

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи II

Број индекса: 186/2014

Ана М. Радовановић
Мултипликатори
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др. Мирко Благојевић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

САДРЖАЈ:

1. УВОД.....	1
2. ПРОРАЧУН МУЛТИПЛИКАТОРА	6
2.1 Полазни подаци:	6
2.2 Жељени радни преносни однос i_M , као и кинематски преносни однос u_M	7
2.3 Стварни кинематски преносни однос мултипликатора.....	7
2.4 Грешка преносног односа	7
2.5 Прорачун снага	7
2.6 Прорачун бројева обртаја.....	7
2.7 Прорачун угаоних брзина	7
2.8 Прорачун обртних момената	8
2.9 Прорачун зупчаника.....	8
2.9.1 Пречник подеоног круга малог зупчаника.....	8
2.9.2 Модул.....	8
2.10 Прорачун геометрије зупчаника, [2], табела 2.3.2	9
2.10.1 Стандардни модул	9
2.10.2 Стандардни профил	9
2.10.3 Угао нагиба бочне линије	9
2.10.4 Угао нагиба профила алата.....	9
2.10.5 Модул у чеоној равни	9
2.10.6 Бројеви зубаца зупчаника	9
2.10.7 Кинематски преносни однос.....	10
2.10.8 Корак на подеоном кругу	10
2.10.9 Корак на основном кругу.....	10
2.10.10 Пречници подеоних кругова	10
2.10.11 Ширина зупчаника	10
2.10.11 Пречници основних кругова.....	10
2.10.12 Угао нагиба зубаца на основном кругу	10
2.10.13 Нулто осно растојање	10
2.10.14 Коефицијенти померања профила	11
2.10.15 Угао додирнице.....	11
2.10.16 Осно растојање.....	11
2.10.17 Пречници кинематских кругова	11
2.10.18 Пречници подножних кругова	11
2.10.19 Пречници темених кругова	11
2.10.20 Лучна ширина међузубља	11

2.10.21 Темени зазор	11
2.10.22 Парцијалне дужине додирнице.....	12
2.10.23 Дужина активног дела додирнице	12
2.10.24 Парцијални степен спрезања	12
2.10.25 Степен спрезања профила.....	12
2.10.26 Степен спрезања бочних линија	12
2.10.27 Укупни степен спрезања	12
2.10.28 Провера интерференце при спрезању	12
2.11 Основне величине за еквивалентни (фиктивни) зупчаник- нормална равна.....	13
2.11.1 Модул	13
2.11.3 Корак на подеоном кругу	13
2.11.4 Корак на основном кругу	13
2.11.5 Бројеви зубаца.....	13
2.11.6 Пречници подеоних кругова	13
2.11.7 Пречници основних кругова.....	13
2.11.8 Лучне дебљине зубаца на подеоном кругу	14
2.12 Прорачун чврстоће зупчаника, [2]	14
2.12.1 Радни напон на боковима зубаца.....	14
2.12.2 Прорачун носивости зупчаника по критеријуму чврстоће подножја зубаца	18
2.13 Прорачун вратила, [2]	21
2.13.1 Вратило I.....	23
2.13.2 Избор лежаја за вратило I:	30
2.13.3 Вратило II.....	32
2.13.4 Избор лежаја за вратило II:	38
2.14 Прорачун кућишта мултипликатора	39
2.15 Модел мултипликатора урађен у Solid Works-у:	40
3. ЗАКЉУЧАК.....	45
4. ЛИТЕРАТУРА.....	46

SUMMARY

This paper describes the construction of a single-toothed multiplier for a wind farm. A multiplier calculation has been created which must satisfy the given conditions. The input shaft is connected directly to the wind turbine and exiting shaft is connected directly to the electric generator. After the calculation, a 3D model was made in Solid Works.

Key words: gear box, windmills, reducer, multiplier

РЕЗИМЕ

У овом раду описује се конструкција једноступеног зупчастог мултипликатора за ветроелектрану. Урађен је прорачун мултипликатора који мора задовољити задате услове. Улазно вратило мултипликатора везано је директно на ветротурбину, а излазно вратило је везано за електрични генератор. Након прорачуна урађен је 3D модел у Solid Works-у.

Кључне речи: мултипликатор, редуктор, ветрењаче, ветроелектране

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши прорачун једног конкретног зупчастог мултипликатора као и да у неком од расположивих софтвера уради његов тродимензионални модел.

Препоручена литература:

- [1] Б. Стојановић, М. Благојевић: МЕХАНИЧКИ ПРЕНОСНИЦИ, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2015.
- [2] В. Николић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ, Машински факултет Крагујевац, 2004.

Крагујевац, септембар 2017.

Ментор:

Др Мирко Благојевић, ван. проф.

1. УВОД

Преносници су задужени да преносе кретање и обртни момент са једног вратила на друго. При томе се врши и одређена трансформација броја обртаја и обртног момента.

Да би био изабран одговарајући преносник потребно је узети у обзир многе факторе, а између осталих и радни преносни однос. Радни преносни однос представља однос улазног и излазног броја обртаја, односно улазне и излазне угаоне брзине:

$$i = \frac{n_{ul}}{n_{iz}} = \frac{\omega_{ul}}{\omega_{iz}} \quad (1)$$

Радни преносни однос може бити, [1]:

- $i > 1$ (редуктори),
- $i = 1$ (једноставни преносници),
- $i < 1$ (мултипликатори), [1,2].

