчастим паром

2.2.1 Формирање техничке документације

Формирање техничке документације је тачно прописано одређеним стандардом. Стандард који је дефинисао овај поступак је ISO 128 и он садржи 12 делова. Овим стандардом се прописују општи принципи формирања техничког цртежа, тј. графички приказ производа на техничком цртежу.

Након дефинисања новог производа, неопходно је изградити радни извештај, који је потребно да поседују сви сарадници и руководиоци. Извештај не треба бити опширан али је неопходан због детаљног објашњења идеје за нови производ.

Садржај радног извештаја треба да поседује потпуно објашњење новог производа, његове предности и мане, преглед свих трошкова, опис предности у односу на конкурентне производе. Такође, треба да садржи и детаљно објашњење

конструкционог решења због тога што извештај читају специјалисти који поседују различито образовање. Основне ставке које извештај садржи су:

- Корице, то је углавном лист у боји на којем су исписани основни подаци (назив извештаја, назив компаније и заштитни знак компаније),
- Насловну страницу, чији је садржај назив новог производа, име конструктора, датум итд.,
- Пропратно писмо, је писмо које је упућено на адресу компаније која је издала пројектни задатак. У писму се углавном наводи обавештење да је пројектовање окончано и да је добијени резултат послат на проучавање. У писму се може навести да се документ мора чувати као пословна тајна,
- Предговор, или увод садржи опис производа који је пројектован,
- Белешке,
- Садржај,
- Преглед математичких симбола,
- Основни материјал извештаја:
 - увод
 - опис производа, предности и недостаци
 - анализа трошкова
 - цртежи

Цртеж треба бити израђен тако да приказује функционалност, како би се на основу њега могли израђивати радионички цртежи и цртежи подсклопова, што значи да на цртежу треба дати све важне и значајне димензије.

- Списак литературе коришћене при пројектовању;
- Речник термина;
- Прилоге;
- Списак докумената;
- Преглед свих лица или установа којима је достављен извештај.

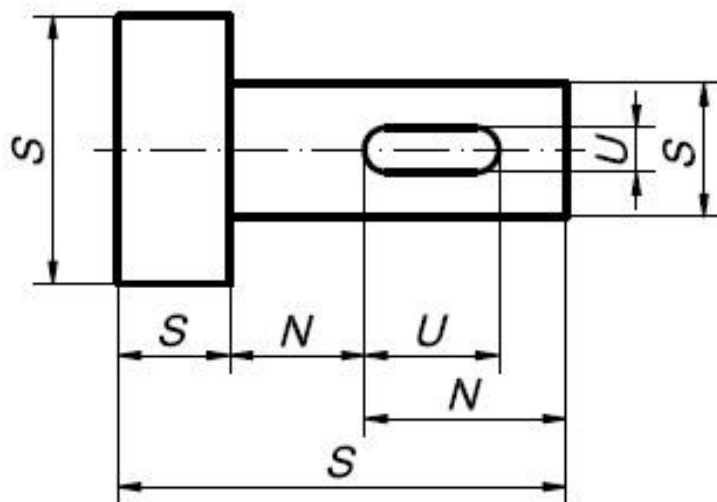
Треба навести да у извештају није обавезно наводити све елементе, неки од њих могу бити изостављени по жељи аутора. При завршетку извештаја он се углавном даје комисији на расправу која одлучује да ли се пројекат одобрава или одбацује. [2]

3. Толеранције мера

При изради машинских делова и елемената долази до одређених одступања од вредности кота која су последица нетачности алатних машина, хабања резног, стезног и мерног алата, грешке мајстора при изради, мерењу и читавању, еластичности материјала и сл.

Ретко има потребе да кота мора да буде идеално тачна, односно тачно она вредност која стоји на цртежу. Да би део функционисао та одступања од задатих мера морају бити у одређеним границама, такозваним, толеранцијама дужинских мера. Дозвољено одступање од прописане вредности назива се толеранција, односно толеранција представља разлику између минималне и максималне дозвољене димензије. Дозвољена одступања прописује конструктор на конструкционој документацији. Никада не треба захтевати већу тачност од прописане, јер повећана тачност знатно повећава тачност израде а самим тим и цену финалног производа. Вредности одступања дефинисане су стандардом.

Стандард прави разлику између спољашњих и унутрашњих мера. Спољашње мере су оне које се могу обухватити мерним прибором са спољашње стране (S). Унутрашње мере су оне које се обухватају мерним прибором са унутрашње стране (U). Мере које садрже и унутрашње и спољашње мере називају се мешовите мере (M), а мере које се не могу сврстати ни у спољашње ни у унутрашње називају се неизвесне мере (N). На слици 3. дат је приказ спољашњих, унутрашњих, мешовитих и неизвесних мера. [2]



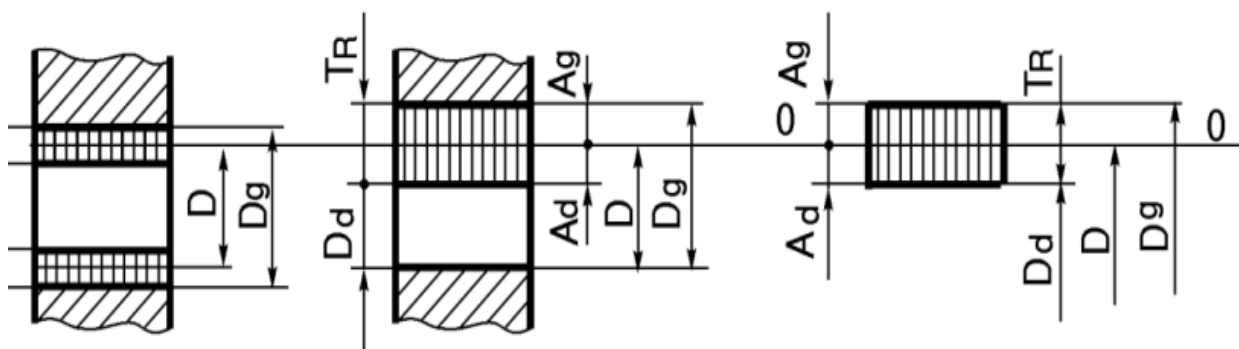
Слика 3. Врсте мера

3.1 Толеранције рупе (унутрашње мере)

Толеранције рупе са свим параметрима са којима се дефинише приказана је на слици 4. Називи параметра и ознаке се обележавају великим словима.

