

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: 207/2014

Филип М. Пауновић

**Моделирање једностепеног
цилиндричног редуктора и
генерисање његове конструкционе
документације
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.

Филип Пауновић 207/2014

Резиме:

У овом завршном раду урађен је пројекат једноступеног цилиндричног зупчастог пара (редуктора) са правим еволвентним зубцима. Извршен је прорачун геометрије погонског и гоњеног зупчаника, димензионисање и прорачун вратила, избор лежајева на основу динамичке моћи ношења. Израђена је комплетна конструкциона документација главних делова овог машинског склопа. Такође су приказане основне могућности и примена аутоматизованог пројектовања помоћу CAD технологија (пројектовање применом рачунара – *Computer Aided Design*). Применом *SolidWorks*-а урађено је комплетно 3D моделирање целокупног машинског склопа.

Кључне речи:

Зупчасти преносници, вратила, конструкциона документација, 3D моделирање, 3D модели, CAD софтвери

Abstract:

In this final paper a project was made of one-step cylindrical gears (reducer) with straight evolvent teeth. It was done calculation of geometry of drive and driven gear, dimensioning and calculation of shaft, selection of bearings based on dynamic power. The entire design and technical documentation of main parts of this machine assembly was made. Basic option and use of automated design using CAD technology (Computer Aided Design). Using SolidWorks it was done entire 3D modeling of machine assembly.

Key word:

Gears, shafts, constuction documentation, 3D modeling, 3D models , CAD sofvers

Садржај:

1. Увод	1
2. Зупчасти преносници снаге	3
2.1. Кинематика зупчастих преносника	6
2.2. Избор материјала за зупчанике и подмазивање	8
3. Вратила	9
3.1 Рукавци	12
3.2 Концентрација напона	13
3.3 Прорачун пречника вратила	13
3.4 Спојеви вратила о обртних делова	14
3.4.1 Спојеви клиновима	14
3.5 Материјали за израду вратила	15
4. Лежаји	16
4.1 Избор лежаја	18
4.2 Прстенасти ускочници	18
5. Кућишта зупчастих преносника	19
5.2 Улога кућишта	19
5.3 Израда кућишта	19
6. Прорачун редуктора са цилиндричним зупчаницима	20
7. Техничка документација	27
8. Моделирање 3D модела склопа	28
8.1 Моделирање 3D модела елемената редуктора	28
8.2 Склапање 3D модела склопа редуктора	31
9. Конструкциона документација	33
10. Закључак	34
11. Литература	35

1. Увод

Техничко цртање је научна инжењерска дисциплина која се бави методама приказивања предмета (делова машина), склопова, машина и постројења на цртежу.

Техничко цртање представља међународни технички језик споразумевања, пошто су правила, уз мале разлике, заједничка и интернационална.

Познавање техничког цртања је непходно онима који се на било који начин баве машинама и њиховим деловима, било да их конструишу, израђују, употребљавају или одржавају. Основни задаци техничког цртања, као научне дисциплине су:

- да предмете који имају три димензије, на одређен начин, прикаже на цртежу (папиру), који има две димензије;
- да цртежи јасно, прецизно и једнозначно дефинишу предмете цртања, од идеје до конструкционог решења;
- да омогући читање и коришћење техничке документације и
- да развије особине графичког замишљања предмета у простору и на цртежу.

Осим тога, техничко цртање, као научна и образовна дисциплина, има задатак да развија и неке професионалне особине инжењера техничких струка, као што су: упорност, доследност, систематичност, стрпљивост, тачност, уредност, марљивост и остале неопходне особине за сложене задатке цртања и коришћења техничке документације. Знање техничког цртања неопходно је и за успешно праћење и проучавање осталих апликативних техничких и стручних предмета и дисциплина.[1]

Брз развој рачунара и информатичке технологије, довео је до преокрета и у области пројектовања и конструисања делова машина као и у изради и коришћењу техничке документације. Област у којој је рачунар и рачунарска технологија (поред осталих) нашла велику примену су пројектовање и израда техничке документације. Приступачност персоналних рачунара широком кругу корисника довело је до бржег развоја информатичке технологије.

Пројектовање је широк појам и у машинству је најприхватљивија дефиниција да представља процес стварања машинске конструкције (предмета, уређаја, машине итд.) од идеје до готовог производа који је функционално прилагођен условима коришћења уз дефинисана ограничења. Процес пројектовања састоји се из више фаза:

- конципирање идејног решења (идејна скица),
- концепцијско пројектовање (идејни пројекат),
- конструисање (геометријско моделирање, инжењерска анализа, прорачун делова на чврстоћу, оптимизација, ...),
- израда конструкционе документације,
- израда технолошке документације за нумеричко управљање машине,

- израда документације за монтажу,
- израда документације за контролу и
- израде маркетиншке документације.

За израду техничких цртежа потребно је много труда и времена. Одувек се тежило да се поступак израде цртежа упрости и скрати, јер представља знатну ставку у укупним трошковима израде предмета и машина. Појава технологије персоналних рачунара, почетком осамдесетих година и могућност за њихово масовно коришћење (приступачна цена) унела је, као и у другим областима, праву револуцију и у техничко цртање. Данас је рачунар, уз остало и машина за цртање и место за архивирање цртежа.

Предности примене рачунара у пројектовању и цртању техничке документације јесу:

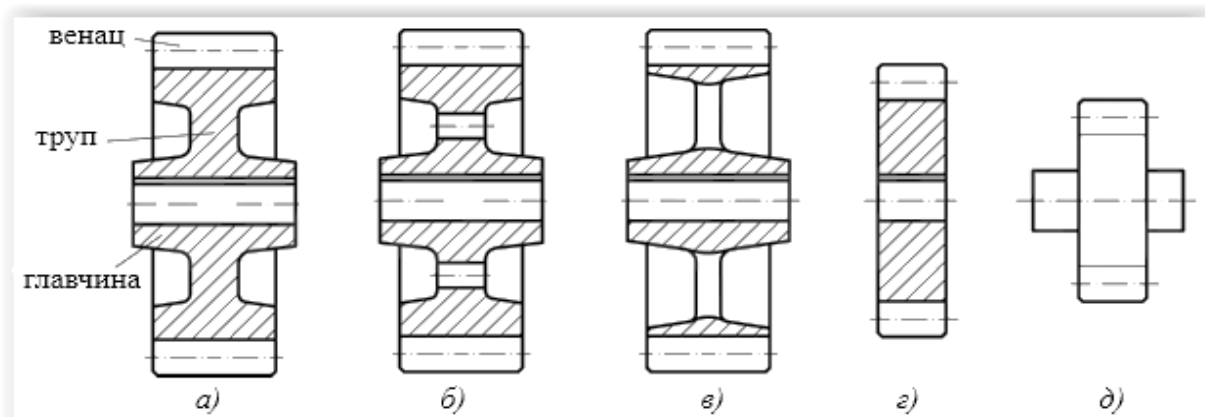
- скраћење времена стварања производа од момента одлуке, до готовог производа,
- повећање продуктивности пројектанта,
- смањење броја конструктора,
- брзе измене у техничкој документацији,
- детаљнија инжењерска анализа и прорачун на чврстоћу делова конструкције,
- стварање погодније и флексибилније понуде према захтевима корисника,
- могућност већег броја решења у свим фазама стварања производа,
- ефикаснија примена стандардизације и унификације делова,
- аутоматизација израде техничке докуменатције,
- аутоматизација израде технолошке документације,
- тестирање производа путем симулације. [2]

2. Зупчасти преносници снаге

Зупчасти преносници снаге су машински елементи који служе за пренос обртног кретања и снаге са једног на друго вратило. При томе вратила могу бити међусобно паралелна, да се секу или да се мимоилазе.

Зупчаник се састоји од средишњег дела који се назива главчина, венца на коме се налазе зупци и труп који се налази између главчине и венца (сл. 2.1, а). Главчина је у склопу са вратилом. Труп може бити само стањен (сл. 2.1, а), са отворима (сл. 2.1, б) или са паоцима (сл. 2.1, в). Зупчаници малих димензија немају изражену главчину и труп, већ је зупчаник у виду кружне плоче (сл. 2.1, г). Зупчаници врло малих кинематичких пречника израђују се заједно са вратилом (сл. 2.1, д).

Зупчаник обавља своју функцију само када је у спрези са другим зупчаником и када се заједно обрћу и при томе преносе обртни момент са једног на други зупчаник, односно са једног на друго вратило.



Сл. 2.1. Конструкциони облици зупчаника [3]

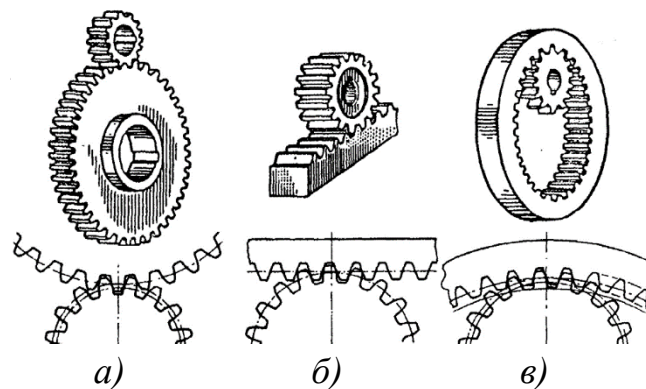
Зупчасти преносници снаге деле се према различитим критеријумима, који су у наставку представљени.

Према положају оса вратила на:

- Цилиндрични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих су осе вратила паралелне,
- Конични зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила секу,
- Хиперболоидни зупчасти парови – зупчасти преносници код којих се осе вратила мимоилазе.

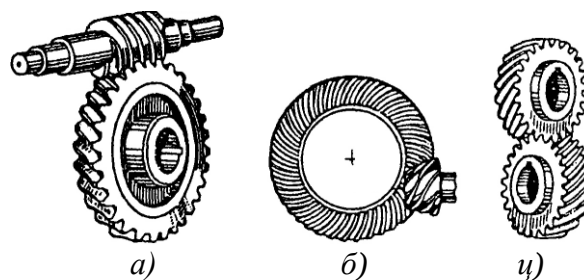
Цилиндрични зупчасти парови се деле на спољашње (сл. 2.2, а), равне (сл. 2.2, б), и унутрашње зупчасте парове (сл. 2.2, в). Цилиндрични зупчаници са спољашњим зупчањем обрћу се у супротним смеровима, а зупчаници са унутрашњим зупчањем имају исти смер обртања. Зупчасти пар са равним зупчањем, зупчаник и зупчаста летва, обртно кретање зупчаника трансформишу у равно кретање зупчасте летве. У зупчастом пару један од зупчаника је погонски, а други је гоњени (бива погоњен).

Венац на којем се налазе зупци витални је део сваког зупчастог пара, било са спољашњим, равним или унутрашњим зупчањем.



Сл. 2.2. Цилиндрични зупчаници са спољашњим, равним и унутрашњим зупчањем [3]

Зупчаници за мимоилазна вратила могу бити цилиндрични са завојним (хеликоидним) зупцима (сл. 2.3, ц), пужни који се састоји из цилиндричног пужног зупчаника и пужног ваљка (сл. 2.3, а), и конусни са хипоидним зупцима (сл. 2.3. б). Такође, и зупчаници за мимоилазна вратила имају венац са одговарајућим озубљењем.



Сл. 2.3. Зупчаници за мимоилазна вратила [3]

Према правцу зубаца, зупчаници се деле на оне са:

- правим зупцима,
- косим зупцима ,
- стреластим зупцима,
- завојним зупцима и
- спиралним зупцима.

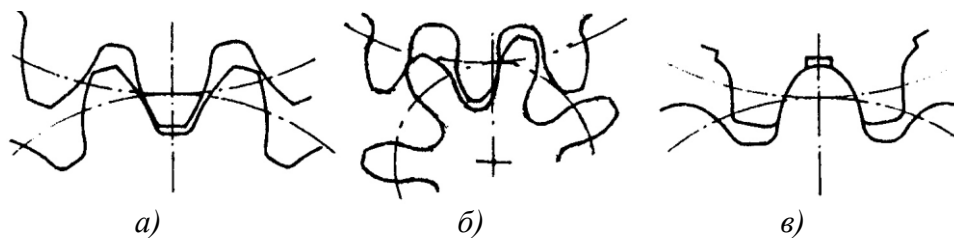
Зупчаници са правим зупцима имају најширу примену од цилиндричних зупчаника, јер оптерећују вратила само са обимном и радијалном силом. Зупчаници са косим зупцима користе се за пренос већих снага, јер имају већу додирну површину и постепеније је спрезање између додирних зубаца. Међутим, ови зупчаници сложеније оптерећују вратила и лежаје, додатно још и са аксијалном силом. Зупчаници са стреластим зупцима оптерећују вратила са две аксијалне силе супротних смерова које се уравнотежују. Ипак зупчаници са стреластим зупцима немају ширу примену, због сложености израде. Зупчаници са завојним зупцима имају примену за пренос кретања

на мимоилазна вратила. Косина зубаца може бити десна и лева. Да би се два зупчаника са косим зупцима могла спрегнути, морају имати различите смерове косине зубаца.

Према облику бока зубаца, зупчаници се деле на:

- еволвентне (сл. 2.4, а),
- циклоидне (б) и
- Новикове (в).

Зупчаници са еволвентним боком зубаца имају најширу примену јер се лако израђују резањем на машинама алаткама. Зупчаници са циклоидним обликом бокова зубаца имају бољу и равномернију расподелу оптерећења по боку, али се не могу правити резањем, већ ливењем или исецањем, те имају ограничену примену на мале зупчанике. Бокови зубаца облика Новиков су од делова кружница, што је врло непогодно за израду, те немају ширу примену.

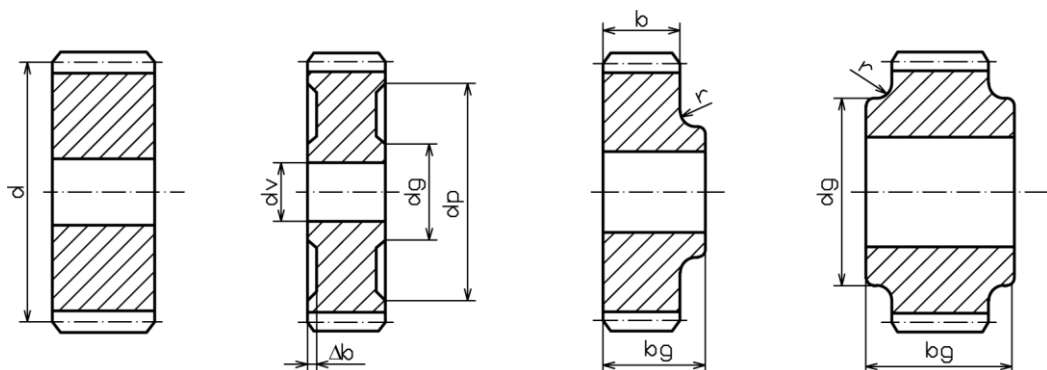


Сл. 2.4. Облици бокова зубаца зупчаника [3]

Према начину израде, зупчаници се деле на оне израђене:

- резањем,
- ковањем,
- ливењем,
- заваривањем и
- исецањем.

Најширу примену имају зупчаници добијени резањем. Димензије венца зависе од модула зупчаника m , без обзира на начин израде. Остале димензије зависе од кинематског пречника d и од пречника вратила d_v . Пречник вратила d_v зависи од оптерећења вратила на том попречном пресеку без обзира на начин израде.



Сл. 2.5. Конструкциони облици зупчаника израђени резањем [3]

За израду зупчаника резањем користе се машине алатке: глодалице, рендисаљке и брусилице. Постоји више метода за израду зупчаника којима се постижу врло прецизне и мање прецизне мере.[3]

2.1. Кинематика зупчастих преносника

При спрезању зупчаника замишљени цилиндри, односно кинематски цилиндри (додирни цилиндри) котрљају се један по другом без клизања. Овај основни кинематски услов мора бити задовољен да би се остварио константан преносни однос.