Када је радни преносни однос већи од један онда се овакав тип преносника назива редуктор. Редуктор представља преносник снаге који преноси снагу са погонске на радну машину и при томе редукује (смањује) број обртаја, а повећава обртни момент на вратилу радне машине.

Што се тиче мултипликатора, њихов задатак је супротан задатку редуктора. Мултипликатори увећавају, што им и сам назив говори, број обртаја, а смањују обртни момент на вратилу радне машине.

Примена мултипликатора је, за сада, мањег обима него примена редуктора. Примењују се код ветрогенератора, у дрвној индустрији, код минихидроелектрана,...

У последњих неколико деценија а посебно данас, постоји све већа потреба за обновљивим изворима енергије, [3]. Наравно, поједини обновљиви извори енергије су се користили од давнина. Енергија воде је коришћена у воденицама како би се помоћу ње млело брашно. Исто тако и енергија ветра је коришћена у ветрењачама. Појавом фосилних горива овакав начин коришћења обновљивих извора енергије пада у заборав. Ипак човечанство се последњих деценија, а данас већ знатно активније окреће проналажењу начина на који се обновљиви извори енергије могу користити за потребе људи, јер фосилна горива немају неограничен век трајања. Неограничен век трајања немају ни обновљиви извори енергије, али се они ипак обнављају после неког временског периода. Природа се константно мења и пружа ове изворе енергије. Постоји пуно разлога због којих треба радити на све већем коришћењу обновљивих извора енергије, а два су најбитнија:

- 1) Обновљиви извори енергије играју веома важну улогу у смањењу емисије угљен-диоксида у атмосферу, [3],
- 2) необновљивих извора енергије је све мање и све их је теже исцрпети из постојећих резерви, а и њихов штетни утицај је знатно већи последњих година, [3].

Један од најексплоатисанијих обновљивих извора енергије је ветар. Ветар је хоризонтално струјање ваздушних маса настало услед разлике температуре, односно просторне разлике у ваздушном притиску. У неким деловима земље дувају стални (планетарни) ветрови и управо на тим подручјима се највише исплати користити енергију ветра, [4].

Предности коришћења енергије ветра су што нема трошкова за гориво и загађења околине. Поред наведених предности постоје и мане, а то су велики трошкови саме изградње ветрогенератора и променљивост брзине ветра.

Јако је битно знати да није свако место погодно за постављање ветроелектарне. Постоје делови Земље где дувају стални или како се још називају, планетарни, ветрови и у тим деловима је најисплативије поставити ветроелектрану, [5]. Добра места за постављање ветроелектрана су пучине и обале океана, једино што је за постављање ветроелектрана на пучини мора потребна енормна сума новца, па се самим тим не исплати таква инвестиција. Што се конкретно Србије тиче и постављања ветроелектрана на њеним подручјима, најповољнија места су: Миџор на Старој планини са просечном брзином ветра од 7,66 m/s, Сува планина са 6,46 m/s, Вршачки Брег 6,27 m/s, Тупижница 6,25 m/s, Крепољин 6,18 m/s, Дели Јован 6,13 m/s, Јухор и Јастребац, али не треба изоставити и друге области у долини Дунава, Саве и Мораве, [5]. За тачне податке снаге ветрова и оцене оправданости изградње ветроелектрана потребно је спровести мерења, тако да је Агенција за енергетску ефикасност Републике Србије обавила мерења параметара ветра на висини од 10-50 метара у Неготину, Великом Градишту и Тителу, [5].

Велике ветрењаче најчешће се инсталирају у парк ветрењача, (слика 1), да би се затим преко трансформатора спојиле са електричном мрежом, [4].

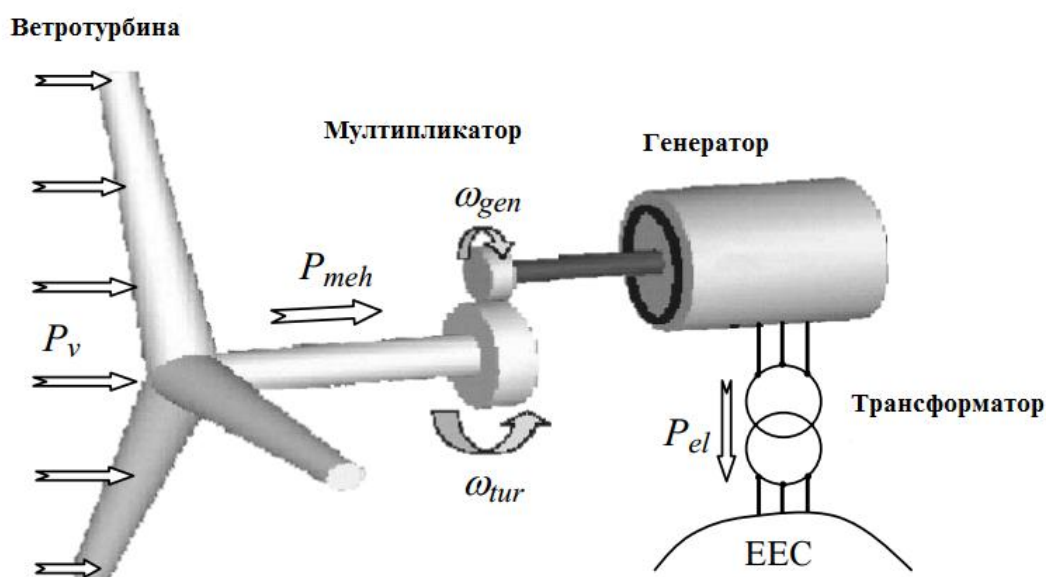


Слика 1. Ветропарк, [6]