Ради јаснијег представљања уводе се следеће ознаке: [4]

- D_g - горња мера
- D_d - доња мера
- EI - доње одступање
- ES - горње одступање
- T - толеранција пречника
- D_s - стварни пречник
- E - стварна одступања
- A_g - горње гранично одступање
- A_d - доње гранично одступање



Слика 4. Толеранцијско поље за рупу са параметрима који га дефинишу

Одступање од задате мере је алгебарска разлика одређене и називне мере. Постоји позитивно и негативно одступање. Позитивно, ако је дотична мера већа од називне, а негативно, ако је дотична мера мања од називне мере. Називно одступање је алгебарска разлика граничне мере и називне мере.

Горње гранично одступање (ES), представља алгебарску разлику горње граничне мере и називне мере

$$ES = D_g - D$$

Доње називно одступање (EI), је алгебарска разлика горње и доње граничне мере и називне мере

$$EI = D_d - D$$

Стварно одступање (E) је разлика стварне и називне мере

$$E = D_s - D$$

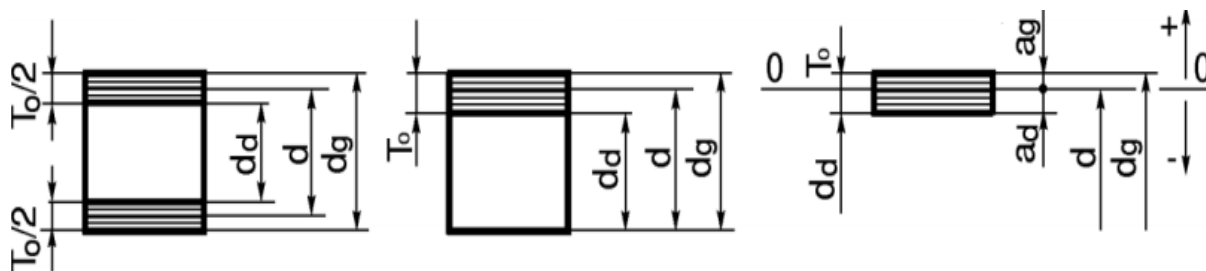
Толеранција (T) је разлика између горње и доње граничне мере

$$T = ES - EI$$

3.2 Толеранције осовине (спољашње мере)

Толеранција осовине је приказана на слици 5, где су дати сви параметри којим се дефинише. Ови параметри се односе на све спољашње мере. Основни параметар је толеранција или висина толеранцијског поља, означено са T_0 . Називи параметара и ознаке се обележавају исто као и за рупу, само малим словима.

- d_g - горња мера
- d_d - доња мера
- ei - доње одступање
- es - горње одступање
- t - толеранција пречника
- d_s - стварни пречник
- e - стварна одступања
- a_g - горње гранично одступање
- a_d - доње гранично одступање



Слика 5. Толеранцијско поље за осовину са параметрима који га дефинишу

Горње гранично одступање (ES), представља алгебарску разлику горње граничне мере и називне мере

$$es = d_g - d$$

Доње називно одступање (EI), је алгебарска разлика горње и доње граничне мере и називне мере

$$ei = d_d - d$$

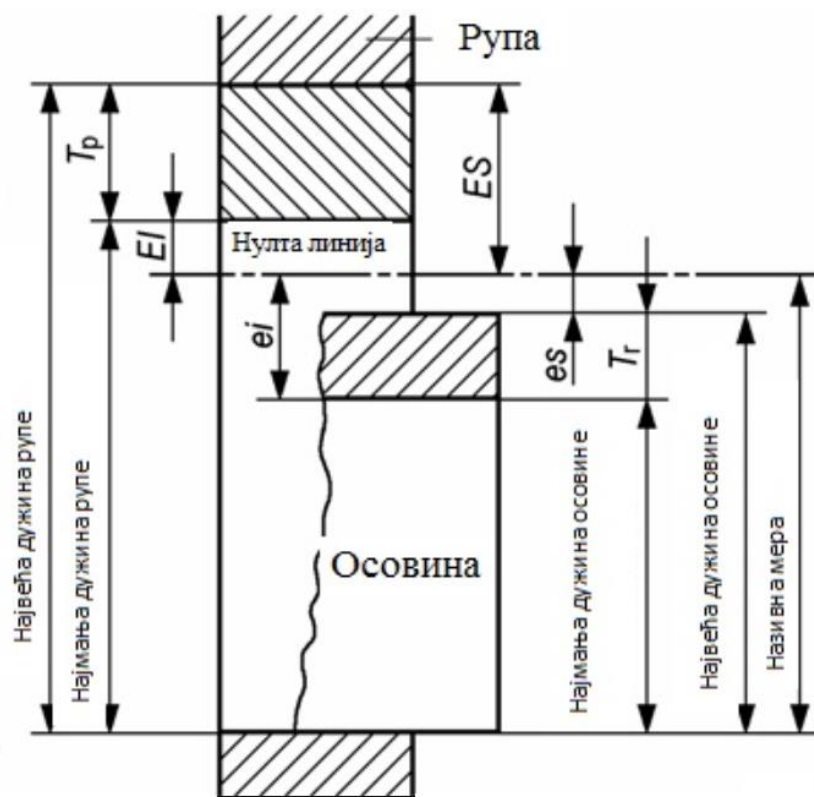
Стварно одступање (E) је разлика стварне и називне мере