Кинематски кругови котрљају се један по другом без клизања, само ако су њихове обимне брзине (v_t) међусобно једнаке. Ако су r_{w1} и r_{w2} полупречници кинематских кругова, а одговарајући бројеви обртаја n_1 и n_2 дефинише се основна кинематичка величина зупчастих преносник, односно **преносни однос**:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{w2}}{d_{w1}} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}}$$

Ово је радни преносни однос, где се индекс „1“ односи на погонски, а индекс „2“ на гоњени зупчаник.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

где су Z_1 и Z_2 бројеви зубаца зупчаника, а d_1 и d_2 пречници подеоних кругова. Код редуктора је $i > 1$, а код мултипликатора $i < 1$.

Често се дефинише и кинематски преносни однос:

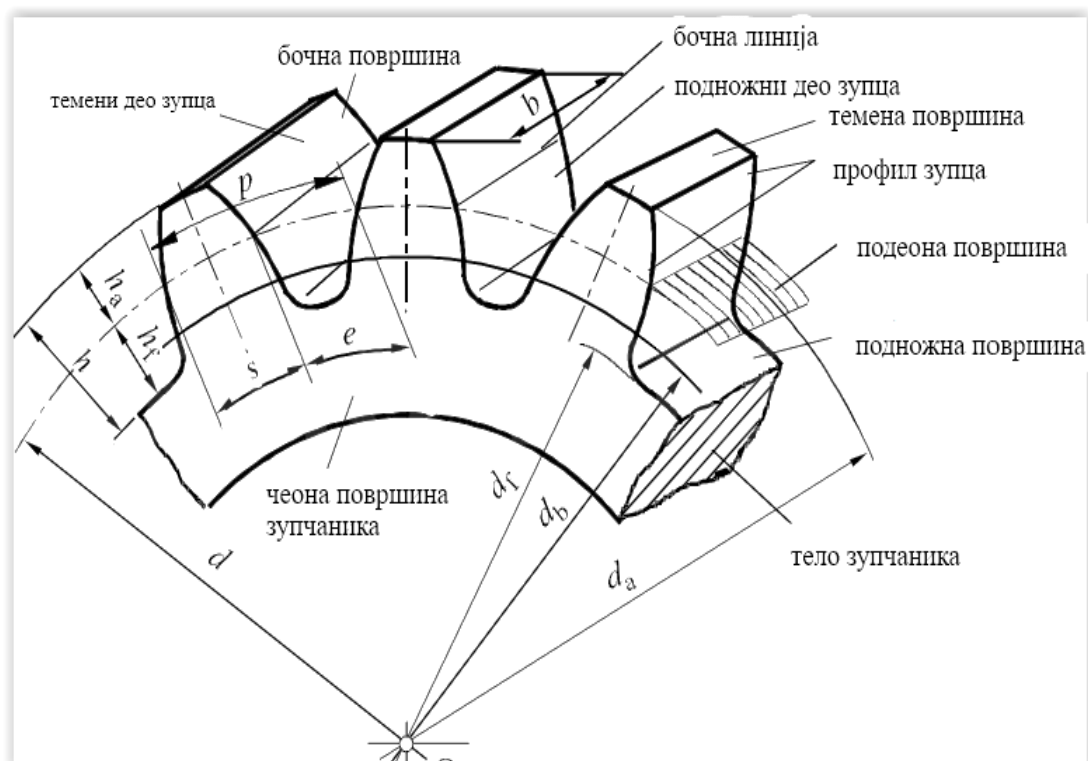
$$u = \frac{Z_2}{Z_1} \geq 1, \text{ односно } u = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

Ознаке карактеристичних величина код зупчаника показане су на примеру цилиндричног зупчаника са правим зупцима (сл. 2.1.1). Зупци су по висини ограничени теменом и подножном површином, а у аксијалном правцу, односно по дужини, чеоним површинама. Темена површина је дефинисана теменим цилиндром пречника d_a , подножна површина – подножним цилиндром пречника d_f . У пресеку подеоног, кинематског, подножног цилиндра и чеоних површина добијају се одговарајући кругови (подеони, кинематски, темени и подножни). Простор између два суседна зуба је међузубље. Зупци и међузубља су ограничени левим и десним бочним површинама. Спрезање зубаца врши се преко бочних површина.

Профил зупца је пресек бочне површине зупца и равни управне на осу обртања зупчаника или пресек бочне и чеоне равни.

Корак профила је лучно растојање узастопних левих, односно десних бокова зубаца. Корак се најчешће мери на подеоном, кинематском и основном кругу зупчаника али може да се мери и на било ком кругу.

Модул зупчаника представља основни параметар за прорачун скоро свих димензија зубаца и зупчаника. Да би број алата за израду и контролу зупчаника био сведен на минимум, модули су стандардизовани. Модули су распоређени у три степена приоритета I, II, и III.



Сл. 2.1.1 Ознаке величина код цилиндричних зупчаника са правим зубцима [4]

- d_f – пречник подножног круга
- d – пречник подеоног круга
- h_f – висина подножног дела зупца
- h – висина зупца
- p – подеони корак
- b – ширина зупчаника
- d_a – пречник теменог круга
- d_b – пречник основног круга
- h_a – висина теменог дела зупца
- s – лучна дебљина
- e – лучна ширина међузубља [4]

2.2. Избор материјала за зупчанике и подмазивање

На избор материјала за зупчанике утичу: брзина, оптерећење, жељени век трајања, цена, маса, услови у којима ће зупчаник радити, поступак израде итд.

За зупчанике се користе различити материјали. За мала оптерећења и мале брзине могу се користити ливена гвожђа или ливени челици са необрађеним зупцима. Овакви зупчаници погодни су за рад у средини са нечистоћама (прашина, муљ и сл.). Отпорни су на хабање, али не трпе ударна и променљива оптерећења.

Најчешће се за израду зупчаника користе челици. За умерена и јака оптерећења користе се конструкциони челици и челици за цементацију. За врло јака оптерећења и велике брзине користе се термички обрађени легирани челици (цементација и каљење).

За велике пречнике ($d > 400 \text{ mm}$) венац се прави од челика, а труп и главчина од неког јефтинијег материјала (сивог лива, челичног лива или челика за заваривање).

Ради смањења буке већи зупчаник може се изградити од неметала, а мањи од метала.

Неметални зупчаник није погодан за већа оптерећења и веће брзине. Неметални материјали су најчешће пластичне масе. Најчешће се користе термички обрађени челици (цементација и каљење). [3]

Подмазивање зупчаника се врши са циљем да би се смањила сила трења на боковима зубаца као и да би се постигла равномернија расподела притисака. За подмазивање зупчастих преносника користе се углавном уља (минерална и синтетичка), а веома ретко масти. У зависности од брзине клизања и величине преносника, оптерећења и радних температура бира се средство и начин подмазивања.

Подмазивање зупчастих преносника може бити ручно, централно, подмазивање потапањем и циркулационо. [4]

3. Вратила

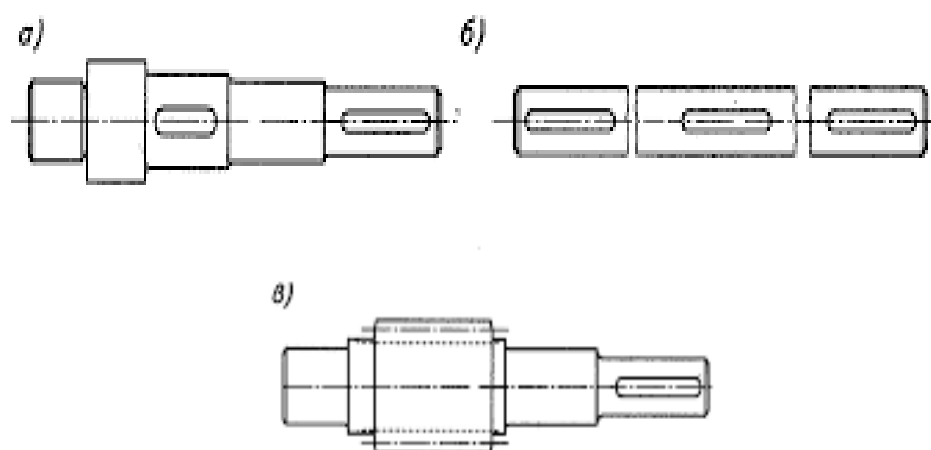
Вратила се обрћу заједно са преносницима и другим обртним машинским деловима који се налазе на њима. Вратила се ослањају у лежајима који су оптерећени силама, које су изазване преносом обртног момента и обртног кретања. На вратилима се налазе и спојнице које омогућавају међусобно спајање два или више вратила и пренос обртног момента са једног на друго вратило.

Вратило је у функцији само ако преноси обртни момент са једног вратила на друго, било да су међусобно паралелна, да се секу, да се мимоилазе или да се настављају једно на друго. За пренос обртног момента на међусобно паралелна вратила примењују се цилиндрични зупчаници, а за пренос на вратила која се секу примењују се конични зупчаници. За пренос обртног момента на мимоилазна вратила користе се хиперболоидни зупчаници. За пренос обртног момента на саосна вратила користе се спојнице. [3]

Основна подела вратила је извршена према положају геометријске осе на *права* и *коленаста*.

Код правих вратила геометријска оса вратила је права линија. То су вратила ротационих мотора (гасни, хидраулични, парни мотори), радна вратила на радним машинама (алатне машине, пумпе, компресори) и трансмисиона вратила (преносна, посредна).

Основни облик правих вратила је: цилиндричан облик са променљивим пресеком по дужини- *степенаст* облик (сл. 3.1, а). Вратила код којих је попречни пресек константан су ретка и то су тзв. *глатка вратила* (сл. 3.1, б). Код неких вратила делови могу бити израђени изједна са вратилом, као на пример вратило израђено изједна са зупчаником (сл. 3.1, в). [4]



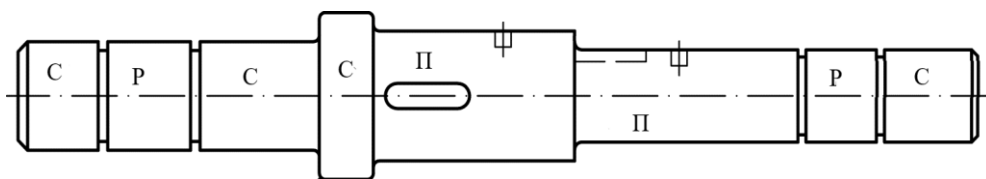
Сл. 3.1. Врсте правих вратила: а) степенасто, б)глатко, в)изједна са вратилом[4]

Зависно од конструкционог облика, вратила се деле на:

- степенаста,
- прикључна,
- зглавкаста,
- телескопска,
- коленаста и
- гипка.

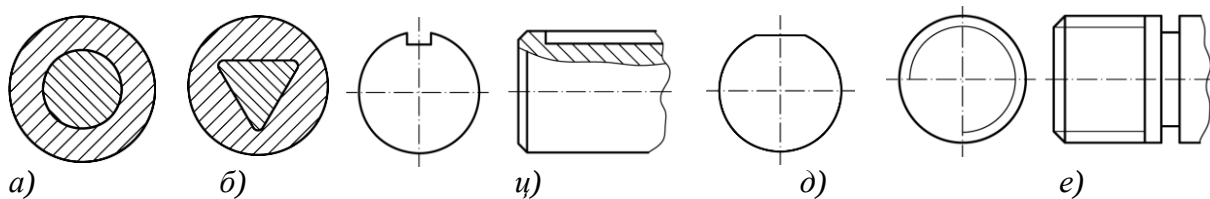
Степенаста вратила су она вратила на којима се налазе преносници снаге (зупчаници, ланчаници, каишници, фрикциони точкови и варијатори). Вратило је оптерећено силама које се јављају између преносника који преносе различите обртне моменте. Из тог разлога попречни пресеци вратила су различити, те је вратило по дужини степенасто.

Конструкциони изглед степенастог вратила (сл. 3.2) одређен је елементима на њему и обртним моментом који преносе зупчаник и ремен на друга вратила. Делови вратила на којима се налазе лежаји називају се рукавцима (Р), делови на којима су преносници или спојница су подглавци (П), а делови вратила на којима се не налазе други елементи називају се слободни (С).



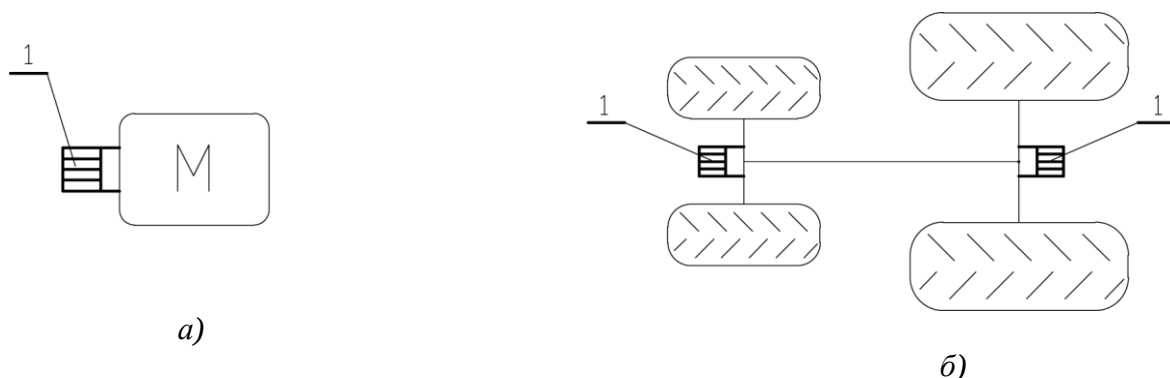
Сл. 3.2. Степенасто вратило [3]

Вратила су најчешће кружног попречног пресека (сл. 3.3, а). Ретко су неког другог облика попречног пресека, нпр. троугластог, због споја са главчином преносника (сл. 3.3, б). На вратилима се налазе жлебови за клинове којима се вратила спајају за главчине преносника (сл. 3.3, ц). Уместо жлеба за клин, вратило може бити обрађено по тетиви (сл. 3.3, д). На вратилима се због елемената за аксијално осигурање преносника на вратилу, налази завојница, усек и слично (сл. 3.3, е).



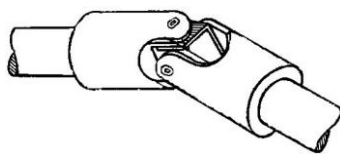
Сл. 3.3. Попречни пресек вратила и детаљи на вратилима [3]

Прикључно вратило је оно вратило на које се прикључује неки преносник. Прикључно вратило је нпр. излазно вратило електромотора (сл. 3.4, а) или излазно вратило са предње и задње стране трактора (сл. 3.4, б). Ова вратила су кратка и ожлебљена јер преносе велике обртне моменте.



Сл. 3.4. Прикључно вратило [3]

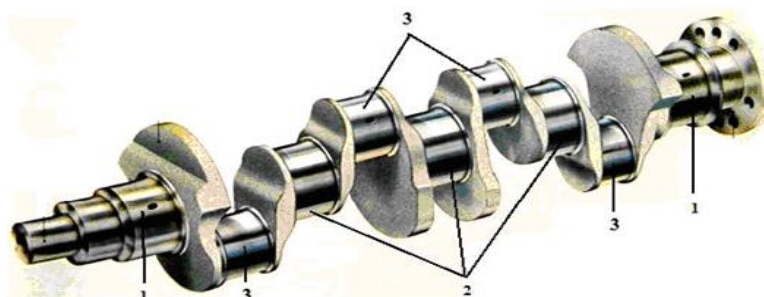
Зглавкаста вратила преносе кретања на вратила која нису саосна, већ се секу под неким углом α (сл. 3.5). Најпознатије зглавкасто вратило је карданово, које захваљујући зглавкастим спојницама преноси обртање са погонског вратила на гоњено који су под неким углом закретања α . Угао закретања је ограничен до 30 степени, у противном јављају се велике инерцијалне (динамичке) силе које могу да доведу до лома вратила.