Да би било могуће да се енергија ветра трансформише у механичку енергију потребна је ветротурбина која се састоји од више елиса. Најчешће бирано решење јесте са три елисе. Начин на који се повезује ветротурбина са генератором је главна тема и суштина

овог рада. Да би се број обртаја ветротурбине прилагодио захтеваном броју обртаја генератора, између ветротурбине и генератора инсталира се мултипликатор.

Следећи корак јесте трансформисање механичке енергије у електричну енергију. За ову трансформацију се употребљава генератор. Он може бити синхрони и индукциони (асинхрони) и може радити са константним или променљивим бројем обртаја. Битно је и да се тај генератор прилагођава самом електроенергетском систему помоћу енергетског блок-трансформатора, [7]. На слици 2, могуће је видети приказ претварања енергије.



Слика 2. Шема претварања енергије ветра у електричну енергију, [8]

Са слике се може закључити да се снага ветра доводи до мултипликатора одакле се преко генератора шаље у трансформатор и претвара у електричну енергију. Када се изврши трансформација, онда се та електрична енергија шаље у електроенергетски систем (ЕЕС). Као што се може приметити, у мултипликатору долази до извесног прилагођавања броја обртаја. Брзину обртања ветротурбине (јер она износи свега неколико десетина обртаја у минути), потребно је прилагодити броју обртаја генератора. Мултипликатор увећава број обртаја ветротурбине како би извршио прилагођавање генератору и како би дошло до производње електричне енергије, [8].

Сви ови до сада поменути елементи ветроелектране чине један функционални склоп који се састоји од великог броја делова приказаних на слици 3.



Слика 3. Делови ветроелектране, [9]

Делови ветроелектране су:

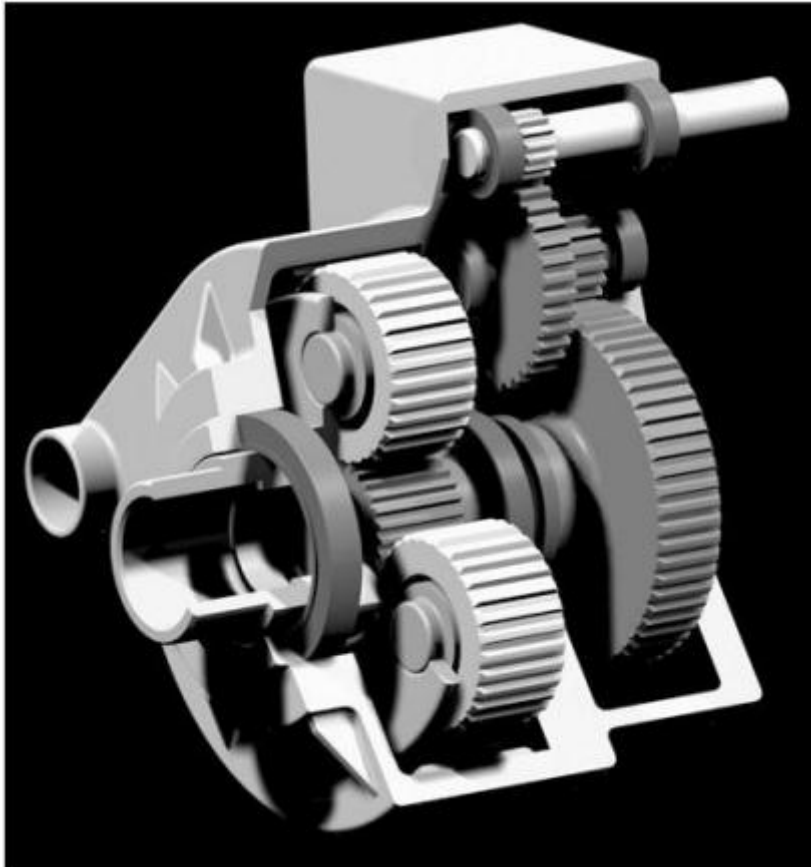
- 1) Торањ- направљен као затворен стуб,
- 2) Лопатице,
- 3) Ротор,
- 4) Кочница,
- 5) Улазно вратило- заједно са излазним вратилом покреће генератор,
- 6) Излазно вратило,
- 7) Усмеривач- усмерава нагиб лопатица,
- 8) Мотор усмеривача- покреће усмеривач,
- 9) Мултипликатор,
- 10) Генератор,
- 11) Анеометар- мери брзину ветра,
- 12) Диоптер ветрењаче- прати смер ветра и омогућава усмеривачу да орјентише ротор ка ветру, [9].