$$e = d_s - d$$

Толеранција (T) је разлика између горње и доње граничне мере

$$t = es - ei$$

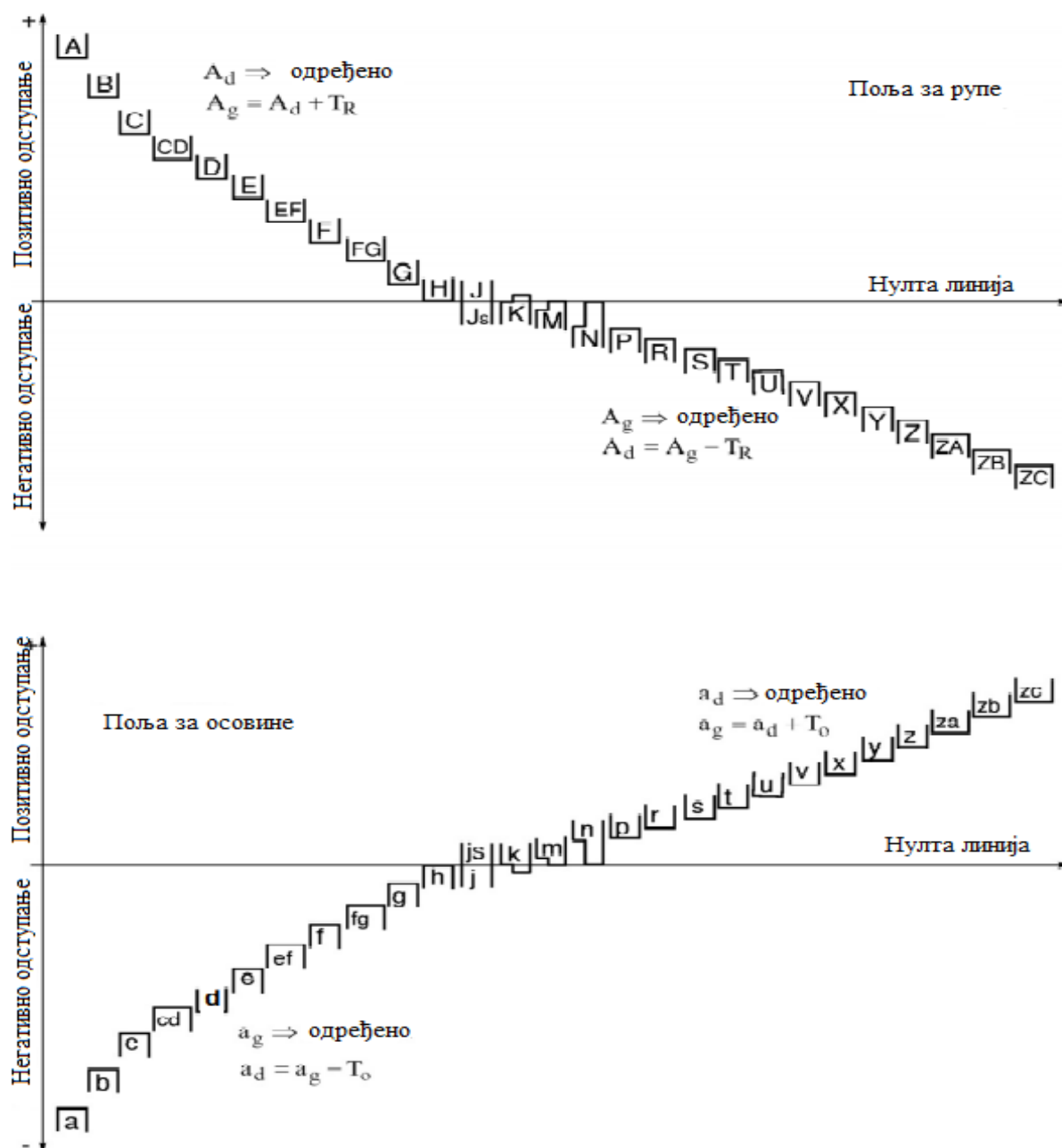
Пордручје ограничено горњим и доњим граничним одступањем назива се толеранцијским пољем и приказано је на слици 6. [2]



Слика 6. Графички приказ граничних мера

3.2 Толеранцијска поља

Могући положај толеранцијских поља и начин њиховог означавања дат је на дијаграму (слика 7). Означавају се словима абееде, великим за рупе $A, B, \dots ZC$, а малим за осовине $a, b, \dots zc$. На дијаграму је приближно сразмерно приказана удаљеност сваког поља од нулте линије. Основно одступање је обично оно одступање (горње или доње) које је ближе нултој линији. Вредности основних одступања толеранцијских поља за рупе и осовине у зависности од њихових називних мера дате су у одговарајућим табелама. [5]



Слика 7. Положај стандардних толеранцијских поља

3.3 Толеранције налегања

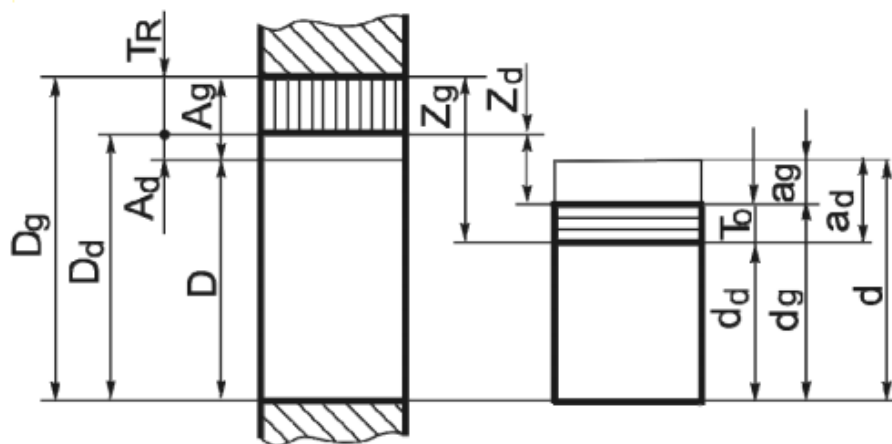
Однос двају делова склопа и осовине и рупе истих називних мера пречника, који произилази из разлике њихових стварних мера пре склапања зове се налегање. Стандардно налегање означава се тако што се иза заједничке називне мере пречника ставља ознака толеранције пречника рупе, затим црта и онда ознака толеранције пречника осовине. Постоје три основне врсте налегања у машинству, а то су :

- Лабаво налегање
- Чврсто налегање
- Неизвесно налегање

Лабаво налегање, је налегање са зазором и оно се јавља када је пречник рупе већи од пречника осовине, за било које мере у оквиру дозвољених толеранција.

Зазор се рачуна као:

$$Z = D - d$$



Слика 8. Лабаво налегање

Горњи или највећи зазор :

$$Z_g = D_g - d_d = ES - ei$$

Доњи или најмањи зазор:

$$Z_d = D_d - d_g = EI - es$$

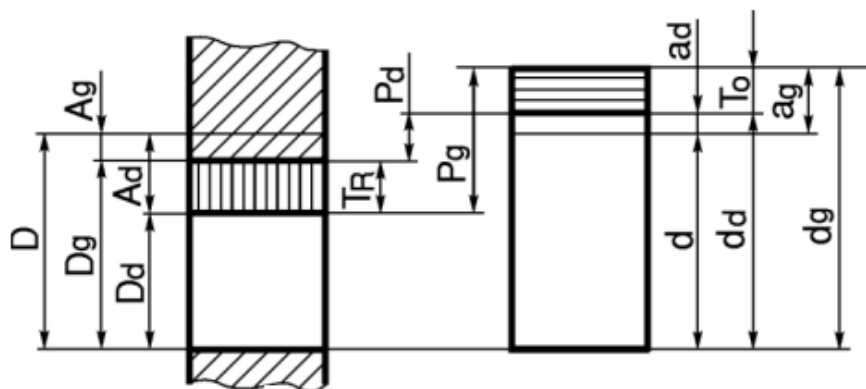
Средњи зазор:

$$Z_{sr} = \frac{Pg - Pd}{2}$$

Чврсто налегање, представља налегање са преклопом и јавља се када је пре склапања пречник осовине увек већи од пречника рупе, за било кој стварне мере у оквиру дозвољених толеранција.