Сл. 3.5. Зглавкасто вратило [3]

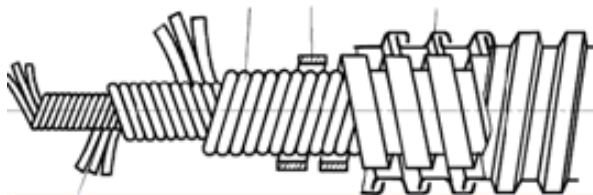
Телескопско вратило има могућност да мења своју дужину, захваљујући конструкционом решењу вратила и која улазе једно у друго. Телескопско вратило има примену на кардановом вратилу за погон радних органа прикључних машина.

Коленасто вратило има изломљену осу симетрије. Користи се код клипног механизма мотора са унутрашњим сагоревањем (сл. 3.6). Коленасто вратило заједно са клипњачом трансформише праволинијско кретање клипа у обртно кретање. Коленасто вратило у мотору са унутрашњим сагоревањем је сложен део који има важну функцију у преносу обртног момента од мотора до трансмисионог уређаја. Рукавцима се ослања у лежиштима. На коленастом вратилу уравнотежују се инерцијалне силе клипног механизма мотора.



Сл. 3.6. Коленасто вратило [3]

Гипка вратила се одликују гибком геометријском осом. При обртању вратила и преносу обртног момента оса се по потреби помера у свим правцима у простору, што омогућава посебна конструкција вратила (сл. 3.7). [3]



Сл. 3.7. Гипка вратила [4]

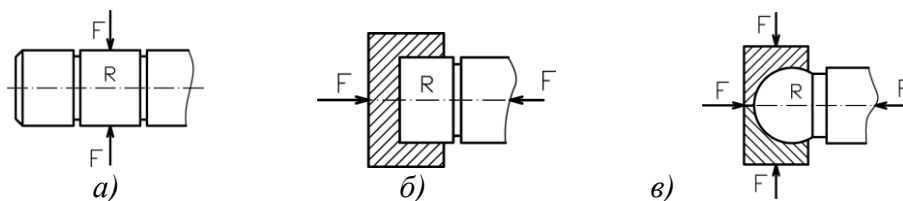
3.1 Рукавци

Рукавци се према облику деле на цилиндричне, коничне, гребенасте, лоптасте. Према полажају на вратилу или осовини деле се на спољашње и унутрашње, а према правцу дејства силе на аксијалне (сл. 3.7, б), радијалне (сл. 3.4, а) и радијално-аксијалне (сл. 3.4, в).

Највише се примењују цилиндрични рукавци и они су најједноставнији за израду. Они могу бити пуни или шупљи. Због примања како радијалних тако и аксијалних оптерећења, израђују се наслони на крајевима рукаваца. Код већих аксијалних сила сами наслони нису довољни па се примењују гребенасти рукавци ради повећања додирне површине. Активна дужина рукаваца је дужина контакта рукавца и постељице лежаја.

Конични рукавци преносе аксијалне и радијалне силе у једном смеру. Они се ретко примењују због високе цене израде. Цилиндрични и конични рукавци осцилују само око своје осе.

Лоптасти и полулоптасти рукавци имају више степени слобode али им је израда доста компликована и скупа. [4]

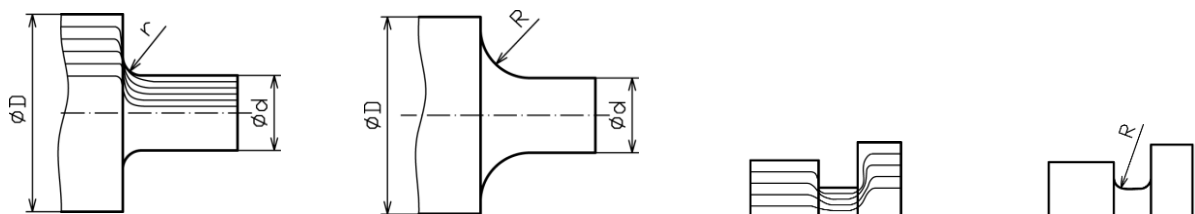


Сл. 3.8. Рукавци [3]

3.2 Концентрација напона

При формирању стварног облика вратила треба водити рачуна да не буде наглих промена облика, због појаве концентрације напона. Концентрација напона је таква појава где се линије простирања напона концентришу (групишу). Концентрација напона јавља се на свим наглим променама контуре вратила, на местима где су жлебови, отвори, мали радијуси r и слично. Нарочито је концентрација напона изражена код материјала већих вредности затезне чврстоће (тврдих челика). Меки челици су мање осетљиви на концентрацију напона.

На местима концентрације напона долази пре до замора материјала и недозвољених деформација. Концентрација напона може се ублажити одговарајућим конструкционим прелазима, првенствено радијусима или обореним ивицама. Постоје препоруке за вредности радијуса R зависно од односа пречника $\varnothing D$ и $\varnothing d$ и од врсте материјала које су табеларно дате у одговарајућој литератури. Када су заобљења одговарајућа линије напона се концентришу у мањој мери. [3]



Сл. 3.9. Концентрација напона [3]

3.3 Прорачун пречника вратила

Пречник вратила (идеални пречник) у произвољном пресеку вратила се добија из услова да је идеални (еквивалентни) напон σ_i мањи или једнак дозвољеном:

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} < \sigma_{\text{doz}}; \quad M_i = \sqrt{M^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1) \cdot T_t}{\tau_{D(0)}} \right)^2}$$

Идеални пречник вратила пуног вратила кружног попречног пресека је:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{32M_i}{\pi \sigma_{\text{doz}}}}$$

3.4 Спојеви вратила о обртних делова

Спојеви вратила и обртних делова обезбеђују:

- преношење оптерећења (сила и момената) са вратила на машинске делове и обрнуто,
- положај обртних елемената у односу на друге делове склопа,
- центрирање елемената у односу на осу обртања вратила

Спојеви вратила и елемената се остварују:

- посредством посебних елемената (веза клиновима и чивијама),
- посебним обликом додирних површина (жлебни спојеви и спојеви профилисаних облика вратила и отвора у главчинама),
- посредством отпора клизању (трења) на додирним површинама

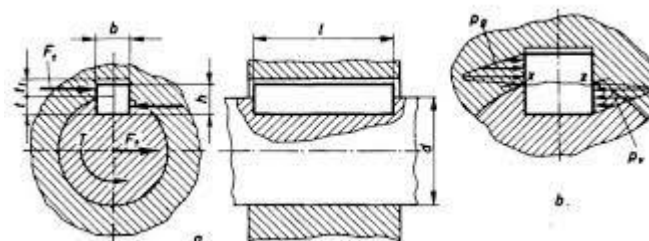
3.4.1 Спојеви клиновима

Спајање вратила са обртним деловима клиновима спада у тзв. „раздвојиве спојеве“, јер се веза може лако раздвојити без оштећења спојених делова и клина. У зависности од положаја и сила којима су изложени, клинови се деле на уздужне и попречне.

Уздужни клинови могу бити без нагиба и са нагибом са једне стране. Попречни клинови се постављају управно у односу на осу спојених делова.

Највише се примењују уздужни клинови без нагиба. Примена осталих клинова је ограничена на специјална конструкциона решења машина и уређаја. Основни облици клинова су цилиндар и квадар. Клин се израђује од челика затезне чврстоће најмање 600 N/mm^2 .

Стандардом је дефинисано више типова уздужних клинова и то према облику жлеба, зависно од начина израде. Постоје три типа уздужних клинова без нагиба и то: клин са заобљеним крајевима (тип „А“); само један крај заобљен, а други раван за случај кад је клин на крају вратила (тип „Ц“); и случај када су оба краја клина равни (тип „Б“). Димензије клинова прописане су стандардом.



Сл. 3.4.1. Преношење обртног момента са клином без нагиба [4]

3.5 Материјали за израду вратила

На основу захтева у погледу чврстоће, издржљивости, тврдоће, осетљивости на неравномерну расподелу оптерећења, обрадљивост, трошкове израде и др. врши се избор материјала за израду вратила.

Када се све ово наведено узме у обзир, вратила се најчешће израђују од конструкционих челика, челика за побољшање и челика за цементацију. Вратила израђена од нодуларног лива се ретко користе. У неким специјалним случајевима, као материјал са вратило може да се користи и дрво.

Конструкциони челици Š0545 (E295), Š0645 (E335), Š0745 (E360) се често користе, без обзира на мању издржљивост, чврстоћу и тврдоћу у односу на друге челике, јер су јефтинији и погодни за обраду.

Челици за побољшање су веће издржљивости, чврстоће и тврдоће. Користе се за израду високо оптерећених вратила, (вратила турбина, тешких алатних машина, возила, мотора, преносника великих снага и др.) и осовина шинских возила. Веома много се примењују Š1430 (1C35), Š1530 (1C45) (мање напрегнуте осовине шинских возила) јер имају изванредне особине.

Према стандардима, за израду локомотивских коленастих вратила и веома напрегнутих осовина за шинска возила, као обавезан материјал се користи Š4730 (25CrMo4), а за рукавце и криваје Š4732 (42CrMo4).

Вратила израђена од *висококвалитетних легираних челика* су мањих димензија. Због малих димензија, крутост вратила је такође мала, зато у раду настају велике еластичне деформације, а код брзоходних вратила и велика динамичка нестабилност.

Челици за цементацију Š1121 (C10E), Š1221 (2C15), Š4320 (16MnCr5), Š5421 (18CrNi8), Š4720 (15CrMo5) служе за израду брзоходних и високо оптерећених вратила. Користе се и за израду вратила изједна са неким другим елементима (вратило изједна са зупчаницама).

Применом квалитетнијих материјала добијају се вратила мањих димензија али је њихова израда скупља.

Права вратила се најчешће израђују поступцима обраде резањем на стругу после чега следи обрада брушењем.

Степенаста вратила већих димензија и коленаста вратила израђују се ковањем и обрадом метала резањем.

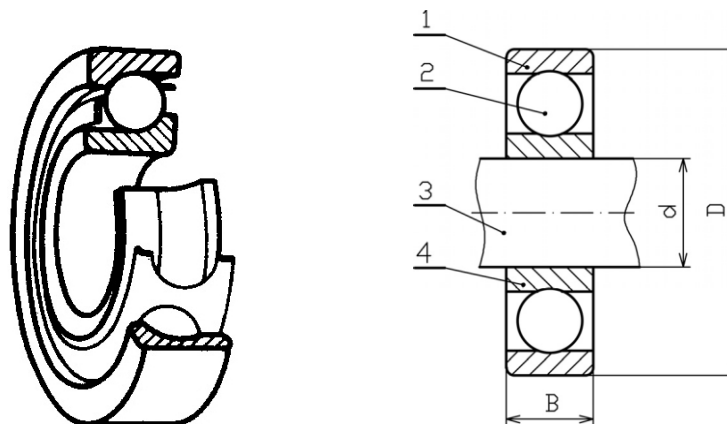
Рукавци су изложени трењу и хабању, због чега се термички обрађују после чега следи брушење, а често и полирање. [4]

4. Лежаји

Лежаји (котрљајни лежаји) су такви лежаји код којих се између обртних делова јавља трење котрљања које је далеко мање од трења клизања. Основни делови котрљајних лежаја су унутрашњи прстен (сл. 4.1, поз. 4), спољашњи прстен (1) и котрљајни елементи (2). Овакав лежај се назива прстенасти лежај и носи радијална или радијално-аксијална оптерећења.

За аксијална оптерећења користе се колутни лежаји који се састоје из два колута и котрљајних елемената.

Основни геометријски параметри лежаја су: пречник проврта d , пречник лежаја D , ширина лежаја B и висина аксијалног лежаја H .

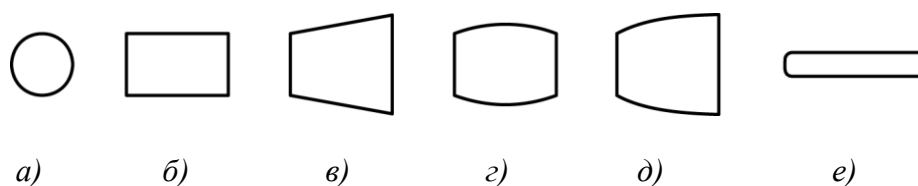


Сл. 4.1.. Котрљајни прстенасти лежај: 1. спољашњи прстен, 2. котрљано тело – куглица, 3. вратило – рукавац, 4. унутрашњи прстен [3]

Поред ових основних делова већина котрљајних лежаја имају кавез, заптивке, заштитне елементе и ускочнике. Кавез држи котрљајне елементе на растојању и спречава њихово груписање.

Вратило у прстенастом лежају је у чврстом склопу са малим преклопом са унутрашњим прстеном и заједно се са њим обрће. Налегање између вратила и унутрашњег прстена може бити и лабаво са врло малим вредностима зазора. Спољашњи прстен је у чврстом споју са кућиштем и непокретан је, тако да се обртање остварује преко куглица те се јавља трење котрљања. Кућиште је затворено и заптивено помоћу заптивних прстенова. Поред тога, сам лежај може бити заптивен, те се до краја свог радног века не подмазује. Незаптивени лежаји се подмазују на различите начине и различитим мазивима.

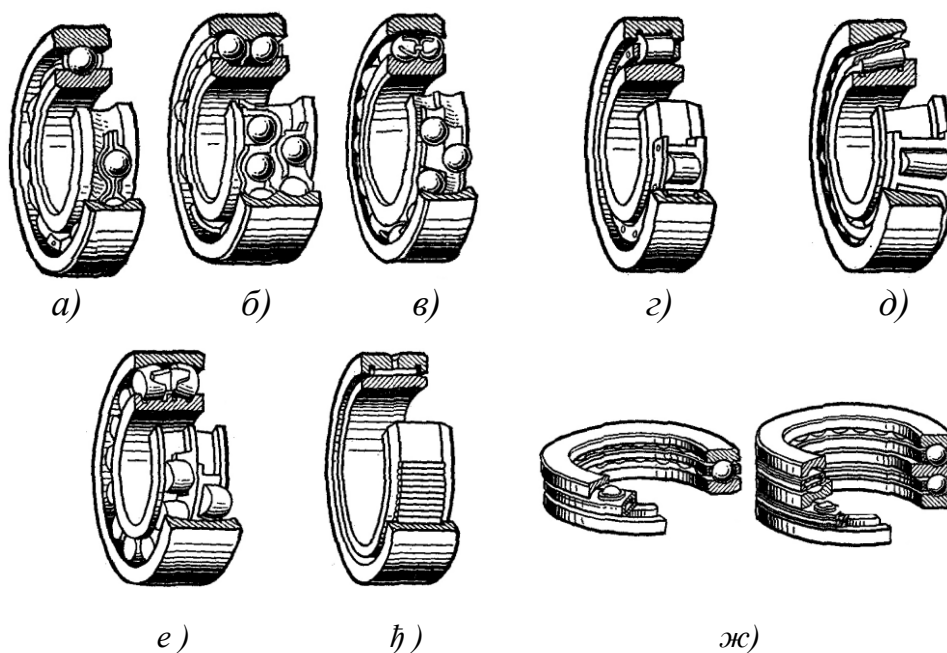
Котрљајни елементи (сл. 4.2) могу бити: куглице (сл. 4.2, а), ваљчићи (сл. 4.2, б), конични ваљчићи (сл. 4.2, в), бурићи или бачве (сл. 4.2, г), конични бурићи (сл. 4.2, д) и иглице (сл. 4.2, е). Зависно од облика котрљајних тела и од облика прстенова и колутова постоје различити стандардни типови лежаја који могу да носе различита оптерећења и да се користе у различитим условима рада.