Одабир одговарајућег мултипликатора представља велики изазов за инжењере. Постоји пуно услова које мултипликатор мора да испуни. Код великих ветрогенератора за мултипликатор се, у већини случајева, користе планетарни преносници. Они се употребљавају зато што преносе велике снаге, могућности остваривања великог преносног односа, а предност им је такође и што заузимају мало простора. Из овога се може закључити да се тежи одабиру мултипликатора који може да испуни све задате услове, а да притом има малу масу и заузима мали простор.

Мултипликатори код ветрогенератора раде са константним преносним односом.

Постоје случајеви где се редуктор може користити и као мултипликатор, али не увек.

Иако ће се овај рад бавити прорачуном зупчастог мултипликатора, није на одмет представити још нека могућа решења. На слици 4 дат је приказ планетарног мултипликатора који се користи код ветрогенератора велике снаге.



Слика 4. Планетарни мултипликатор, [10]

2. ПРОРАЧУН МУЛТИПЛИКАТОРА

2.1 Полазни подаци:

Снага електромотора: $P_{EM} = 50 \text{ kW}$

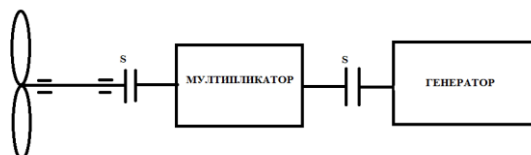
Улазни број обртаја: $n_{ul} = 120 \text{ min}^{-1}$

Излазни број обртаја: $n_{iz} = 750 \text{ min}^{-1}$

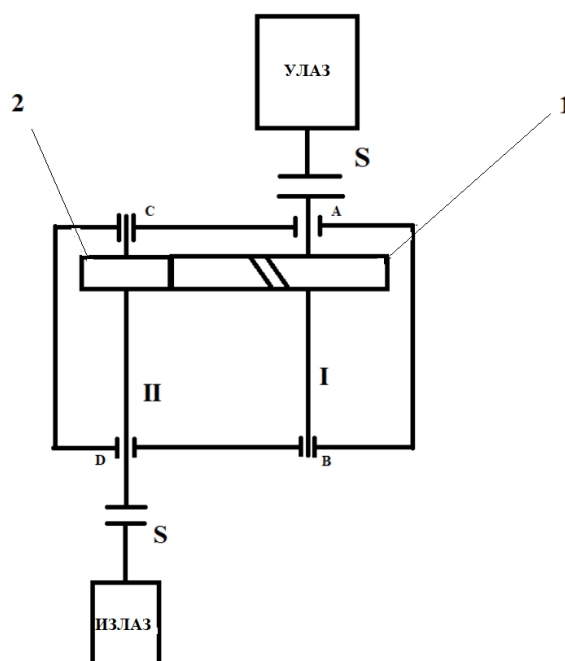
Радни век: $L_h = 10\,000 \text{ h}$

Степен искоришћења спојнице: $\Pi_s = 0,97$

Степен искоришћења зупчастог пара: $\Pi_{12} = 0,97$



Слика 5. Шема ветроелектране



Слика 6. Шема преносника

2.2 Жељени радни преносни однос i_M , као и кинематски преносни однос u_M

$$i_M = \frac{n_{ul}}{n_{iz}} = \frac{120}{750} = 0,16$$

$$u_M = \frac{1}{i} = \frac{1}{0,16} = 6,25$$

Број зубаца малог зупчаника усваја се према препорукама, [2]:

$$z_2 = 20 - 25$$

Усваја се: $z_2 = 23$

$$z_1 = \frac{z_2}{i_M} = \frac{23}{0,16} = 143,75$$

Усваја се: $z_1 = 144$

2.3 Стварни кинематски преносни однос мултипликатора

$$u = \frac{z_1}{z_2} = \frac{144}{23} = 6,2419$$

2.4 Грешка преносног односа

$$\Delta u = \frac{(u_M - u) \cdot 100\%}{u_M} = \frac{(6,25 - 6,2419) \cdot 100\%}{6,25} = 0,576\% < 5\%$$

2.5 Прорачун снага

$$P_{ul} = 50 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_I = P_{EM} \cdot \eta_s = 50 \cdot 0,97 = 48,5 \text{ kW}$$

$$P_2 = P_{II} = P_1 \cdot \eta_{12} = 48,5 \cdot 0,97 = 47,045 \text{ kW}$$

$$P_{iz} = P_2 \cdot \eta_s = 47,045 \cdot 0,97 = 45,6336 \text{ kW}$$

2.6 Прорачун бројева обртаја

$$n_1 = n_I = n_{ul} = 120 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = n_{II} = n_1 \cdot u = 120 \cdot 6,2419 = 749,028 \text{ min}^{-1}$$

2.7 Прорачун угаоних брзина

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \omega_I = \omega_{ul} = \frac{\pi \cdot 120}{30} = 12,5664 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \omega_{II} = \omega_{iz} = \frac{\pi \cdot 749,028}{30} = 78,4380 \text{ s}^{-1}$$