Преклоп се рачуна као:

$$P = d - D$$



Слика 9. Чврсто налегање

Горњи или највећи зазор :

$$P_g = d_g - D_d = es - EI$$

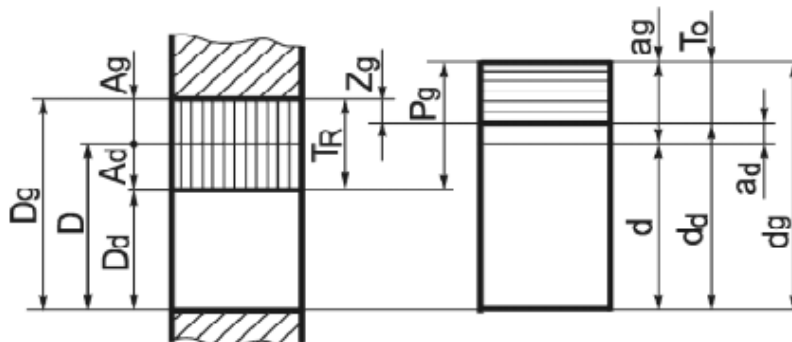
Доњи или најмањи зазор:

$$P_d = d_d - D_g = ei - ES$$

Средњи зазор:

$$P_{sr} = \frac{Pg - Pd}{2}$$

Неизвесно налегање је оно налегање код кога се може јавити или зазор или преклоп, зависно од стварних вредности пречника осовине и рупе. Вредности горњих зазора и преклопа овде се рачунају према изразима који важе за налегање са зазором, односно преклопом. Карактер налегања је ближе одређен вредношћу средњег зазора или преклопа који се могу појавити код неизвесног налегања.



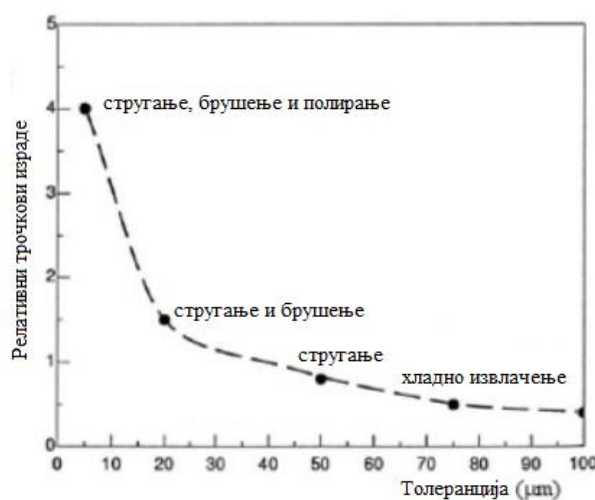
Слика 10. Неизвесно налегање

У машинству се користе два стандардна система налегања и то:

- Систем налегања са основном рупом (систем заједничке рупе)
- Систем налегања са основном осовином (систем заједничке осовине)

У систему налегања заједничке рупе заједничко толеранцијско поље је поље ознаке H , а у систему налегања са основном осовином заједничко толеранцијско поље је ознаке h . У пракси се више примењује систем налегања са основном рупом.

При конструисању инжењери гледају да се што више приближе идеалним рачунским мерама. Израда са великом тачношћу мера у уским границама одступања повећава вероватноћу настајања шкарта, а сем тога захтева и повећане трошкове опреме, алата и контроле. Као што се види на слици 11 трошкови израде расту са смањењем вредности допуштених толеранција. Избор толеранција се углавном врше на основу препорука и искуства.



Слика 11. Зависност трошкова од толеранције израде

Стандардима су такође дефинисана дозвољена налегања у систему основне рупе и осовине, при чему постоје три степена приоритета. Прва два степена приоритета за мере до 500 mm дат је у табели на слици 12. Налеганја првог степена приоритета увек треба да се користе, другог степена приоритета само када су оправдани разлози за то док се трећи степен приоритета ретко користи тј. користи се само када је то неопходно.[4]

Vrste naleganja	Sistem zajedničke unutrašnje mere		Sistem zajedničke spoljne mere	
	Preporučena naleganja	Prioritetna naleganja	Preporučena naleganja	Prioritetna naleganja
Labavo naleganje	H11/b11, d11 H9/d10 H8/a9,b9,c8,e9 H7/a9, b8, c8, d8 H6/e7	H11/a11 H11/c11 H9/e9 H8/d9	A11/h11 C11/h11 D10/h9 E9/h9 E9/h8	B11, D11/h11 A9,B9,C9,D9/h8 A9, B8, C8/h7 A9, B8, C8, D8, E8/h6
	H9/f8 H6/f6	H8/f8 H7/f7	F7/h6	F8/h8 F6/h5
	H6/g5	H7/g6	-	G7/h6 G6/h5
	H9/h8 H8/h7 H6/h5	H11/h11 H8/h8 H7/h6	H11/h11 H9/h9 H8/h8 H6/h6	H9/h8 H8/h7 H6/h5
Neizvesno naleganje	H6/j5 H8/j7	H7/j6	-	J8/h7 J7/h6 J6/h5
	H8/k7 H6/k5	H7/k6	-	K8/h7 K7/h6 K6/h5
	H8/m7 H7/m6 H6/m5	-	-	M8/h7 M7/h6 M6/h5
	H8/n7 H6/n5	H7/n6	P7/h6	N8/h7
Vrste naleganja	Sistem zajedničke unutrašnje mere (ZR)		Sistem zajedničke spoljne mere (ZO)	
	Preporučena naleganja	Prioritetna naleganja	Preporučena na naleganja	Prioritetna naleganja
Čvrsto naleganje	H8/p7, r7 H6/p5, r5	H7/p6 H7/r6		N6, P6, R6/h5
	H9/r9 H8/s8, t8, t7 H7/s6, t6 H6/s5, t5	-	-	T9/h9 S8, 58/h8 S7, T7/h6 T6/h5
	H11/x11, z11 zb11,zc11; H10/u10, x10, z10, zb10, zc10; H9/u9, x9, z9, zb9, zc9 H8/u7, x7, z7, z8, zb8, zc8 ; H6/u5	H8/u8 H8/x8	U8/h8 X8/h8	U10, X10, Z10/h10 ZB10, ZC10/h10 U9, X9, Z9/h9 ZB9, ZC9/h9 Z8, ZB8, ZC8/h8 X7, Z7/h7; U6/h5