Сл. 4.2. Облици котрљајних елемената [3]

Примери стандардних типова лежаја су: куглични (сл. 4.3, а), са два реда куглица са различитим кавезима (сл. 4.3, б и в), са ваљчићима (сл. 4.3, г), са коничним ваљчићима (сл. 4.3, д), буричасти (сл. 4.3, е), са иглицама (сл. 4.3, ж) и колутни (сл. 4.3, з).

Примена лежаја је веома распрострањена јер имају мали коефицијент трења, те је много мање енергије потребно за савладавање трења него код клизних лежаја. Котрљајни лежаји имају и недостатака у примени: бучни су, кратког су века коришћења, ограничених димензија (не могу бити нити сувише мали, нити сувише великих димензија јер су тада скупи).



Сл. 4.3. Неки типови котрљајних лежаја [3]

Прстенови лежаја, и унутрашњи и спољашњи, се осигуравају на вратилу од аксијалног померања на различите начине, зависно од: величине аксијалне силе која делује на лежај, типа лежаја, расположивог простора, услова рада итд. За мале вредности аксијалне силе користе се прстенасти ускочници (сл. 10.19, а). Спољашњим прстенастим ускочником који се налази у жлебу вратила осигурава се унутрашњи прстен са једне или са обе стране лежаја. Једна страна унутрашњег прстена лежаја може бити осигурана наслоном на вратилу. [3]

4.1 Избор лежаја

Избор лежаја се врши на основу задатих радних услова: оптерећења, број обртања, век трајања и сигурности у раду... При томе, прво се бира тип котрљајног лежаја.

Основа за прорачун је моћ ношења и то:

- *динамичка моћ ношења*, када је број обртаја већи од 10 min^{-1} , а оптерећења константног правца, интензитета и смера, као и код лежаја изложених променљивом напрезању
- *статичка моћ ношења*, када лежај мирује или лагано осцилује ($n < 10 \text{ min}^{-1}$)

Потребна динамичка носивост лежаја, при константном интензитету еквивалентног оптерећења F , константним броју обртаја n , и номиналном радном веку лежаја L_h , дата је изразом: [4]

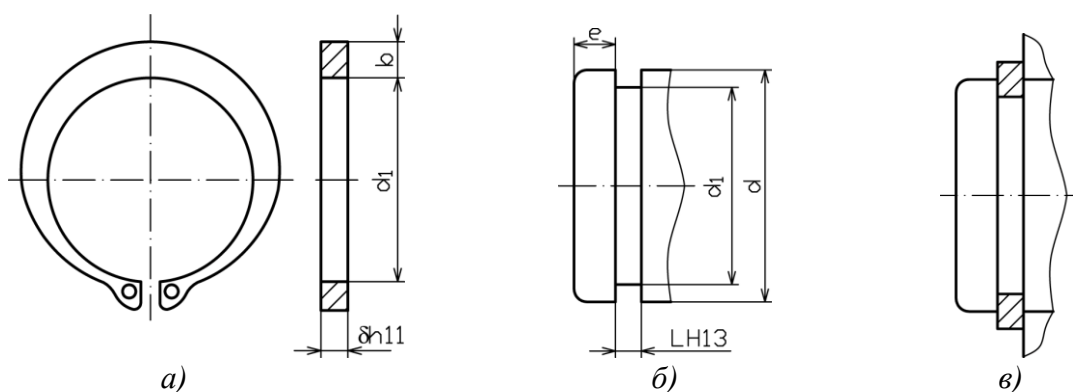
$$C \geq \frac{F}{k_t} \sqrt[6]{\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}}$$

4.2 Прстенасти ускочници

Прстенасти ускочници могу бити спољашњи и унутрашњи. Стандардних су облика и величина и као такви се серијски производе.

Спољашњи прстенасти ускочник користи се за осигурање унутрашњих прстена котрљајних лежаја и преносника од аксијалног померања по вратилу у случајевима када аксијалне силе, које делују уздуж вратила, имају мање вредности.

Спољашњи прстенасти ускочник (сл. 4.4, а) се при монтажи, помоћу одговарајућег алата, рашири и стави у одговарајући жлеб на вратилу (сл. 4.4, б и в). Стандардних су величина и као такви се серијски производе. [3]



Сл. 4.4. Спољашњи прстенасти ускочник [3]

5. Кућишта зупчастих преносника

5.2 Улога кућишта

Улога кућишта је:

- преузимање реакција момената и сила који настају услед спрезања зубаца зупчаних парова,
- осигурање положаја осовина, вратила и зупчаника у свим режимима рада,
- заштита унутрашњих делова преносника од околних утицаја и обрнуто,
- задржавање мазива унутар преносника,
- одвођење топлоте
- пригушивање вибрација насталих од стране зупчаника, вратила, лежајева и сл.

Конструктивно се од кућишта захтева:

- једноставна монтажа, демонтажа и ремонт (замена и одржавање појединих делова),
- могућност контроле средства за подмазивање и његове измене,
- заштита околине од евентуалног лома неког од делова унутар кућишта,
- једноставна и поуздана израда, те сигуран рад.

5.3 Израда кућишта

Према технологији израде кућишта се деле на:

- *Заварена кућишта*: користе се код мањих серија и за појединачну производњу,
- *Ливена кућишта*: користе се код већих серија (већ изнад 5 комада у серији могу бити економски исплатива).

Материјали за израду кућишта су:

- *Легуре лаких метала* користе се код мањих преносника. Имају већу топлотну дилатацију и мањи модул еластичности што захтева дебље зидове кућишта.
- *Челични лив и сиви лив* најчешће су коришћени материјали код ливених израда кућишта.
- *Конструкцијски челици* користе се код кућишта у завареној изради. Битно је да су им својства и хемијски састав погодни за заваривање.

Према смештају разделне равни кућишта се деле на:

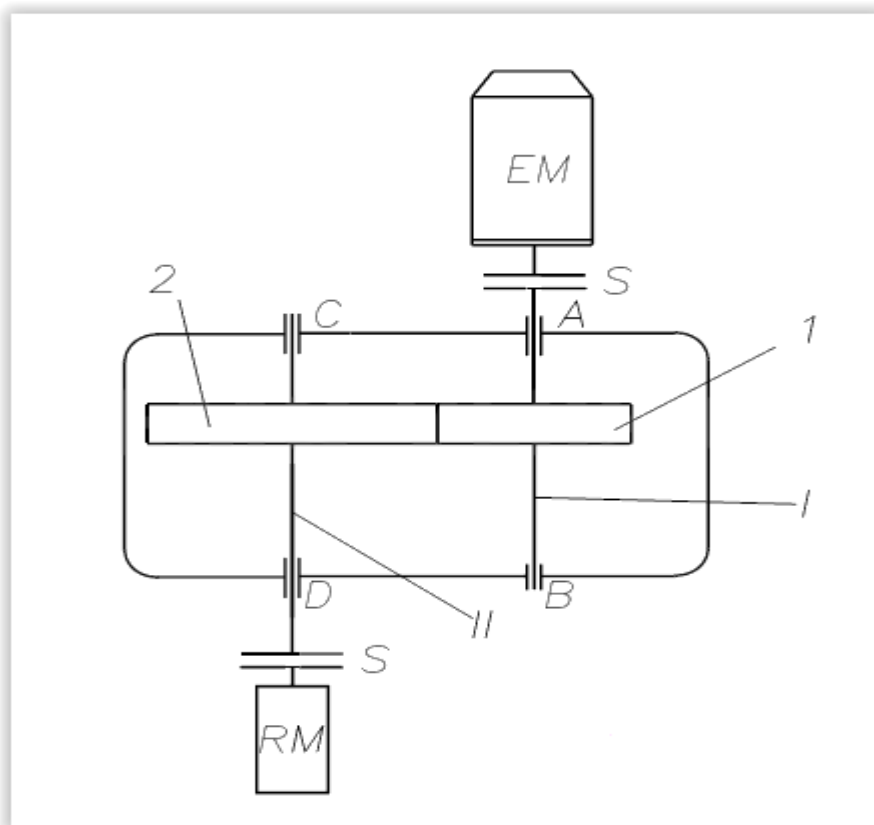
- *Кућишта без разделне равни* (кућишта из једног комада). Постоје велики отвори са стране који служе за монтажу лежајева и вратила (аксијална монтажа). Након монтаже затварају се поклопцима. Предност је велика крутост и постојаност димензија, поготово постојаност облика лежајних места. Недостатак је отежана монтажа и израда. Код планетарних преносника постоје и решења са радијалном разделном равни.
- *Кућишта с хоризонталном разделном равни* (кућишта из два дела). Погодна су за веће преноснике, где се монтажа врши помоћу дизалице. Код ове израде разделна раван мора бити посебно квалитетно и тачно обрађена, као и лежајна места, која се обавезно обрађују у склопу.

6. Прорачун редуктора са цилиндричним зупчаницима

Прорачун редуктора, према скици приказаној на слици 5.1, урађен је као пројектни задатак у оквиру предмета Машински елементи 2. Пројектни рад садржи комплетан прорачун елемената преносника (зупчаника, вратила, лежајева, кућишта). У овом поглављу дате су геометријске величине потребне за моделирање редуктора.

Задате карактеристике преносника:

- $P_{em} = 22 \text{ kW}$
- $n_{iz} = 769 \text{ min}^{-1}$
- $n_{em} = 1400 \text{ min}^{-1}$
- $\eta_s = 0,97$
- $L_h = 9000 \text{ h}$
- $\beta = 20^\circ$
- $\eta_R = 0,96$
- $K_A = 1,25$



Сл. 5.1. Скица једноступеног цилиндричног редуктора са правим зупцима

6.1 Прорачун зупчаника

За одређивање подеоног пречника мањег зупчаника користи се следећи израз:

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

Одређивање преносног односа:

$$u_R = \frac{n_{EM}}{n_{RM}} = \frac{1400}{769} = 1.82$$

Одређивање снага, броја обртаја и угаоних брзина зупчаника 1:

$$P_{EM} = 22 \text{ kW}$$

$$P_{S1} = P_1 = P_{EM} \cdot \eta_s = 22 \cdot 0.97 = 21.34 \text{ kW}$$

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

$$\omega_{EM} = \omega_{S1} = \omega_1 = \frac{n_{EM} \cdot \pi}{30} = \frac{1400 \cdot \pi}{30} = 146.6 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_{EM}} = \frac{22 \cdot 10^3}{146.6} = 150.1 \text{ Nm}$$

$$T_{S1} = T_1 = T_{EM} \cdot \eta_s = 150.19 \cdot 0.97 = 145.6 \text{ Nm}$$

Одређивање фактора радних услова:

За овај случај фактор $K_A = 1.25$, из таб. 2.8.1. са стране 220. [4]

Усвајање материјала зупчаника:

Као материјал зупчаника 1 и 2, се усваја челик за цементацију Č4320 (16MnCr5) таб. 2.8.24. са стране 275. [4]

Одређивање фактора К:

На основу препорука усваја се $K = 3 [N/mm^2]$.

Одређивање Ψ_{bd} (однос ширине и пречника подеоног круга малог зупчаника):

$$\Psi_{bd} = 1.1.$$

Коначно се може одредити подеони пречник мањег зупчаника:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot 145.6 \cdot 1.25}{3 \cdot 1.1} \cdot \frac{1.82 + 1}{1.82}}$$

$$d_1 \geq 55.56 \text{ mm}$$

Усвајање броја зубаца погонског зупчаника (1):

На основу табеле. 2.9.2. на стр. 290. и препорука усваја број зубаца погонског зупчаника $z_1 = 20$. [4]

Усвајање угла нагиба зубаца зупчаника 1 и 2:

Усваја се нагиб зубаца зупчаника 1 и 2, $\beta = 20^\circ$.

Одређивање модула погонског зупчаника (1):

$$m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{56}{20} = 2.8 \text{ mm}$$

$$m_n = m \cdot \cos \beta = 2.8 \cdot \cos 20^\circ = 2.6311 \text{ mm}$$

Усвајам стандардну вредност модула $m_n = 3 \text{ mm}$ из таб. 2.2.1. страна 112. [4]

Одређивање броја зубаца гоњеног зупчаника (2), одређивање стварног преносног односа и грешке преносног односа:

$$z_2 = u_R \cdot z_1 = 1.82 \cdot 20 = 36.4$$

Усвајам број зубаца гоњеног зупчаника $z_2 = 36$ зубаца.

Стварни преносни однос се може одредити на основу броја зуба зупчаника 1 и 2 и износи:

$$u_{Rst} = u_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{36}{20} = 1.8$$

6.2 Одређивање геометријских величина зупчаника

Одређивање коефицијента померања профила:

Може се усвојити коефицијент померања профила за зупчанике 1-2, $x_1 = x_2 = 0$.
Зупчасти пар 1-2 је НУЛТИ зупчасти пар.

Геометријске величине зупчаника 1 и 2:

Стандардни модул:

$$m_n = 3 \text{ mm}$$

Угао нагиба профила алата:

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 20^\circ} \Rightarrow \alpha_t = 21.173^\circ$$

Модул:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{3}{\cos 20^\circ} = 3.1925 \text{ mm}$$

Корак на подеоном кругу:

$$p_t = m_t \cdot \pi = 3.1925 \cdot \pi = 10.029 \text{ mm}$$

Корак на основном кругу:

$$p_{bt} = p_{et} = p_t \cdot \cos \alpha_t = 10.029 \cdot \cos 21.173^\circ = 9.352 \text{ mm}$$

Угао нагиба зупца:

$$\cos \beta_b = \frac{\sin \alpha_n}{\sin \alpha_t} = \frac{\sin 20^\circ}{\sin 21.173^\circ} = 1.2508 \Rightarrow \beta_b = 18.747^\circ$$

Пречници подеоних кругова:

$$d_1 = m_t \cdot z_1 = 3.1925 \cdot 20 = 63.85 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_t \cdot z_2 = 3.1925 \cdot 36 = 114.93 \text{ mm}$$

Ширина зупчаника:

$$b = \varphi \cdot d_1 = 1.1 \cdot 63.85 = 70.235 \text{ mm}$$

Усвајам $b = 70 \text{ mm}$

Пречници основних кругова:

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t = 63.85 \cdot \cos 21.173^\circ = 59.639 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t = 114.93 \cdot \cos 21.173^\circ = 107.171 \text{ mm}$$

Нулто осно растојање:

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{63.85 + 114.93}{2} = 89.39 \text{ mm}$$

Угао додирнице:

$$\alpha_T = \alpha_{WT} = 21.173 - \text{Нулти зупчасти парови}$$

Осно растојање:

$$a = a_d = 89.39 \text{ mm} - \text{Нулти зупчасти парови}$$

Пречници кинематских кругова:

$$d_{w1} = d_1 = 63.85 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 = 114.93 \text{ mm}$$

Пречници подножних кругова:

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_{fp} + 2 \cdot x_1 \cdot m_n$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_{fp} + 2 \cdot x_2 \cdot m_n$$

$$h_{fp} = m_n + c_p$$

$$c = c_p = (0.1 \div 0.3) \cdot m_n = 0.25 \cdot 3 = 0.75 \text{ mm}$$

$$h_{fp} = 3 + 0.75 = 3.75 \text{ mm}$$

$$d_{f1} = 63.85 - 2 \cdot 3.75 + 2 \cdot 0 \cdot 3 = 56.35 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = 114.93 - 2 \cdot 3.75 + 2 \cdot 0 \cdot 3 = 107.43 \text{ mm}$$

Пречници темених кругова:

$$d_{a1} = 2 \cdot a - d_{f2} - 2 \cdot c = 2 \cdot 90 - 107.43 - 2 \cdot 0.75 = 71.07 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = 2 \cdot a - d_{f1} - 2 \cdot c = 2 \cdot 90 - 56.35 - 2 \cdot 0.75 = 122.15 \text{ mm}$$

6.3 Геометрија вратила

Материјал вратила 1:

Материјал за вратило 1 усваја се $\check{C}$ 0545 (E295).