2.8 Прорачун обртних момената

$$T_{ul} = \frac{P_{ul}}{\omega_{ul}} = \frac{50 \cdot 10^3}{12,5664} = 3\,978,8643 \text{ Nm}$$

$$T_1 = T_{ul} \cdot \eta_s = 3978,8643 \cdot 0,97 = 3859,4984 \text{ Nm}$$

$$T_2 = T_1 \cdot i_{12} \cdot \eta_{12} = 3859,4984 \cdot 0,16 \cdot 0,97 = 598,9941 \text{ Nm}$$

$$T_{iz} = \frac{P_{iz}}{\omega_{iz}} = \frac{45,6336 \cdot 10^3}{78,4380} = 581,7792 \text{ Nm}$$

2.9 Прорачун зупчаника

За израду зупчаника бира се материјал: Š1531, [2] табела 2.8.24

Тврдоћа бокова: 190/560 HB

Динамичка издржљивост бокова: $\sigma_{Hlim} = 1030 \text{ MPa}$

Динамичка издржљивост подножја: $\sigma_{Flim} = 270 \text{ MPa}$

2.9.1 Пречник подеоног круга малог зупчаника

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot T_2 \cdot K_A}{K \cdot \Psi_{bd}} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

$K_A = 1$ (фактор радних услова), електрогенератор (равномерна промена), [2], табела 2.8.1

$K = 0,8$, [2], табела 2.8.25

$\Psi_{bd} = 1,4$ (однос ширине и пречника подеоног круга малог зупчаника), [2], табела 2.9.1

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{2000 \cdot 598,9941 \cdot 1}{0,8 \cdot 1,4} \cdot \frac{6,2419+1}{6,2419}}$$

$$d_2 \geq 107,4624 \text{ mm}$$

2.9.2 Модул

$$m = \frac{d_2}{z_2} = \frac{107,4624}{23} = 4,6723 \text{ mm}$$

$$m_n = m \cdot \cos \beta$$

Усваја се: $\beta = 15^\circ$, угао нагиба зубаца, [2], страна 151.

$$m_n = 4,6723 \cdot \cos 15^\circ = 4,5131 \text{ mm}$$

Усваја се: $m_n = 6 \text{ mm}$, [2], табела 2.2.1

2.10 Прорачун геометрије зупчаника, [2], табела 2.3.2

2.10.1 Стандардни модул

$$m_n = 6 \text{ mm}$$

2.10.2 Стандардни профил

$$\alpha_p = 20^\circ$$

$$c_p = 1$$

$$c_p = (0,2-0,3) \cdot m_n = 0,25 \cdot 6 = 1,5 \text{ mm}$$

$$h_{fp} = m_n + c_p = 6 + 1,5 = 7,5 \text{ mm}$$

$$h_{ap} = m_n = 6 \text{ mm}$$

$$h_p = h_{fp} + h_{ap} = 7,5 + 6 = 13,5 \text{ mm}$$

2.10.3 Угао нагиба бочне линије

$$\beta = 15^\circ$$

2.10.4 Угао нагиба профила алата

$$\tan \alpha_n = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

$$\alpha_n = \alpha_p = 20^\circ$$

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} = 0,3768$$

$$\alpha_t = \arctan \alpha_t (0,3768) = 20,6464^\circ$$

2.10.5 Модул у чеоној равни

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

$$m_t = \frac{6}{\cos 15^\circ} = 6,2116 \text{ mm}$$

2.10.6 Бројеви зубаца зупчаника

$$z_1 = 144$$

$$z_2 = 23$$

2.10.7 Кинематски преносни однос

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{144}{23} = 6.2419$$

2.10.8 Корак на подеоном кругу

$$p_t = m_t \cdot \pi = 6,2116 \cdot \pi = 19,5143 \text{ mm}$$

2.10.9 Корак на основном кругу

$$p_{bt} = p_t \cdot \cos \alpha_t = p_{et} = 19,5143 \cdot \cos 20,6464^\circ = 18,2160$$

2.10.10 Пречници подеоних кругова

$$d_1 = m_t \cdot z_1 = \frac{m_n \cdot z_1}{\cos \beta} = \frac{6 \cdot 144}{\cos 15^\circ} = 894,4786 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_t \cdot z_2 = \frac{m_n \cdot z_2}{\cos \beta} = \frac{6 \cdot 23}{\cos 15^\circ} = 142,8681 \text{ mm}$$

2.10.11 Ширина зупчаника

$$b = b_2 = \Psi_{bd} \cdot d_2 = 1,4 \cdot 142,8681 = 200,0153 \text{ mm}$$

Усваја се: $b_2 = 200 \text{ mm}$

$$b_1 = b + 2 = 200 + 2 = 202 \text{ mm}$$

2.10.11 Пречници основних кругова

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha_t = 894,4786 \cdot \cos 20,6464^\circ = 837,0301 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha_t = 142,8681 \cdot \cos 20,6464^\circ = 133,6923 \text{ mm}$$