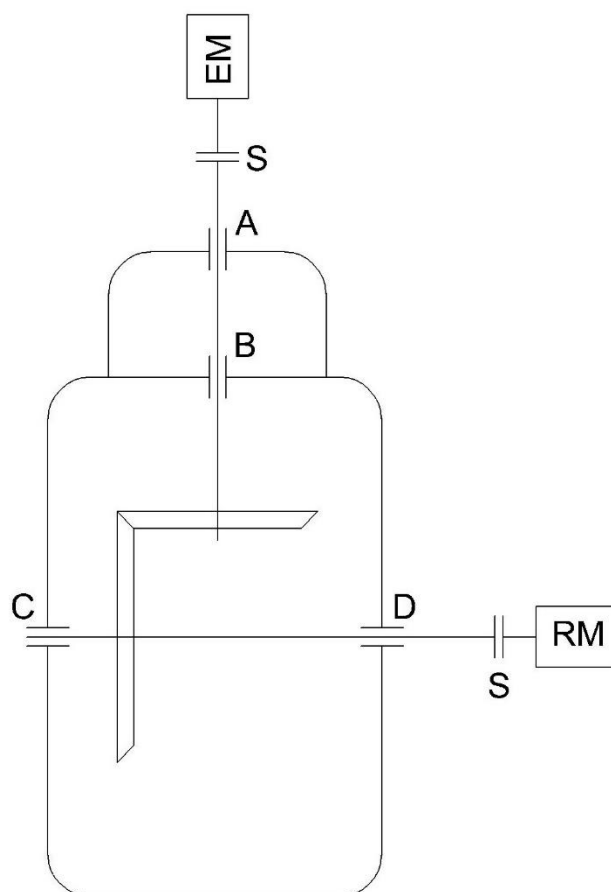
Слика 12. Препоручена налегања за мере до 500 mm.[*]

4. Геометрија редуктора са коничним зупчастим паром

Комплетан прорачун редуктора урађен је у оквиру пројектног задатка из предмета Машински елементи 2. [6]

Задате карактеристике преносника:

- $P_{em} = 1,47 \text{ KW}$
- $n_{iz} = 453 \text{ min}^{-1}$
- $n_{em} = 700 \text{ min}^{-1}$
- $\eta_s = 0,99$
- $L_h = 10\,000 \text{ h}$
- $\beta = 20^\circ$
- $\eta_R = 0,96$
- $K_A = 1,25$



Слика 13. Скица једноступеног коничног редуктора

4.1 Геометрија зупчастог пара

При изради зупчаника веома битан корак је избор материјала. Током рада зупчаници су у спречи, самим тим трпе веома велике ударе и из тог разлога треба изабрати материјал са што већом површинском тврдоћом. Коришћени материјал за израду зупчаника је 16MnC₅ (Š.4320 – челик за цементацију). Циљ цементације је остваривање тврдоће на површинским слојевима. Дубина цементације за модул 3 ($m = 3$) је од 0,5 до 0,6 mm.

ПОГОНСКИ ЗУПЧАНИК:

- Усвојени број зубаца зупчаника је :

$$Z_1 = 22$$

- Ширина зупчаника

$$b = 0,15 \cdot del \cdot \sqrt{u^2 + 1} = 0,15 \cdot 56,13 \cdot \sqrt{1,54^2 + 1} = 15,45 \text{ mm}$$

Усваја се $b = 16 \text{ mm}$

- Осни угао

$$\sum \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{u} = \frac{1}{1,54} = 0,649^\circ$$

$$\delta_1 = \operatorname{arctg} 0,649^\circ = 32,98^\circ$$

- Пречник спољашњег подеоног круга

$$d_{e1} = m \cdot Z_1 = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$$

- Спољашње конично растојање

$$Re = \frac{d_{e1}}{2 \sin \delta_1} = \frac{66}{2 \sin 33^\circ} = 60,71 \text{ mm}$$

- Пречници темених кругова

$$d_{a1} = d_{e1} + 2h_{a1} \cdot \cos \delta_1 = 66 + 2 \cdot 3 \cdot \cos 32,98^\circ = 71 \text{ mm}$$

- Пречник подеоног круга

$$d_{f1} = d_{e1} - 2h_{f1} \cdot \cos \delta_1 = 66 - 2 \cdot 3,6 \cdot \cos 32,98^\circ = 60 \text{ mm}$$

ГОЊЕНИ ЗУПЧАНИК:

- Усвојени број зубаца зупчаника је :

$$Z_1 = 34$$

- Ширина зупчаника

$$b = 0,15 \cdot del \cdot \sqrt{u^2 + 1} = 0,15 \cdot 56,13 \cdot \sqrt{1,54^2 + 1} = 15,45 \text{ mm}$$

Усваја се $b = 16 \text{ mm}$

- Осни угао

$$\sum \delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$$

$$\delta_2 = 90^\circ - 32,98^\circ = 57,02^\circ$$

- Пречник спољашњег подеоног круга

$$d_{e1} = m \cdot Z_2 = 3 \cdot 34 = 102 \text{ mm}$$

- Спољашње конично растојање

$$Re = \frac{de1}{2\sin\delta_1} = \frac{66}{2\sin 33^\circ} = 60, 71 \text{ mm}$$

- Пречници темених кругова

$$d_{a2} = de_2 + 2 h_{a2} \cdot \cos \delta_2 = 102 + 2 \cdot 3 \cdot \cos 57,02^\circ = 106 \text{ mm}$$

- Пречник подеоног круга

$$df_2 = de_2 - 2h_{f2} \cdot \cos \delta_2 = 66 - 2 \cdot 3,6 \cdot \cos 57,02^\circ = 98 \text{ mm}$$

4.2 Геометрија вратила

Као и при изради зупчаника избор материјала је веома битан корак при конструисању. Вратила су машински елементи за пренос снаге и обртног момента, оптерећена на увијање и савијање. Коришћени материјал за израду вратила је С45 (Ћ.1530 - челик за побољшање). Овај челик има мању тврдоћу али је изузетно отпоран на увијање што је веома важно вратила. У пракси, вратила се најчешће израђују од овог материјала.

Основне карактеристике материјала : Ћ.1530

$$\tau_{D(0)} = (230 \div 310) \text{ MPa}$$

При прорачуну вратила усваја се : $\tau_{D(0)} = 270 \text{ MPa}$

$$\sigma_{D(-1)} = 320 \text{ MPa}$$

$$Rm = 705 \text{ MPa}$$

$$s = (1,5 \div 2,5)$$

Усвојена вредност степена сигурности: $s = 2$

$$K_A = 2,4 \quad ; \quad K_S = 3,2 \quad ; \quad K_1 = 2 \quad ; \quad K_B = 2,4$$

Димензије пречника вратила усвајају се из табеле за стандардне пречнике вратила на основу добијених вредности рачунских пречника.