Карактеристике материјала се могу наћи на у таб. 11.2.1. .

Увојна издржљивост: $\tau_{D(0)} = 170 \div 240 \text{ MPa} = 205 \text{ MPa}$

Савојна издржљивост: $\sigma_{D(-1)} = 220 \div 270 \text{ MPa} = 245 \text{ MPa}$

Затезна чврстоћа: $R_m = 500 \div 600 \text{ MPa} = 550 \text{ MPa}$

Степен сигурности:

Препоручене вредности степена сигурности су:

$$S = 1.5 \div 2.5 = 2 - \text{str. 437.}$$

Фактор К:

На местима ослонаца А и В фактор К износи за облик вратила и пресека, са обртним деловима са чврстим налегањима усваја се из табеле 6.5.6 :

$$K = 2.4 \div 3 = 2.7$$

На месту 1 и S_1 фактор К износи за облик вратила и пресек, са жљебом за клином усваја се из табеле 6.5.6: [4]

$$K = 2 \div 2.4 = 2.2$$

Место	d_i , mm	t , mm	$d_{vr} = d_i + t$, mm	d_{st} , mm
S_1	27.096	4.1	31.196	32
A	29.010	0	29.010	35
1 L	33.481	4.7	38.181	45
1 D	35.925	4.7	40.625	45
B	0	0	0	35

Материјал вратила 2:

Материјал за вратило 2 усваја се Č 0545 (E295).

Карактеристике материјала се могу наћи у таб. 11.2.1.

Увојна издржљивост: $\tau_{D(0)} = 170 \div 240 \text{ MPa} = 205 \text{ MPa}$

Савојна издржљивост: $\sigma_{D(-1)} = 220 \div 270 \text{ MPa} = 245 \text{ MPa}$

Затезна чврстоћа: $R_M = 500 \div 600 \text{ MPa} = 550 \text{ MPa}$

Степен сигурности:

Препоручене вредности степена сигурности су:

$$S = 1.5 \div 2.5 = 2$$

Фактор К:

На местима ослонаца D и C фактор К износи за облик вратила и пресека, са обртним деловима са чврстим налегањима усваја се из табеле 6.5.6 :

$$K = 2.4 \div 3 = 2.7$$

На месту 2 и S_2 фактор К износи за облик вратила и пресек, са жљебом за клином усваја се из табеле 6.5.6: [4]

$$K = 2 \div 2.4 = 2.2$$

Место	d_i , mm	t , mm	$d_{vr} = d_i + t$, mm	d_{st} , mm
C	0	0	0	40
2 L	34.551	4.7	39.251	48
2 D	14.503	2.9	17.403	45
D	34.822	0	34.822	40
S_2	32.525	4.7	37.225	38

7. Техничка документација

Техничка 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 коте 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. У склопне цртеже спадају и цртежи по којима се врши монтажа цевних инсталација.

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.

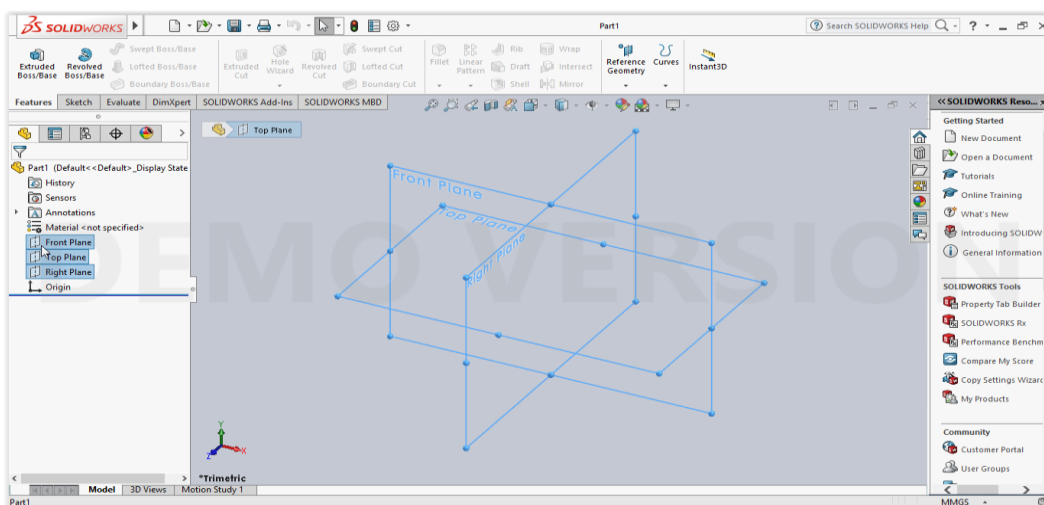
Експанзиони цртежи су цртежи на којима су визуелно (3D) приказани сви делови у растављеном стању и служи за то да свако може да види саставне делове склопа. Ови цртежи су намењени сервисерима и ремонтним радницима ради лакшег наручивања резервних делова.

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. [6]

8. Моделирање 3D модела склопа

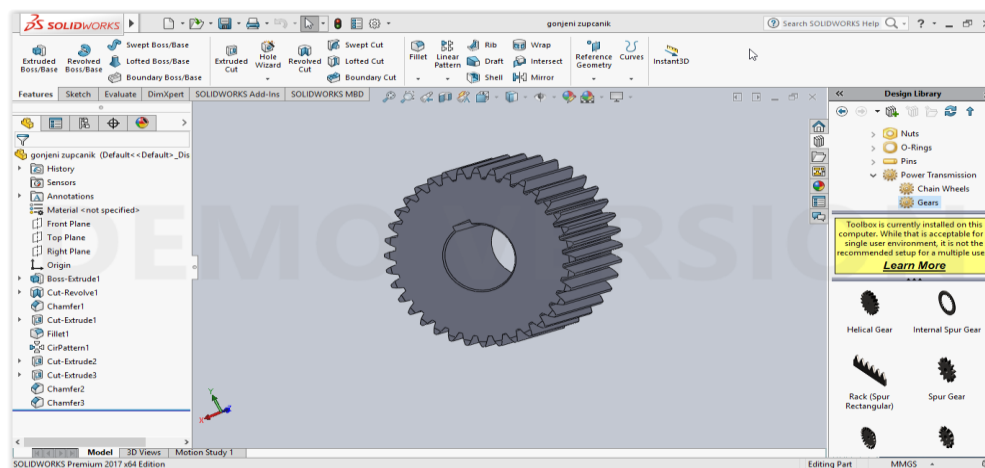
Данашње моделирање незамисливо је без употребе савремених *CAD (Computer Aided Design)* система. *CAD* систем у ширем смислу омогућава 3D моделирање делова, израду склопова, генерисање техничке документације, симулацију рада и анализу свих елемената и система. На основу свега наведеног приказана је израда 3D модела и конструкционе документације једноступеног редуктора са цилиндричним зупчаницима. За то је коришћен софтверски програм *SolidWorks*, који поред осталог, омогућава напредне технике моделирања и генерисања конструкционе документације (слика 8.1). [7]



Сл. 8.1. Изглед радног окружења софтвера *SolidWorks*

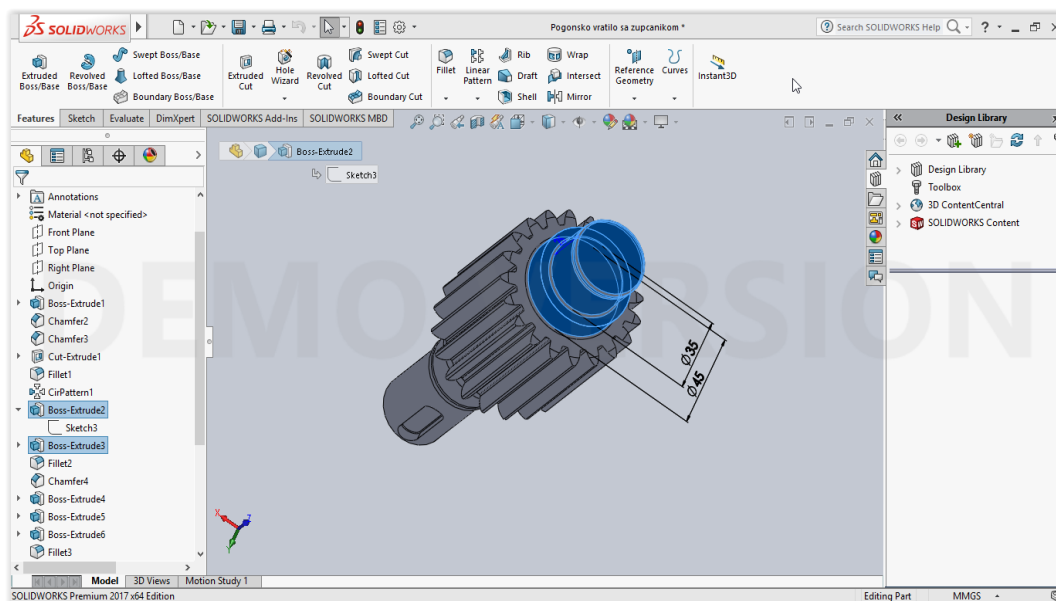
8.1 Моделирање 3D модела елемената редуктора

Solidworks поседује тзв. базу података, са свим стандардним елементима по *ISO*, *DIN* и другим стандардима. Почетни кораци моделирања односе се на креирање погонског и гоњеног зупчаника. Опцијом *Toolbox* (слика 8.2) увозимо зупчанике којима задајемо главне геометријске карактеристике као што су модул, ширина, пречник теменог круга...



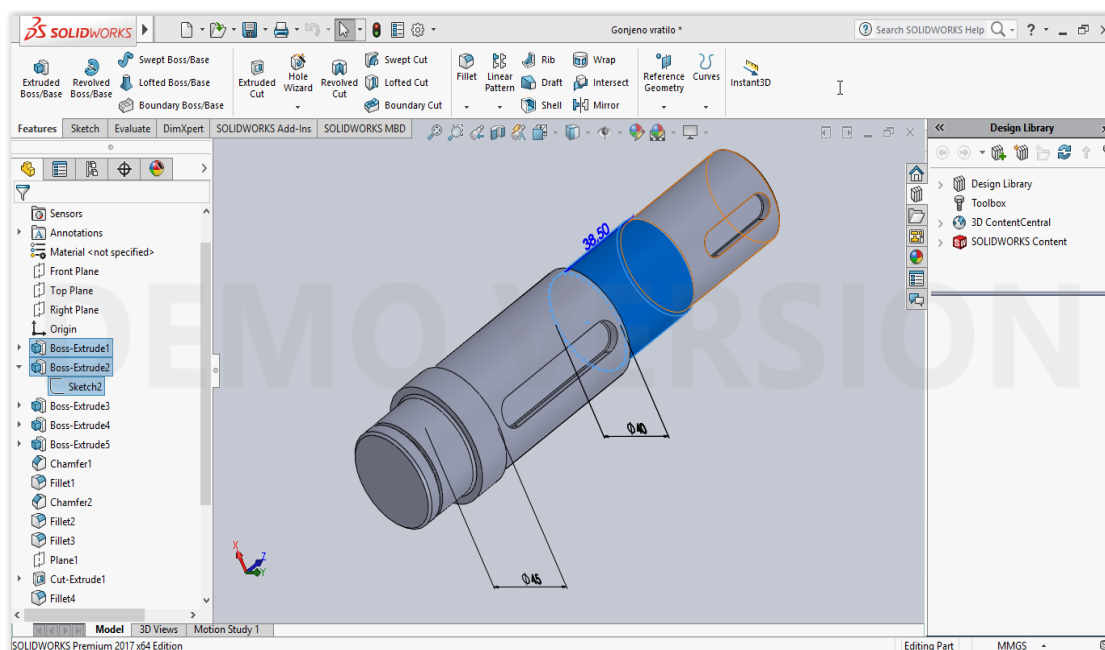
Сл. 8.2. Изглед модела гоњеног зупчаника

Моделирање погонског зупчаника, који је израђен изједна са вратилом, врши се тако што се прво увезе зупчаник опцијом *Toolbox* онда се цртају скице кружница, на чеоним површинама зупчаника, које представљају пречнике погонског вратила и уз помоћ опције *Boss-Extrude* (слика 8.3) додаје материјал жељеном дужином.



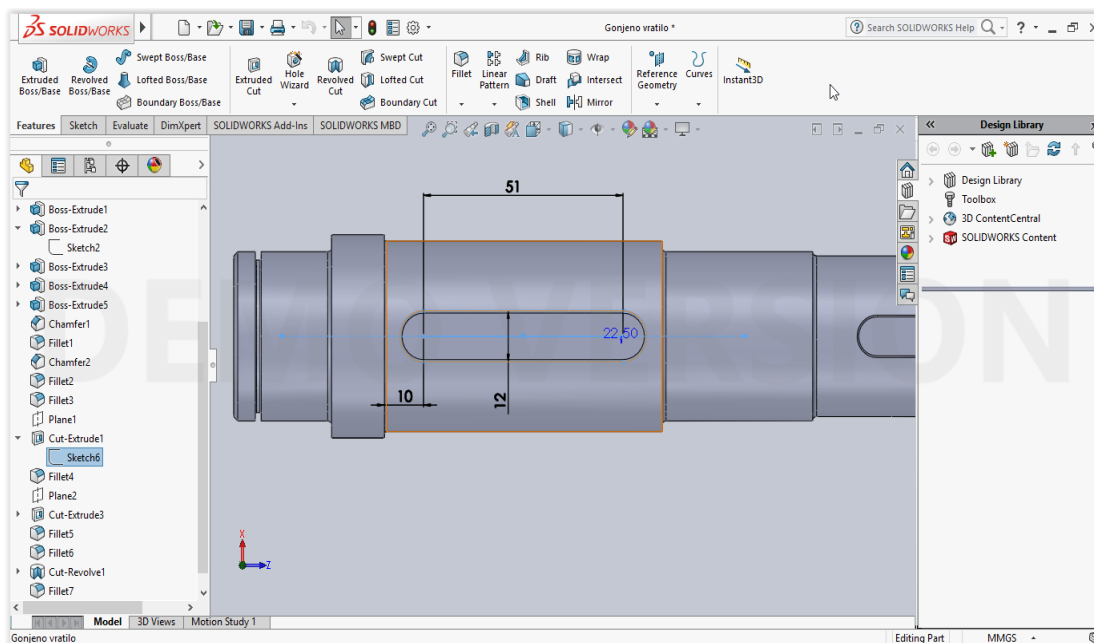
Сл. 8.3. Моделирање погонског зупчаника изједна са вратилом

На сличан начин врши се моделирање гоњеног вратила, такође коришћењем опције *Boss-Extrude* (слика 8.4). За овакве моделе који су кружног симетричног облика, такође се може користити и опција *Boss-Revolved*.