2.10.12 Угао нагиба зубаца на основном кругу

$$\sin \beta_b = \cos \beta \cdot \cos \alpha_n = \sin 15^\circ \cdot \cos 20^\circ = 0,2432$$

$$\cos \beta_b = \frac{\sin \alpha_n}{\sin \alpha_t} = \frac{\sin 20^\circ}{\sin 20,6464^\circ} = 0,9699$$

$$\tan \beta_b = \cos \alpha_t \cdot \tan \beta = \cos 20,6464^\circ \cdot \tan 15^\circ = 0,2507$$

$$\beta_b = \arcsin 0,2432 = 14,0755^\circ$$

2.10.13 Нулто осно растојање

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{894,4786 + 142,8681}{2} = 518,6733 \text{ mm}$$

2.10.14 Коефицијенти померања профила

$$x_1 + x_2 = 0$$

2.10.15 Угао додирнице

$$\alpha_{wt} = \alpha_t = 20,6464^\circ$$

2.10.16 Осно растојање

$$a_1 = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = \frac{d_1 + d_2}{2} = 518,6733 \text{ mm}$$

2.10.17 Пречници кинематских кругова

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{wt}} = d_1 = 894,4786 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 = 142,8681 \text{ mm}$$

2.10.18 Пречници подножних кругова

$$d_{f1} = m_n \cdot \left[\frac{z_1}{\cos \beta} + 2 \cdot x_1 - 2,5 \right] = 6 \cdot \left[\frac{144}{\cos 15^\circ} + 2 \cdot 0 - 2,5 \right] = 879,4786 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = m_n \cdot \left[\frac{z_2}{\cos \beta} - 2 \cdot x_1 - 2,5 \right] = 6 \cdot \left[\frac{23}{\cos 15^\circ} - 2 \cdot 0 - 2,5 \right] = 127,8681 \text{ mm}$$

2.10.19 Пречници темених кругова

$$d_{a1} = 2 \cdot a - d_{f2} - 0,5 \cdot m_n = 2 \cdot 518,6733 - 127,8681 - 0,5 \cdot 6 = 906,4785 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = 2 \cdot a - d_{f1} - 0,5 \cdot m_n = 2 \cdot 518,6733 - 879,4786 - 0,5 \cdot 6 = 154,868 \text{ mm}$$

2.10.20 Лучна ширина међузубља

$$e_{t1} = e_{t2} = p_t = 19,5143 \text{ mm}$$

2.10.21 Темени зазор

$$c = a - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} \geq c_{min}$$

$$c_{min} = 0,12 \cdot m_n = 0,12 \cdot 6 = 0,72 \text{ mm}$$

$$c = 518,6733 - \frac{906,4785 + 127,8681}{2} = 1,5 \text{ mm} \geq 0,72 \text{ mm}$$

2.10.22 Парцијалне дужине додирнице

$$g_a = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} - r_1 \cdot \sin \alpha_{wt}$$

$$g_a = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{906,4785^2 - 837,0301^2} - \frac{894,4786}{2} \cdot \sin 20,6464^\circ = 16,2891 \text{ mm}$$

$$g_f = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - r_2 \cdot \sin \alpha_{wt}$$

$$g_f = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{154,868^2 - 133,6923^2} - \frac{142,8681}{2} \cdot \sin 20,6464^\circ = 13,8971 \text{ mm}$$

2.10.23 Дужина активног дела додирнице

$$g_\alpha = g_a + g_f = 16,2891 + 13,8971 = 30,1862 \text{ mm}$$

2.10.24 Парцијални степен спрезања

$$\varepsilon_a = \frac{g_a}{p_{bt}} = \frac{16,2891}{18,2160} = 0,8942$$

$$\varepsilon_f = \frac{g_f}{p_{bt}} = \frac{13,8971}{18,2160} = 0,7629$$

2.10.25 Степен спрезања профила

$$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_a + \varepsilon_f = 0,8942 + 0,7629 = 1,6571$$

2.10.26 Степен спрезања бочних линија

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \tan \beta}{p_t} = \frac{200 \cdot \tan 15^\circ}{19,5143} = 2,7462$$

2.10.27 Укупни степен спрезања

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1,6571 + 2,7462 = 4,4033$$

2.10.28 Провера интерференце при спрезању

$$r_{w1} \cdot \sin \alpha_{wt} > g_f$$

$$\frac{894,4786}{2} \cdot \sin 20,6464^\circ = 157,6964 \text{ mm} > 13,8971 \text{ mm}$$

$$r_{w2} \cdot \sin \alpha_{wt} > g_a$$

$$\frac{142,8681}{2} \cdot \sin 20,6464^\circ = 25,1876 \text{ mm} > 16,2891 \text{ mm}$$

2.11 Основне величине за еквивалентни (фиктивни) зупчаник- нормална равна

2.11.1 Модул

$$m = m_n = 6 \text{ mm}$$

2.11.2 Угао нагиба профила алата

$$\alpha = \alpha_n = 20^\circ$$

2.11.3 Корак на подеоном кругу

$$p_n = m_n \cdot \pi = p_t \cdot \cos \beta = 6 \cdot \pi = 18,8495 \text{ mm}$$

2.11.4 Корак на основном кругу

$$p_{bn} = p_n \cdot \cos \alpha_n = 18,8495 \cdot \cos 20^\circ = 17,7127 \text{ mm}$$