Вратило 1:

Ознака	Место А	Место В	Место 1	Место S	Јединица
Вредност	35	35	32	32	mm

Вратило 2:

Ознака	Место С	Место D	Место 2	Место S	Јединица
Вредност	35	45	35	40	mm

5. Процес формирања 3D модела склопа

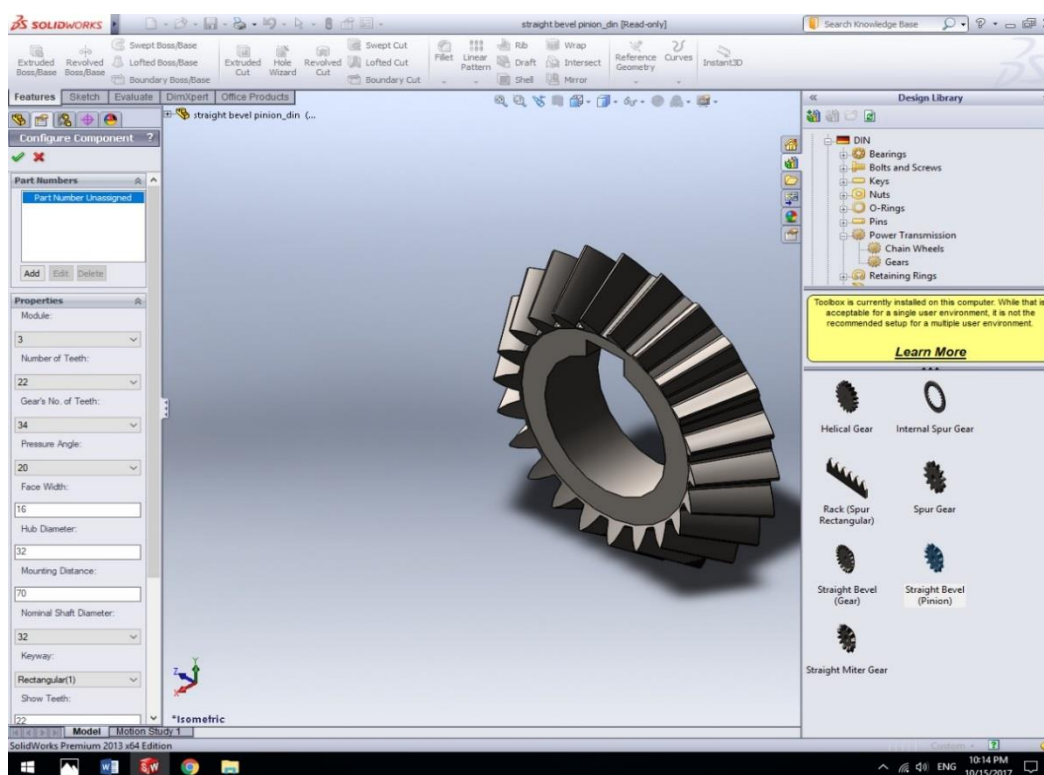
Израда 3D модела ради се у неком од CAD софтвера, као што су *Catia*, *SolidWorks*, *Inventor*. Веома је важно да се приликом израде техничке документације добије и 3D модел који ће бити од велике користи при визуелном сагледавању склопа или неког другог дела у као целине.

Након одрађеног прорачуна једностепеног редуктора са коничним зупчастим паром следи израда техничких цртежа делова као и израда склопа самог 3D модела редуктора. За израду техничких цртежа коришћен је *AutoCad* а за моделирање делова *SolidWorks*. [7]

5.1 Процес формирања склопа

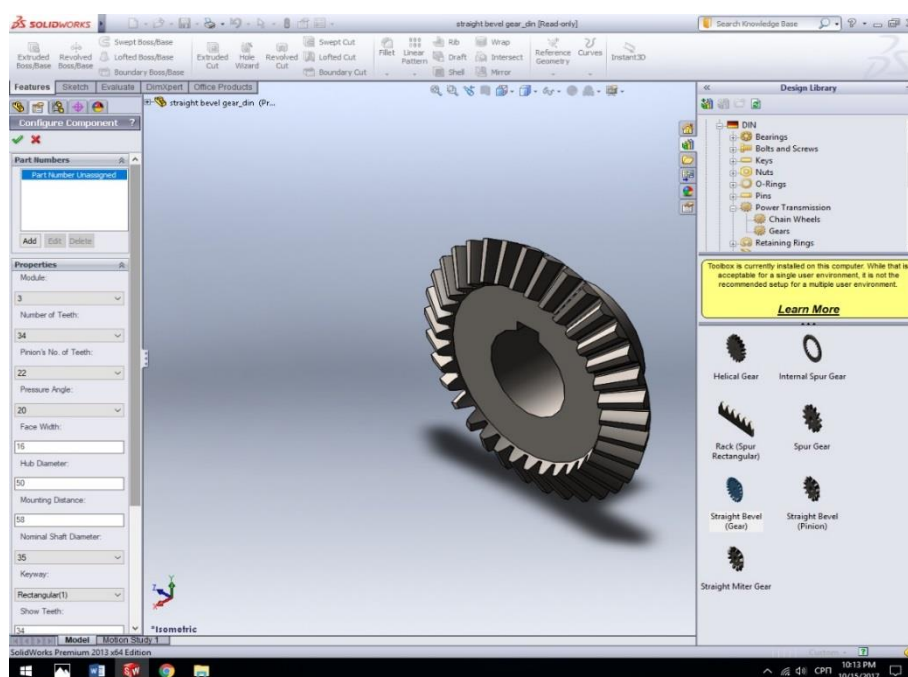
Предност *SolidWorks* – а у односу на неке друге програме за моделирање делова је та што све стандардне елементе можемо да " увеземо " помоћу опције *Toolbox*.

Први кораци при монтажи склопа је " увоз " погонског и гоњеног зупчаника.