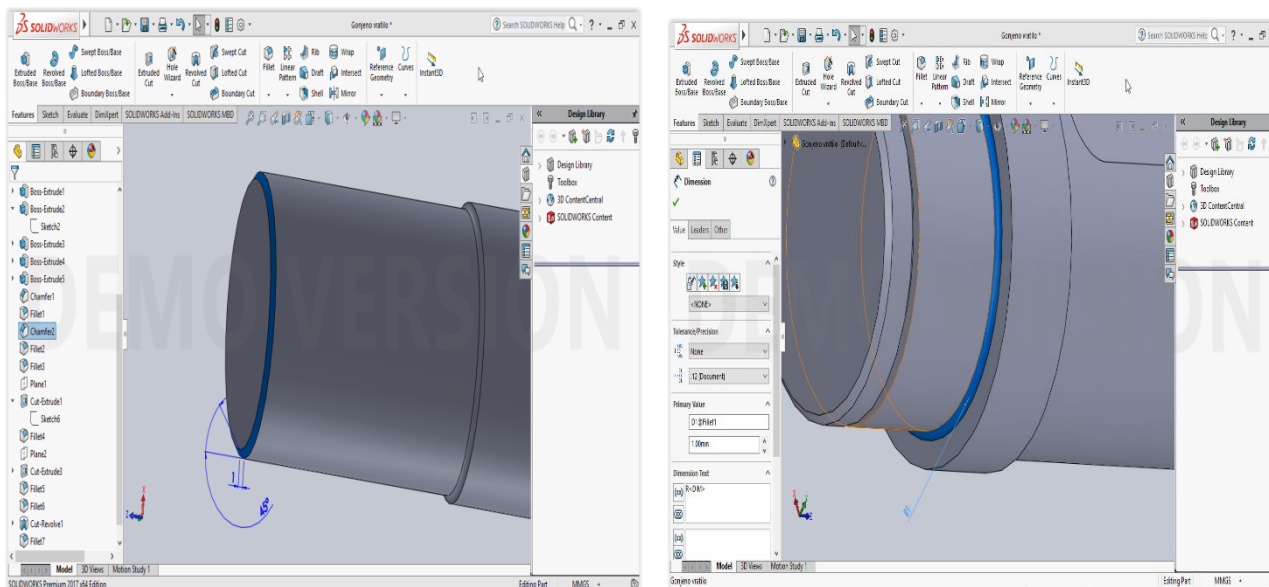
Сл. 8.4. Модел гоњеног вратила

Опцијом *Plane* додаје се нова раван у којој се црта жлеб за клин. Као референтна раван узима се хоризонтална. Селектовањем нацртане скице за жлеб (слика 8.5) и употребом опције *Extruded-Cut* врши се уклањање материјала, чиме се обликује жлеб.



Сл. 8.5. Скица жлеба за клин

Опције *Chamfer* и *Fillet* (слика 8.6) користе се за обликовање, односно обарање или заобљење ивица модела тако што се селекују жељене ивице и онда се уносе одговарајући параметри.

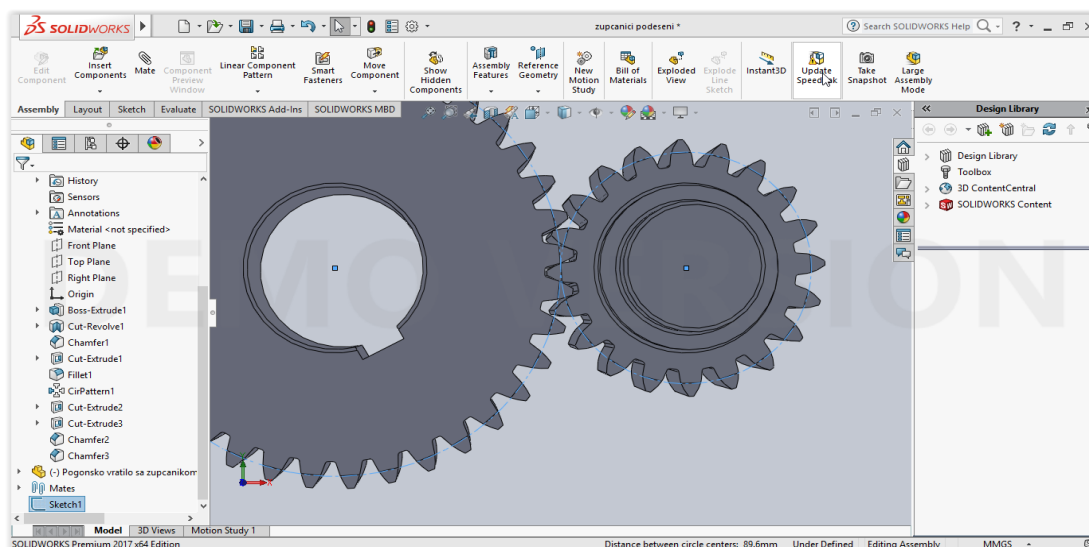


Сл. 8.6. Опције *Chamfer* и *Fillet*

8.2 Склапање 3D модела склопа редуктора

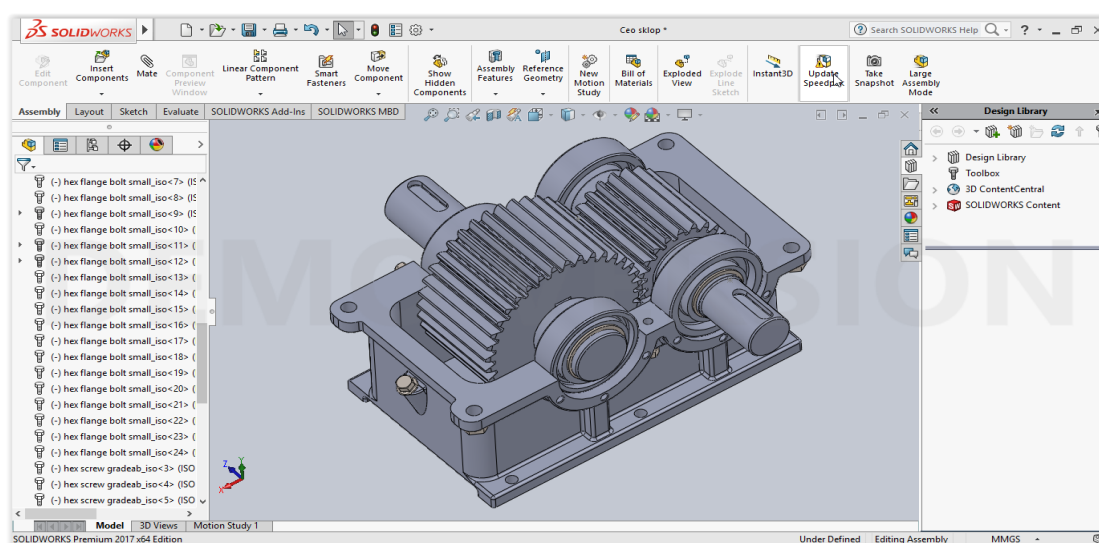
Након моделирања свих елемената редуктора, у оквиру прозора *Assembly*, врши се повезивање свих компоненти у једну функционалну целину.

Спрезање зупчаника врши се опцијом *GearMate* (слика 8.7). Прво се у скечу нацртају две кружнице, које представљају кинематске пречнике зупчаника, на међусобном осном растојању 90 mm, колико износи растојање између вратила. Затим се одреди однос броја зубаца између погонског и гоњеног зупчаника.



Сл. 8.7. Спрезање погонског и гоњеног зупчаника

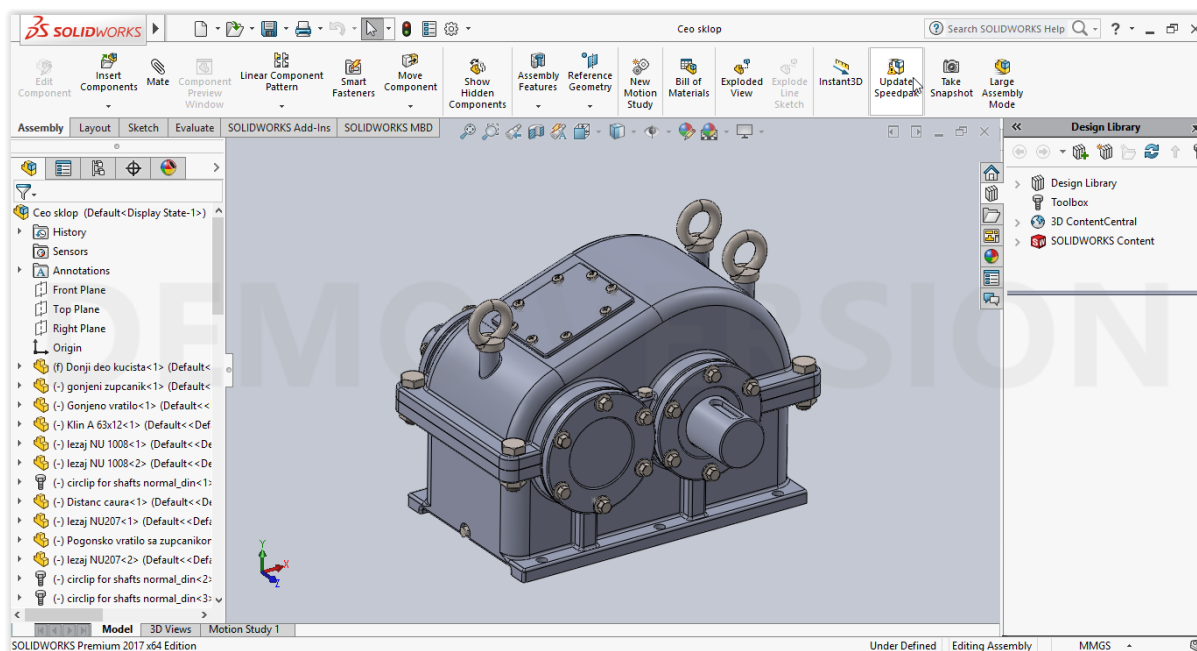
После тога следи спајање вратила и зупчаника посредством клина, постављање лежаја на вратила и обезбеђивање обртних делова од аксијалних померања посредством спољашњих ускочника и дистантне чауре. Све ово се врши у оквиру опције *Mate*. На слици 8.8 приказано је позицирање вратила, зупчаника и лежаја у доњи део кућишта.



Сл. 8.8. Доњи део кућишта

Након позиционирања свих покретних и непокретних делова у доњи део кућишта, следи центрирање и постављање горњег дела кућишта, заптивача поклопаца гоњеног и погонског вратила, затим поклопаца ових вратила и ревизионог поклопца. Веза између расклопивих делова редуктора, остварује се помоћу завртња и навртки.

Сви стандардни елементи као што су ускочници, завртњи, навртке, ушке за транспорт и др. убацују се из *Toolbox*-а.