2.11.5 Бројеви зубаца

$$z_{n1} = \frac{z_1}{(\cos \beta \cdot \cos^2 \beta_b)} = \frac{144}{(\cos 15^\circ \cdot \cos^2 14,0755)} = 158,4516$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{(\cos \beta \cdot \cos^2 \beta_b)} = \frac{23}{(\cos 15^\circ \cdot \cos^2 14,0755)} = 25,3082$$

2.11.6 Пречници подеоних кругова

$$d_{n1} = \frac{d_1}{\cos^2 \beta} = \frac{894,4786}{\cos^2 15^\circ} = 958,6993 \text{ mm}$$

$$d_{n2} = \frac{d_2}{\cos^2 \beta} = \frac{142,8681}{\cos^2 15^\circ} = 153,1256 \text{ mm}$$

2.11.7 Пречници основних кругова

$$d_{bn1} = \frac{d_{n1}}{\cos \alpha_n} = \frac{958,6993}{\cos 20^\circ} = 1020,2265 \text{ mm}$$

$$d_{bn2} = \frac{d_{n2}}{\cos \alpha_n} = \frac{153,1256}{\cos 20^\circ} = 162,9529 \text{ mm}$$

2.11.8 Лучне дебљине зубаца на подеоном кругу

$$s_{n1} = m_n \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x_1 \cdot \tan \alpha_n \right) = 6 \cdot \frac{\pi}{2} + 2 \cdot 0 = 9,4248 \text{ mm}$$

$$s_{n2} = m_n \cdot \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot x_2 \cdot \tan \alpha_n \right) = 6 \cdot \frac{\pi}{2} + 2 \cdot 0 = 9,4248 \text{ mm}$$

2.12 Прорачун чврстоће зупчаника, [2]**2.12.1 Радни напон на боковима зубаца**

- Радни напон на боку зупца за додир у кинематском полу С:

$$\sigma_{H0} = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_2 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

Z_H - фактор облика бока зупца, [2]

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cdot \cos \beta_b}{\cos^2 \alpha_t \cdot \tan \alpha_{wt}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \cos 14,0755^\circ}{\cos^2 20,6464^\circ \cdot \tan 20,6464^\circ}} = 2,4249$$

Z_E - фактор еластичности материјала, [2], табела 2.8.13

$$Z_E = 189,8 \sqrt{N/mm^2}$$

Z_ε - фактор спрезања бока зупца, [2]

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3} \cdot (1 - \varepsilon_\beta) + \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha}}$$

Уколико је $\varepsilon_\beta > 1$, усваја се $\varepsilon_\beta = 1$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1,6571}} = 0,7768$$

Z_β - фактор угла нагиба зубаца, [2]

$$Z_\beta = \sqrt{\cos \beta} = \sqrt{\cos 15^\circ} = 0,9828$$

$$F_t = \frac{2 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 598,9941 \cdot 10^3}{142,8681} = 8385,2742 \text{ N}$$

$$d_2 = 142,8681 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$u = 6,2419$$

K_A - фактор радних услова

$K_A = 1$, за електрогенератор као радну машину са равномерним карактером промене обртног момента радне машине, табела 2.8.1, [2]

K_V - фактор унутрашњих динамичких сила, [2]

$$K_V = f_F \cdot K_{350N} + 1$$

$\frac{K_A \cdot F_t}{b} = \frac{1 \cdot 8385,2742}{200} = 41,9264 \text{ N/mm}$, на основу датог израза се из табеле 2.8.3 усваја фактор корекције оптерећења f_F , за квалитет 7.

$$f_F = 3,21$$

$$\frac{z_1 \cdot v_1}{100} \cdot \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}} = \frac{144 \cdot 5,6202}{100} \cdot \sqrt{\frac{6,2419^2}{1+6,2419^2}} = 7,9912 \frac{m}{s}$$

На основу израза се са слике 2.8.6 усваја вредност за K_{350N}

$$v_1 = \frac{d_{w1} \cdot \pi \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{894,4786 \cdot \pi \cdot 120}{60 \cdot 1000} = 5,6202 \frac{m}{s}$$

$$K_{350N} = 0,061$$

$$K_V = f_F \cdot K_{350N} + 1 = 3,21 \cdot 0,061 + 1 = 1,1958$$

$K_{H\alpha}$ - фактор расподеле оптерећења на парове зубаца, [2]

$\frac{K_A \cdot F_t}{b} = \frac{1 \cdot 8385,2742}{200} = 41,926 \text{ N/mm}$, па се на основу израза из табеле 2.8.12 усваја $K_{H\alpha}$

$$K_{H\alpha} = \frac{\varepsilon_\alpha}{\cos^2 \beta_b} \geq 1,4$$

$$K_{H\alpha} = \frac{1,6571}{\cos^2 14,0755^\circ} = 1,7613$$

$$K_{H\alpha} = 1,7613$$

$K_{H\beta}$ - фактор расподеле оптерећења дуж додирне линије бокова зубаца, [2]

$$K_{H\beta} = K_{F\beta}^{1,39}$$

$$K_{F\beta} = 1 + (K_{\beta} - 1) \cdot f_w \cdot f_p \cdot f_1$$

$K_{\beta} = 1,21$; основни фактор расподеле, табела 2.8.6

$$\frac{K_A \cdot K_V \cdot F_t}{b} = \frac{1 \cdot 1,1958 \cdot 8385,2742}{200} = 50,1356 \text{ } N/mm, \text{ на основу табеле 2.8.7 усваја}$$