Слика 14. Погонски зупчаник

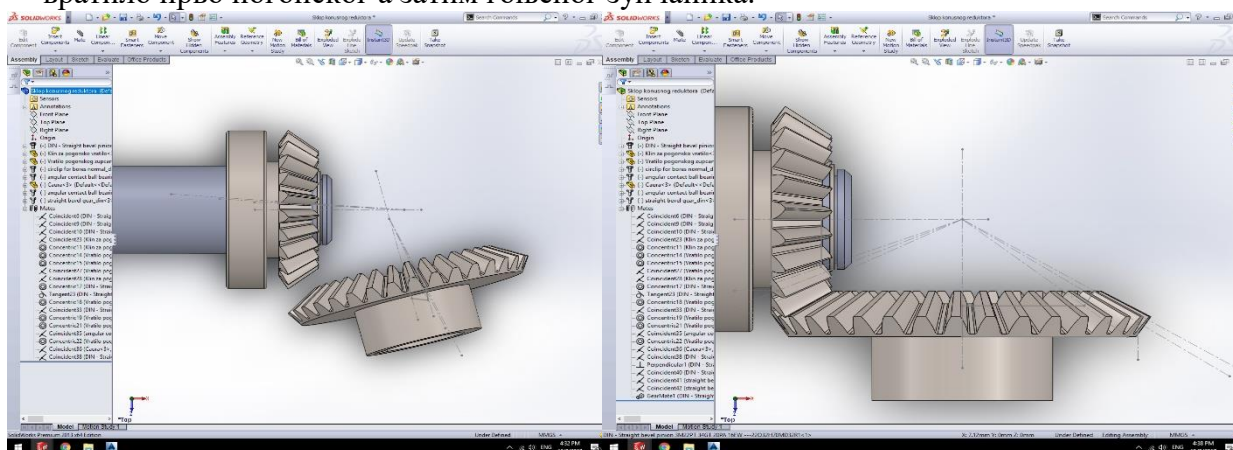
На слици 14. приказано је подешавање параметара за погонски зупчаник. Неопходно је дефинисати модул, број зубаца зупчаника, број зубаца спрегнутог зупчаника, ширину зупчаника, пречник и дужину главчине као и пречник вратила.



Слика 15. Гоњени зупчаник

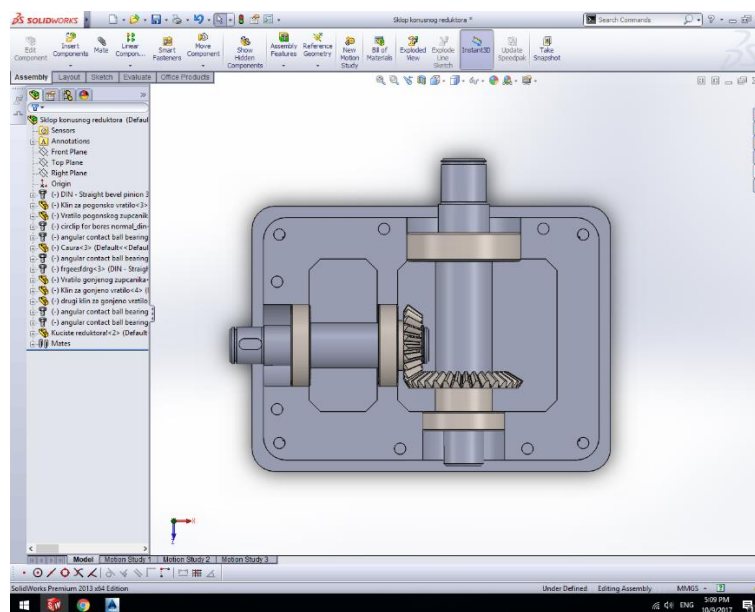
На слици 15. приказано је подешавање параметара гоњеног зупчаника. Поступак је исти као и за погонски, дакле неопходно је дефинисати модул, број зубаца, број зубаца спрегнутог дела, ширину зупчаника, пречник и дужину главчине као и пречник вратила.

Када су дефинисани параметри зупчаника потребно их је склопити у једну функционалну целину. За монтажу делова у *SolidWorks* – а у користи се прозор *Assembly*. Код коничних зупчаника осе вратила се секу под углом од 90° . На слици 16. се види поступак постављања оса вратила на угао од 90° . Да би зуби били у спрези користи се опција *GearMate*. У овој опцији неопходно је дефинисати отворе за вратило прво погонског а затим гоњеног зупчаника.



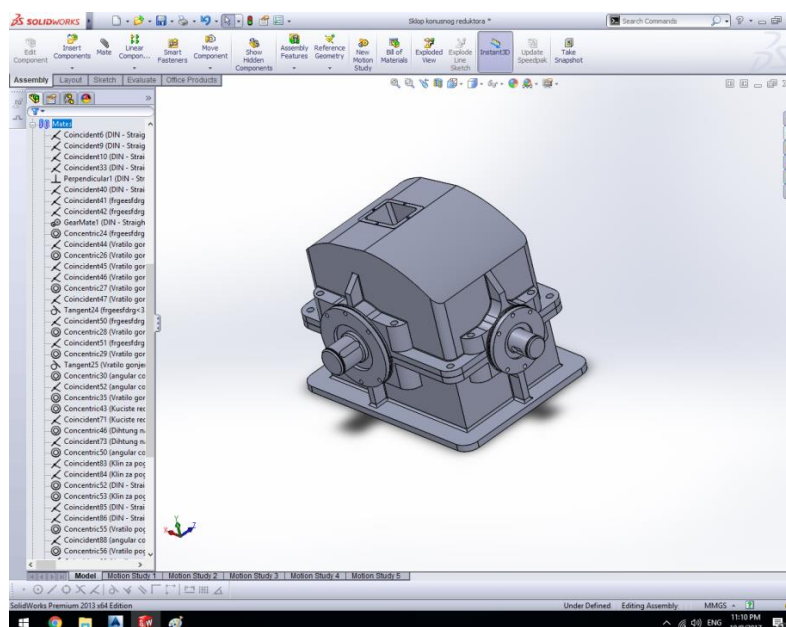
Слика 16. Спрезање погонског и гоњеног зупчаника

Након спрезања зупчаника долази на ред повезивање вратила и зупчаника у једну функционалну целину. Зупчаник се главчином ослања на покретан део лежаја који се налази на вратилу док је са друге стране осигуран зегером. Као веза вратила и зупчаника користи се клин. На слици 17. приказано је постављање вратила и зупчаника у кућиште.