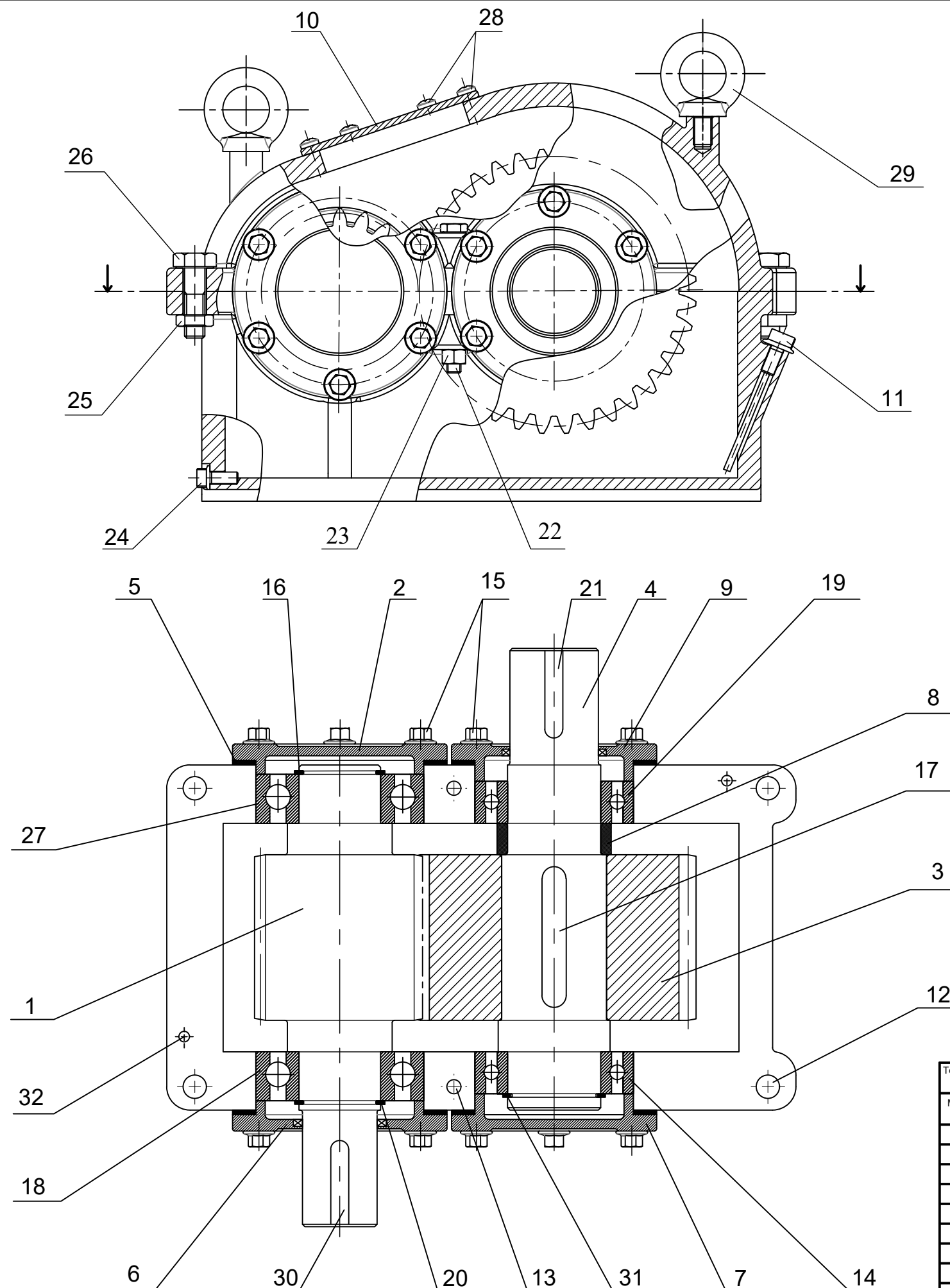


Сл. 8.9. Кућиште редуктора

9. Конструкциона документација

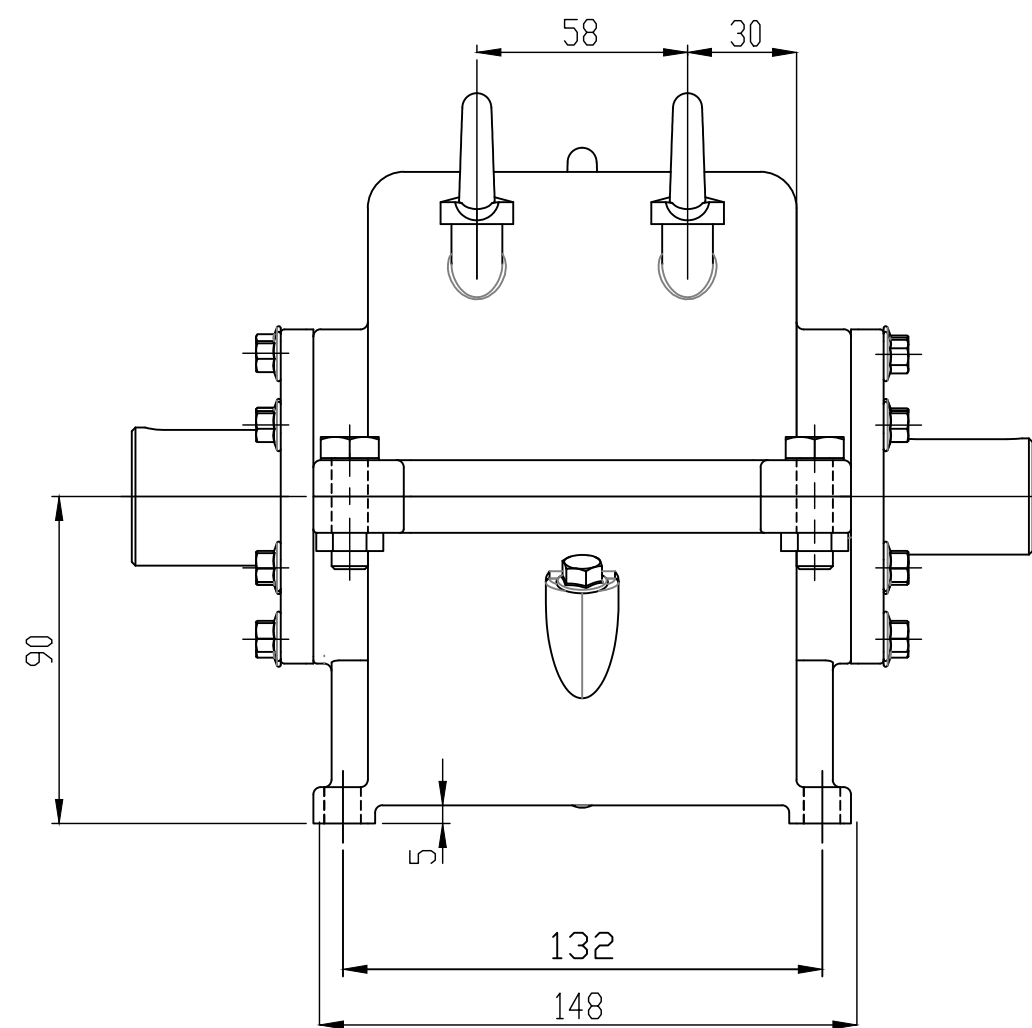
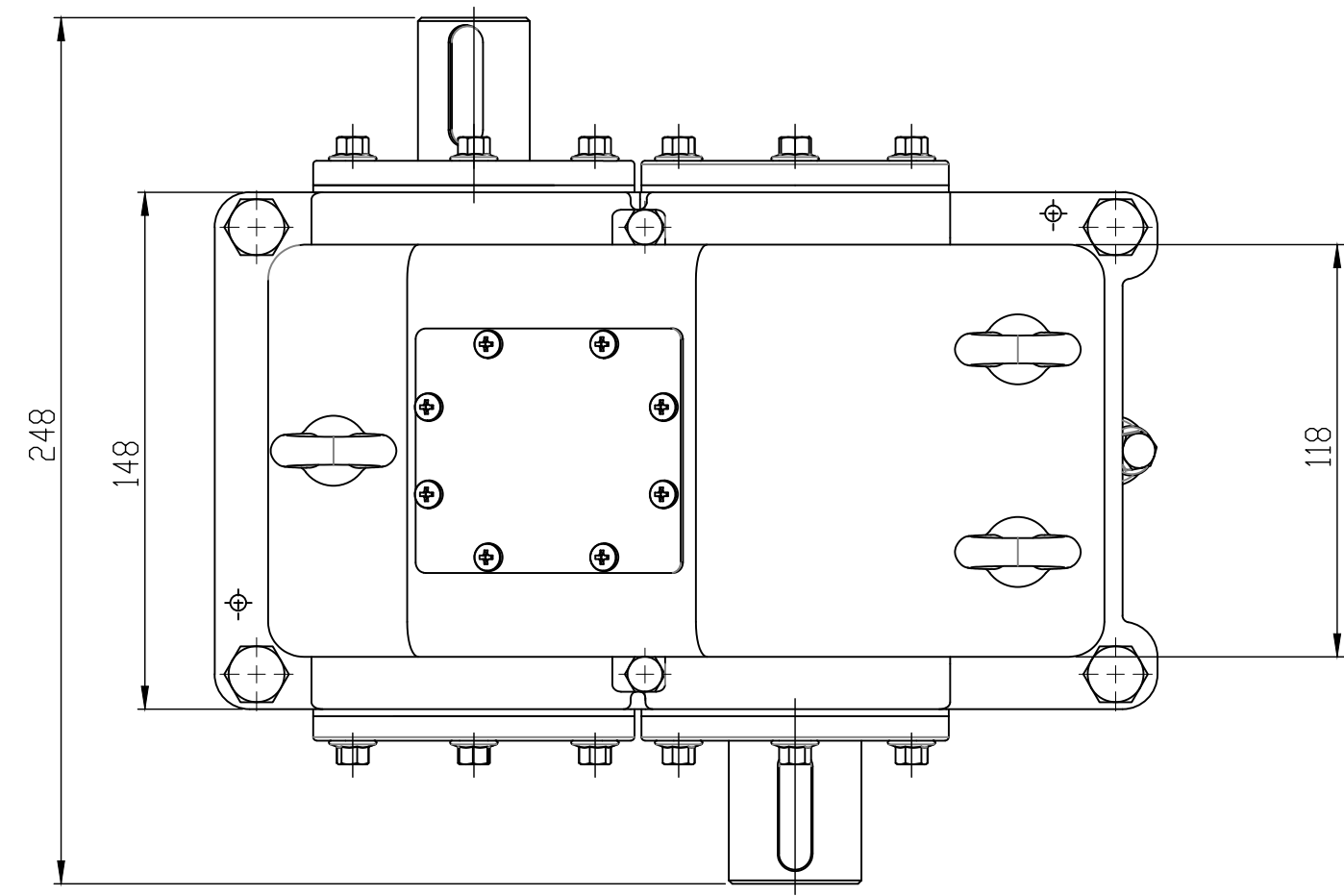
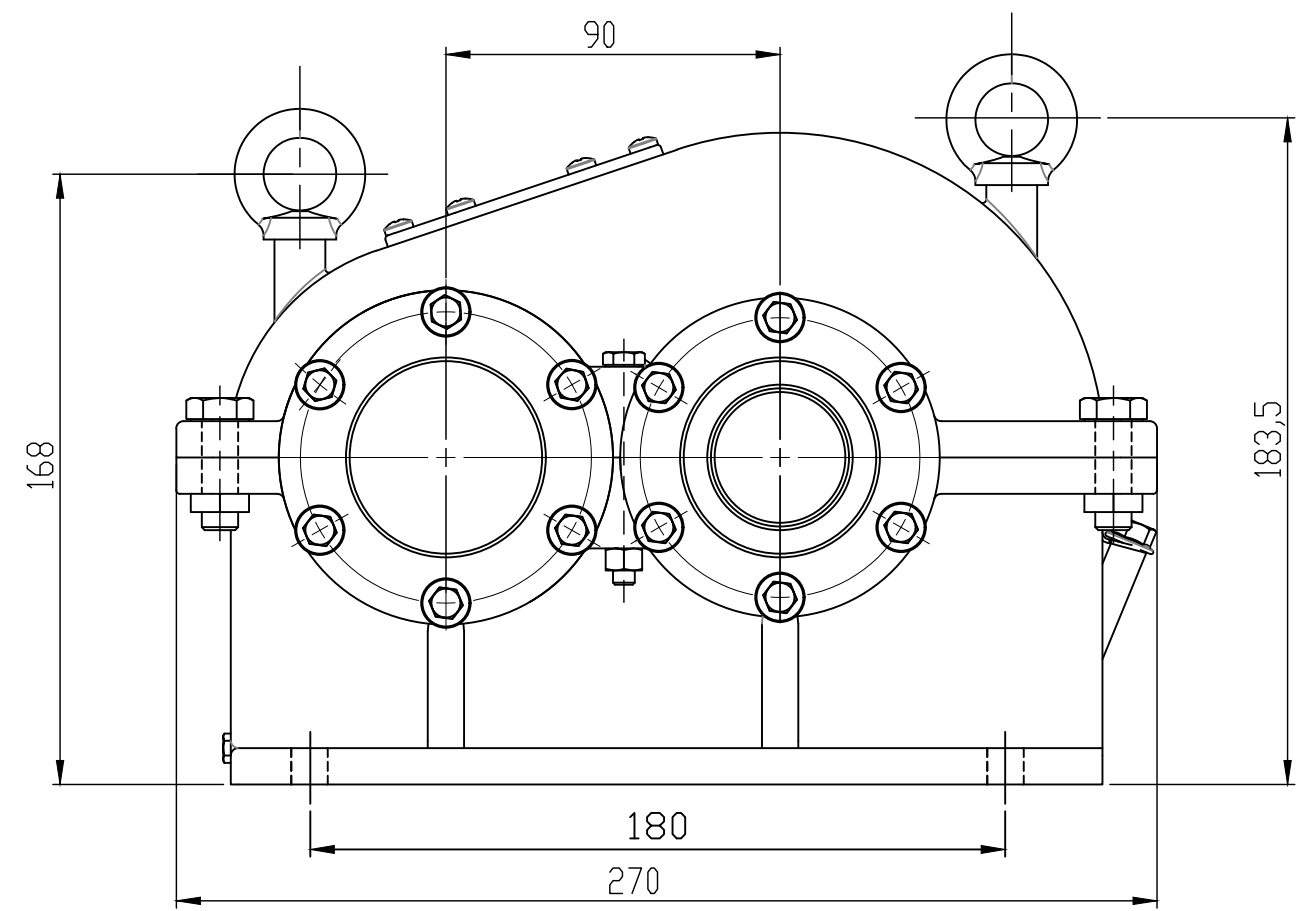
Конструкциону документацију једноступеног цилиндричног редуктора сачињавају технички цртежи за:

- Хоризонтални и вертикални пресек склопа,
- Пројекције редуктора
- Погонско вратило са зупчаником,
- Гоњено вратило, и
- Гоњени зупчаник.



32	Otvor za čivije		2	
31	Uskočnik spoljašnji	Č.2130	1	
30	Klin	Č.1530	1	C45
29	Uške za transport	Č.0526	3	
28	Zavrtanj M4x10	8.8	4	
27	Ležaj NU 207	Č.2130	2	
26	Zavrtanj M10x35	8.8	4	
25	Navrtka	Č.1730	4	
24	Zavrtanj M5x20	8.8	1	
23	Navrtka	Č.1730	2	
22	Zavrtanj M6x60	8.8	2	
21	Klin	Č.1530	1	C45
20	Uskočnik spoljašnji	Č.2130	2	
19	Ležaj NU 1008	Č.2130	1	
18	Ležaj NU 207	Č.2130	1	
17	Klin	Č.1530	1	C45
16	Uskočnik spoljašnji	Č.2130	2	
15	Zavrtanj M6x20	8.8	24	
14	Ležaj NU 1008	Č.2130	1	
13	Otvor za zavrtanj M6x60		2	
12	Otvor za zavrtanj M10x35		4	
11	Otvor za ulivanje ulja M6x25	Č.0526	1	
10	Revizioni poklopac	Č.0526	1	S355JO
9	Poklopac sa semeringom	Č.0526	1	S355JO
8	Distančna čaura	Č.0526	1	S355JO
7	Poklopac gonjenog vratila	Č.0526	1	S355JO
6	Poklopac sa semeringom	Č.0526	1	S355JO
5	Dihtung poklopca		4	
4	Gonjeno vratilo	Č.0545	1	E295
3	Gonjeni zupčanik	Č.4320	1	16MrCn5
2	Poklopac pogonskog vratila	Č.0526	1	S355JO
1	Pogonski zupčanik sa vratilom	Č.4320	1	16MrCn5
Poz.	Naziv:	Materijal	Kom.	Primedba

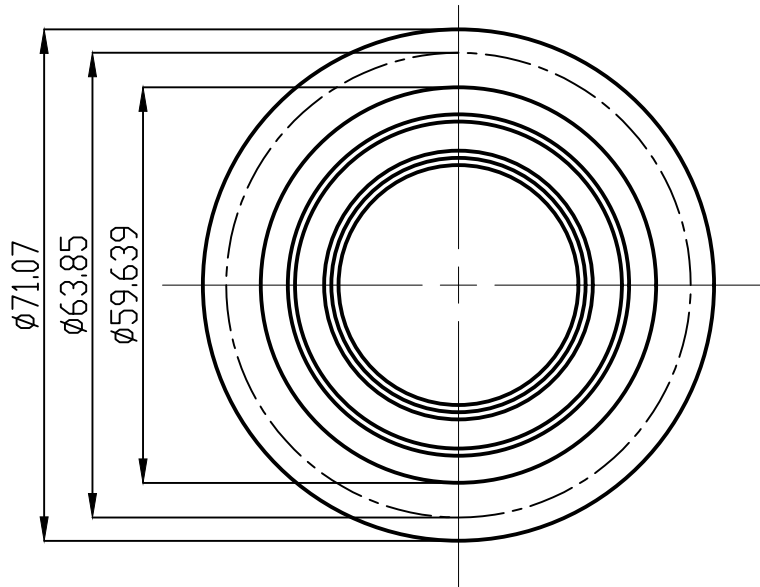
Tolerancije slobodnih mera			Površinska hrapavost			Površinska zaštita		
Materijal						Termička obrada		
			Datum			Naziv Horizontalni i vertikalni presek sklopa		
			Student: Filip Paunović 207/2014					
			Profesor: Dr. Lozica Ivanović					
			Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu				Oznaka	
							A3.01.00	
						1:2		



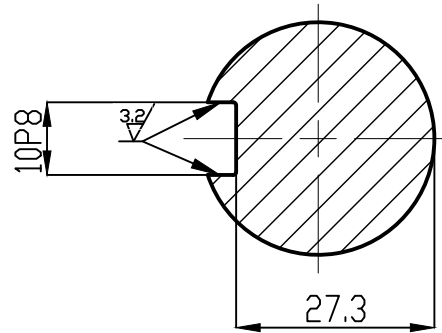
Tolerancije slobodnih mera			Površinska hrapavost			Površinska zaštita		
Materijal					Termička obrada			
			Datum		Projekcije kućišta reduktora			
Student: Filip Paunović 207/2014								
Profesor: Dr. Lozica Ivanović								
			Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu					
					A3.02.00			
					Razmera		1:2	

32h6	0
	-0.016
35m6	0.025
	0.009
10P8	-0.015
	-0.037

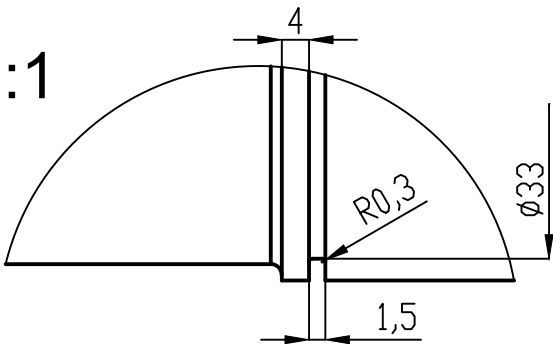
$\sqrt{\text{ }}$ / $\sqrt[1.6]{\text{ }}$ $\sqrt[3.2]{\text{ }}$



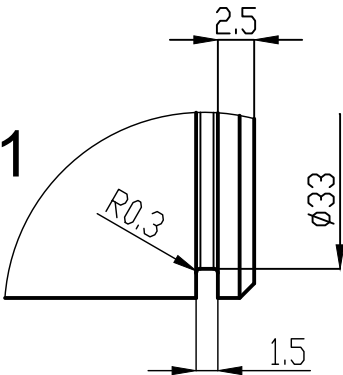
Presek "B-B"
 Razmera 1:1



Detalj "E"
 Razmera 2:1



Detalj "D"
 Razmera 2:1

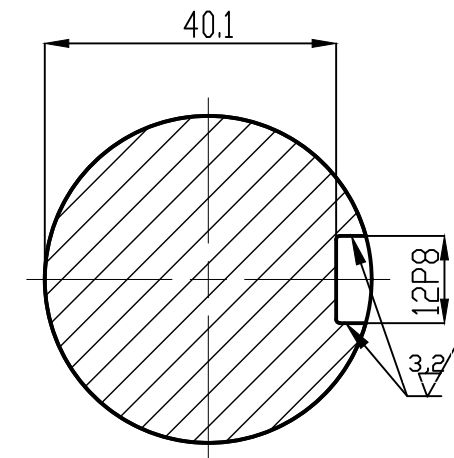


Cilindrični zupčanik sa pravim zupcima		
Naziv:	Oznaka:	Vrednost:
Broj zubaca zupčanika	z	20
Modul	m	3
Osni ugao	α_n	20°
Koeficijent pomeranja profila	x^*m	0
Prečnik kinematskog kruga	d_{w1}	63.85 mm
Prečnik osnovnog kruga	d_{b1}	59.639 mm
Lučna debljina zupca	S_{t1}	5.015 mm
Osnovni korak	pb	9.352 mm
Lučna širina medjuzublja	e_{t1}	5.014 mm