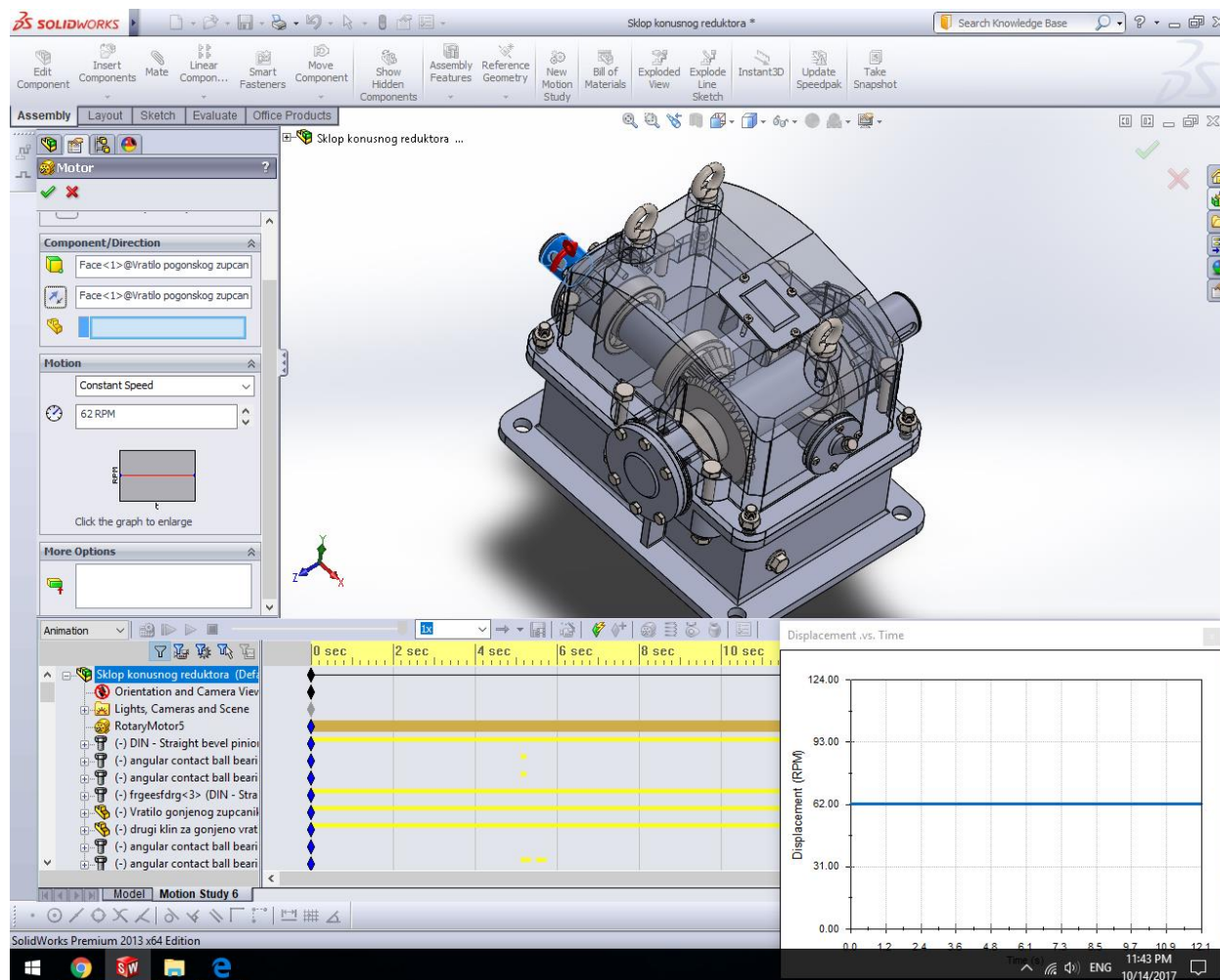
Слика 17. Доњи део кућишта редуктора

По завршетку постављања покретних делова у доњи део кућишта следи затварање кућишта тј. постављање поклопца. Тај поступак је дат на слици 18.



Слика 18. Поклопац кућишта

Када је завршен склоп, *SolidWorks* пружа ту могућност да се креира анимација рада редуктора. Опција помоћу које правимо анимацију јесте *New Motion Study*. У склопу ове опције постоји команда *Motor* у којој одређујемо погонски елемент (у овом случају је то погонско вратило), смер окретања вратила и број обртаја. На слици 21. приказан је прозор за подешавање потребних параметара. Када смо дефинисали све параметре командом *Play* пуштамо анимацију у рад.



Слика 21. Креирање анимације

6. Технички цртежи

Технички цртежи представљају најважнији део техничке документације. Користе се за различите сврхе и доступни су великом броју особа различитог степена образовања. Због тога они морају на јасан, једноставан и разумљив начин дефинисати приказани објекат. При цртању веома је важно поштовати једнозначна правила техничког цртања. Та правила обухваћена су националним нормама као што су :

- *SRPS (Srpski Standard)*
- *DIN (Deutsche Industrie Norm)*
- *ANSI (American Narional Standard Institute)*
- *ISO (International Organization for Standardization)*

У наставку рада приложени су технички цртежи:

- Погонско вратило
- Гоњено вратило
- Погонски зупчаник
- Гоњени зупчаник
- Пресек у две равни (хоризонтални и вертикални пресек)
- Пројекције редуктора, као и 3D модел

7. Закључак

За правилну израду конструкционе документације неопходна су знања из области нацртне геометрије, техничког цртања и компјутерске графике. Конструисање је процес чије спровођење почиње идејом а завршава се добијањем конструкционо технолошком документацијом за израду машинског система. Циљ конструисања је да нађе техничке проблеме и испуни све захтеве за производњу и експлоатацију.

Као резултат пројектовања настаје конструкциона документација која обезбеђује пренос свих конструкционих информација чиме се обезбеђује рационална израда и експлоатација машинских склопова. Конструкциону документацију чине више докумената као што су: цртеж дела, цртеж склопа, табеле, шеме, итд.

Више машинских делова повезаних у једну функционалну целину представљају склоп. Скуп цртежа главног склопа, подсклопова и машински делова представљају техничку документацију склопа. За израду техничке документације склопа примењују се стандарди техничког цртања. Израда документације, односно израда радионичких цртежа и 3D модела ради се у неком од CAD (*Computer Aided Design*) софтвера као што су *AutoCad*, *SolidWorks*, *Catia*, *Inventor*, *Solid-edge*.

При изради машинских делова и елемената долази до одређених одступања од вредности кота која су последица нетачности алатних машина, хабања резног, стезног и мерног алата, грешке мајстора при изради, мерењу и читавању, еластичности материјала и сл. Вредности одступања дефинисане су стандардом.

8. Литература

- [1] Ивановић Л., Ерић М.: Техничко цртање са компјутерском графиком -Практикум, ФИН, Крагујевац, 2011.
- [2] Милојевић З., Рацков М., Кузмановић С., Кнежевић И., Навалушић С., Ивановић Л., Вереш М., Марковић Б.: Израда конструкционе документације, ФТН, Нови Сад, 2015.
- [3] Ивановић Л.: Техничко цртање са компјутерском графиком, ауторизована предавања (скрипта), 2008.
- [4] Светислав Јовичић, Ненад Марјановић : Основи конструисања, Крагујевац, 2011.
- [5] Радојка Глигорић, Инжењерске комуникације, Нови Сад, 2015.
- [6] Вера Николић, Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Крагујевац, 2004.
- [7] Ненад Марјановић, Основе 3D моделирања у CAD софтверима, Крагујевац, 2014.