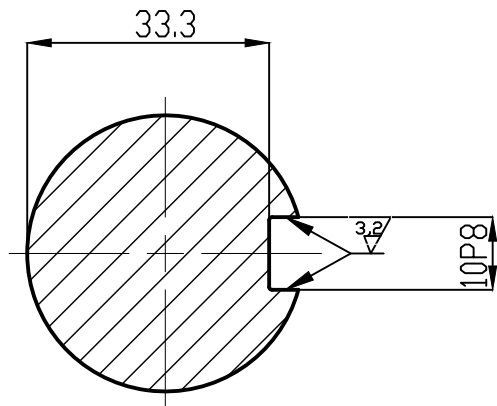
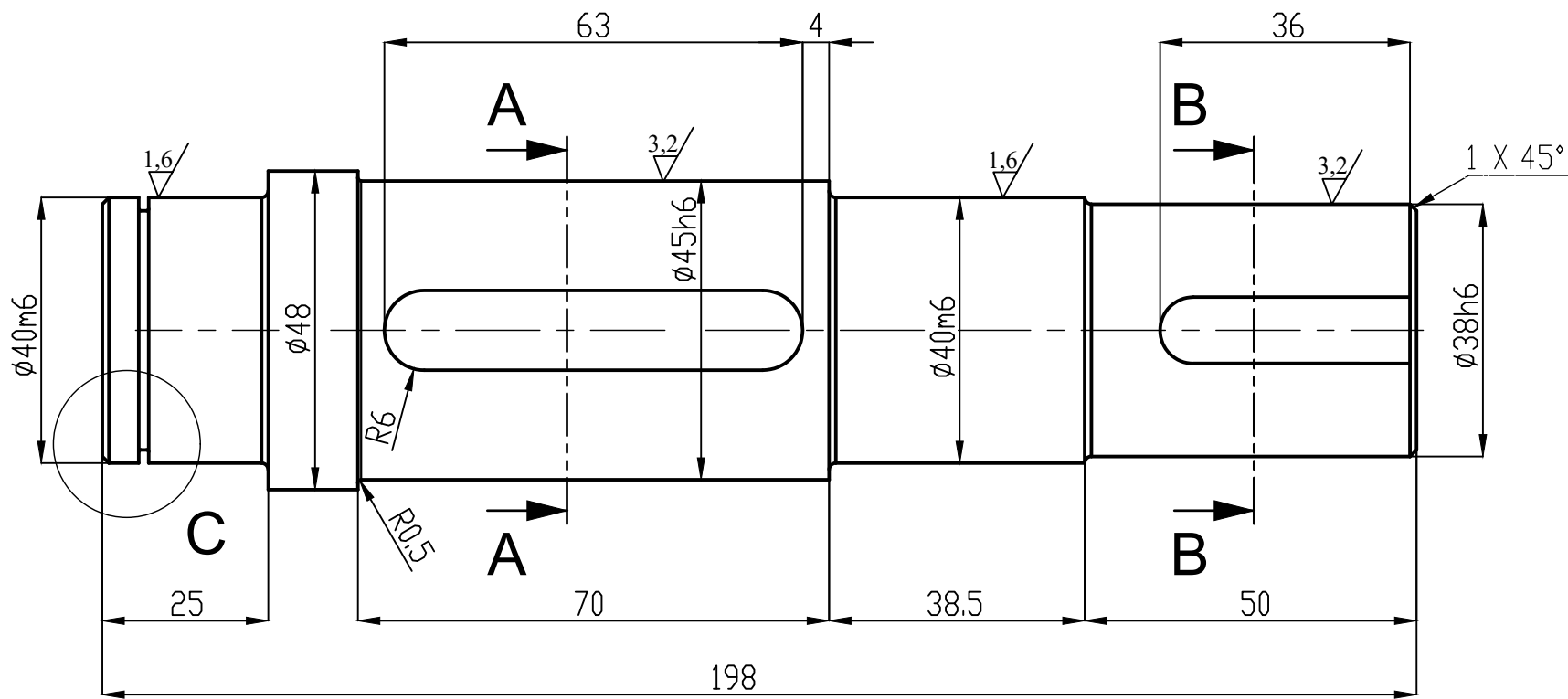
Tolerancije slobodnih mera			Površinska hrapavost			Površinska zaštita			hemijska oksidacija								
Materijal			16MrCn5(Č4320)						Termička obrada			poboljšanje					
			Datum						Pogonsko vratilo sa zupčanikom								
			Student: Filip Paunović 207/2014														
			Profesor: Dr. Lozica Ivanović														
			Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu						Oznaka			A3.01.01			A3 3/5		
									Razmera			1:1					

12P8	-0.018
	-0.045
10P8	-0.015
	-0.037
40m6	0.025
	0.009
45h6	0
	-0.016
38h6	0
	-0.016

✓ / 1,6 / 3,2 /

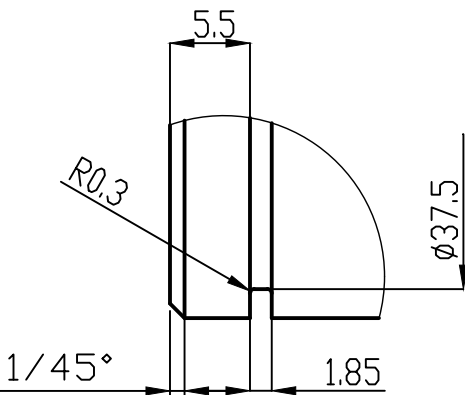


Presek "A-A"
Razmera 1:1



Presek "B-B"
Razmera 1:1

Detalj "C"
Razmera 2:1

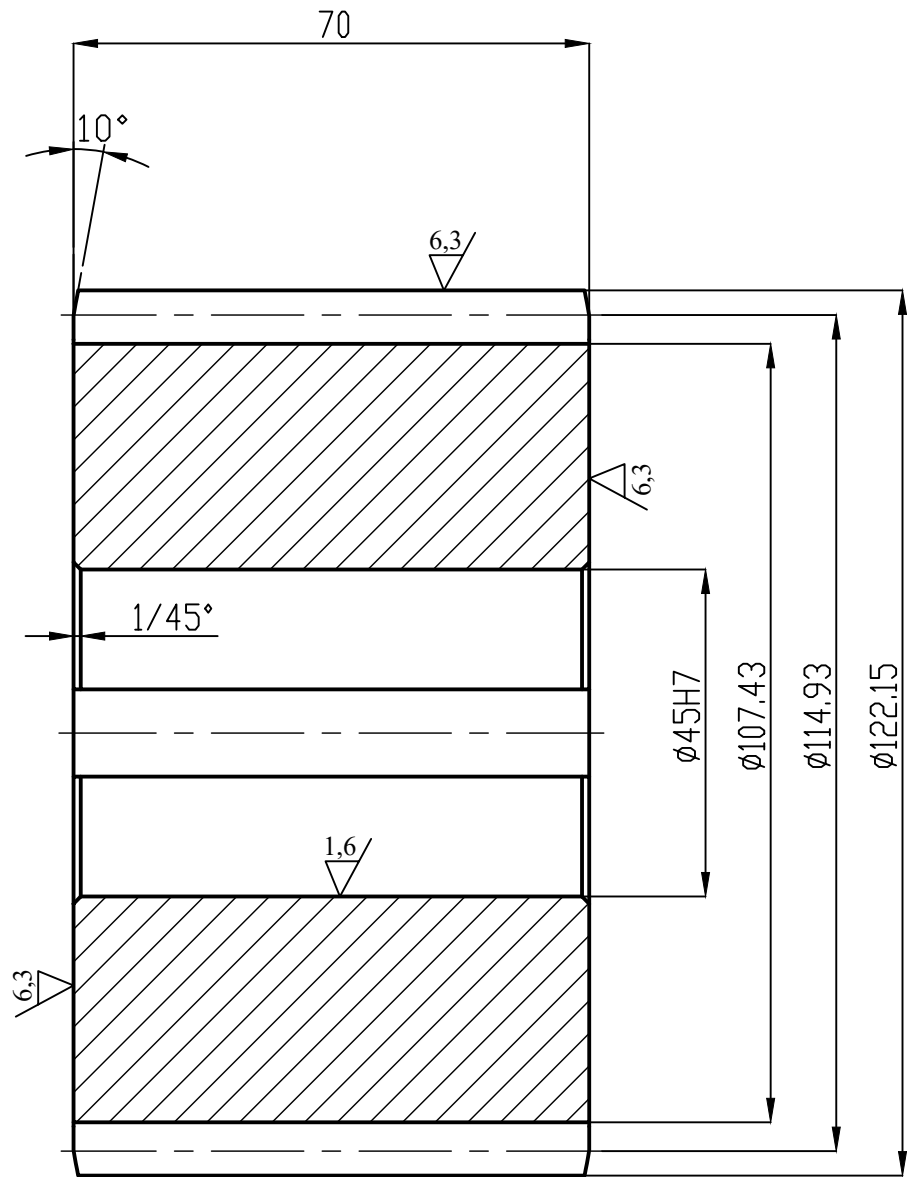


Napomena:
Sve nekotirane prelaze zaobliti za r = 1 mm

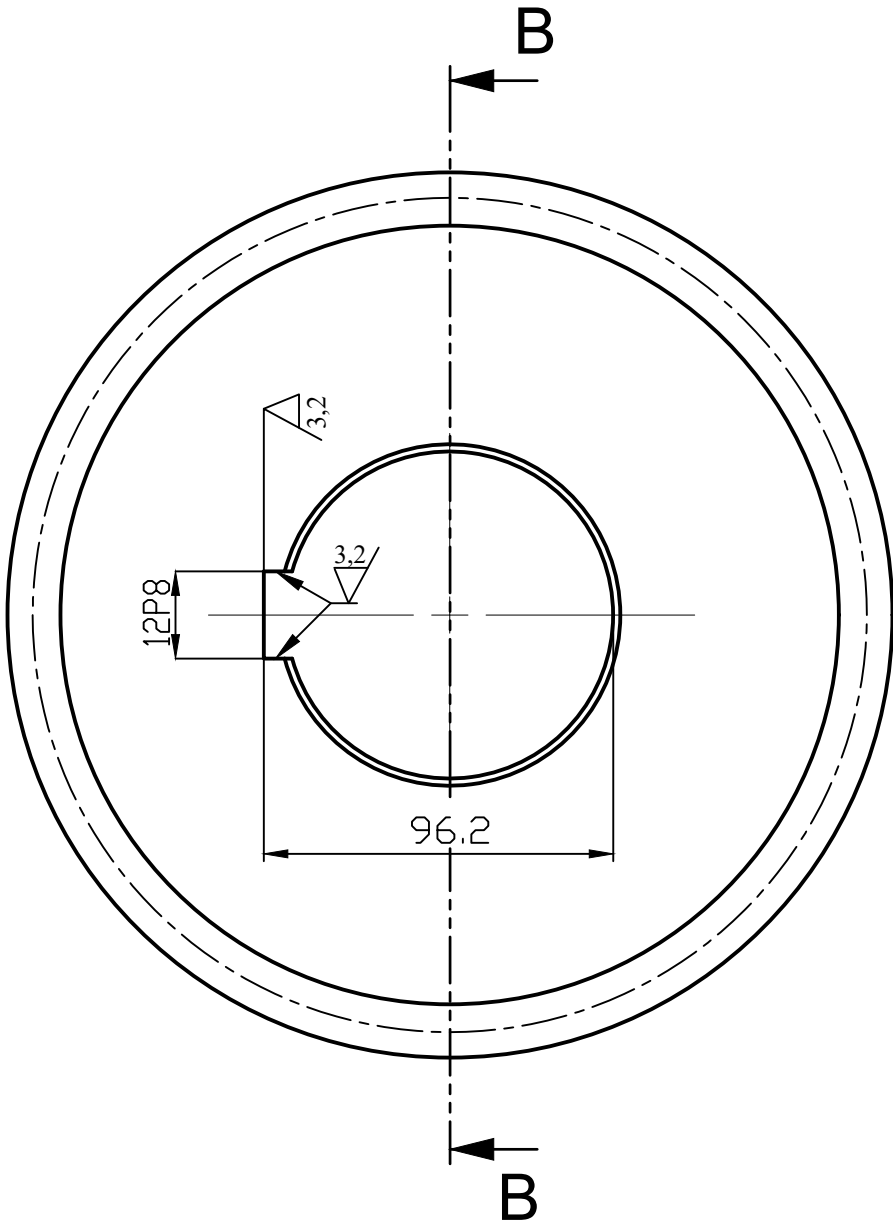
Tolerancije slobodnih mera				Površinska hrapavost				Površinska zaštita				hemijska oksidacija			
Materijal				E295(Č0545)				Termička obrada				poboljšanje			
				Datum				Naziv <							

12P8	-0.018
	-0.045
45H7	0.025
	0

$\sqrt{\text{1,6}}$
 $\sqrt{\text{3,2}}$
 $\sqrt{\text{6,3}}$



Presek "B-B"



Cilindrični zupčanik sa pravim zupcima		
Naziv:	Oznaka:	Vrednost:
Broj zubaca zupčanika	z	36
Modul	m	3
Osni ugao	α_n	20°
Koeficijent pomeranja profila	x^*m	0
Prečnik kinematskog kruga	d_{w_2}	114.93 mm
Prečnik osnovnog kruga	d_{b_2}	107.17 mm
Lučna debljina zupca	St_2	5.015 mm
Osnovni korak	pb	9.352 mm
Lučna širina medjuzublja	et_2	5.014 mm

Tolerancije slobodnih mera			Površinska hrapavost			Površinska zaštita			hemijska oksidacija				
Materijal			16MrCn5(Č4320)			Termička obrada			cementacija				
			Datum			Naziv Gonjeni zupčanik							
			Student: Filip Paunović 207/2014										
			Profesor: Dr. Lozica Ivanović										
			Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu			Oznaka			A3.01.03			A3 5/5	
						Razmera			1:1				

10. Закључак

Основни проблеми на које се наилази приликом конструисања редуктора су захтеви везани за израду и обраду, односно проблеми технолошки исправног обликовања склопа.

Обзиром да се редуктор израђује ливењем потребно је правилно и технолошки исправно обликовати склоп, како би био технички једноставан, а опет максимално функционалан и економски оправдан. Посебну пажњу потребно је посветити правилном обликовању виталних делова, који су носиоци главних оптерећења, као што су вратила, зупчаници и лежајеви.

Конструисање представља процес чије спровођење почиње идејом а завршава се добијањем конструкционо технолошком документацијом за израду машинског система.

Израдом 3D модела једностепеног цилиндричног редуктора употребом CAD система, и касније његовом физичком израдом употребом доступних CAM система знатно се смањују трошкови пројектовања и развоја те се скраћује време израде прототипа производа.

Приказани су поступци прорачуна једностепеног редуктора, неопходни као улазни параметри у процесу њиховог 3D моделирања уз помоћ програмског софтвера *SolidWorks*. Израђени 3D модел редуктора може се користити за даљу анализу и побољшања.

11. Литература

- [1] Радојка Глигорић, Инжењерске комуникације, Нови Сад, 2015.
- [2] Радојка Глигорић, Анђелковић С., Михал М., Нови приступ у изради и коришћењу техничке документације, Нови Сад, 2000.
- [3] Радојка Глигорић, Машински елементи, Пољопривредни факултет, Нови Сад, 2015.
- [4] Вера Николић, Машински елементи – теорија, прорачун, примери, Крагујевац, 2004.
- [5] Ивановић Л., Ерић М.: Техничко цртање са компјутерском графиком - Практикум, ФИН, Крагујевац, 2011.
- [6] Милојевић З., Рацков М., Кузмановић С., Кнежевић И., Навалушић С., Ивановић Л., Вереш М., Марковић Б.: Израда конструкционе документације, ФТН, Нови Сад, 2015.
- [7] Ненад Марјановић, Основе 3D моделирања у CAD софтверима, Крагујевац, 2014.