$$sef_w = 1,6$$

$$f_p = 1, \text{ за челик, [2]}$$

$$f_1 = 1, \text{ за симетричан положај зупчаника између ослонаца, [2]}$$

$$K_{F\beta} = 1 + (1,21 - 1) \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 = 1,336$$

$$K_{H\beta} = 1,336^{1,39} = 1,4958$$

$$\begin{aligned} \sigma_{H0} &= Z_H \cdot Z_E \cdot Z_{\varepsilon} \cdot Z_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_2 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}} = \\ &= 2,4249 \cdot 189,8 \cdot 0,777 \cdot 0,983 \cdot \sqrt{\frac{8385,2742}{142,8681 \cdot 200} \cdot \frac{6,2419 + 1}{6,2419} \cdot 1 \cdot 1,196 \cdot 1,761 \cdot 1,496} \end{aligned}$$

$$\sigma_{H0} = 363,9075 \frac{N}{mm^2}$$

-Радни напон за мали зупчаник и додир у унутрашњој тачки В једноструке спреге:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_{\varepsilon} \cdot Z_B \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_2 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

Z_B - фактор једноструке спреге, [2]

Када је $z_1 > 20$ онда је $Z_B = 1$

$$\sigma_H = 2,4249 \cdot 189,8 \cdot 0,777 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{8385,2742}{142,8681 \cdot 200} \cdot \frac{6,2419 + 1}{6,2419} \cdot 1 \cdot 1,196 \cdot 1,761 \cdot 1,496}$$

$$\sigma_H = 370,2762 \text{ } N/mm^2$$

-Критични напон бокова зубаца:

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} \cdot Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_W \cdot Z_X$$

σ_{Hlim} – трајна динамичка издржљивост бокова зубаца

$$\sigma_{Hlim} = 1030 \text{ N/mm}^2$$

Z_{NT} – фактор радног века

$$Z_{NT} = 1, [2]$$

Z_L – фактор подмазивања, [2]

$$Z_L = C_{ZL} + \frac{4 \cdot (1 - C_{ZL})}{\left(1,2 + \frac{80}{V_{50}}\right)^2}$$

$$C_{ZL} = \frac{\sigma_{Hlim}}{4375} + 0,6357 = \frac{1030}{4375} + 0,6357 = 0,8711$$

$$\frac{K_A \cdot K_V \cdot F_t}{b \cdot m} = \frac{1 \cdot 1,1958 \cdot 8385,2742}{200 \cdot 6} = 8,3559 \text{ N/mm}^2$$

На основу израза, из табеле 2.8.15 усваја се $V_{50} = 60 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$

$$Z_L = 0,8711 + \frac{4 \cdot (1 - 0,8711)}{\left(1,2 + \frac{80}{60}\right)^2} = 0,9514$$

Z_R – фактор храпавости, [2]

$$Z_R = \left(\frac{3}{R_{Z100}}\right)^{C_{ZR}}$$

$$R_{Z100} = \frac{R_{Z1} + R_{Z2}}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{a}}$$

$R_Z = R_{Z1} = R_{Z2} = 2,75 \mu\text{m}$, табела 2.8.16, [2]

$$R_{Z100} = \frac{2,75 + 2,75}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{518,6733}} = 1,5887$$

$$C_{ZR} = 0,32 - 0,0002 \cdot \sigma_{Hlim} = 0,32 - 0,0002 \cdot 1030 = 0,114$$

$$Z_R = \left(\frac{3}{1,5887}\right)^{0,114} = 1,0752$$

Z_V – фактор обимне брзине, [2]

$$Z_V = C_{ZV} + \frac{2 \cdot (1 - C_{ZV})}{\sqrt{0,8 + \frac{32}{5,6202}}}$$

$$C_{ZV} = C_{ZL} + 0,02 = 0,8711 + 0,02 = 0,8911$$

$$Z_V = 0,8911 + \frac{2 \cdot (1 - 0,8911)}{\sqrt{0,8 + \frac{32}{5,6202}}} = 0,9766$$

Z_W – фактор утицаја разлике тврдоћа спрегнутих бокова

$$Z_W = 1, \text{ за } HB > 470, [2]$$

Z_X – фактор величине зубаца, табела 2.8.18, [2]

$$Z_X = 1$$

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} \cdot Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_W \cdot Z_X = 1030 \cdot 1 \cdot 0,9514 \cdot 1,0752 \cdot 0,9766 \cdot 1 \cdot 1$$

$$[\sigma_H] = 1028,9786 \text{ N/mm}^2$$

-Степен сигурности против разарања бокова зубаца:

$$S_H = \frac{[\sigma_H]}{\sigma_H} = \frac{1028,9786}{370,2762} = 2,7789$$

$$S_{Hmin} = 1,0 \dots 1,2$$

$$\text{Усваја се: } S_{Hmin} = 1$$

-Дозвољени напон:

$$\sigma_{Hd} = \frac{[\sigma_H]}{S_{Hmin}} = \frac{1028,9786}{1} = 1028,9786 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_H \leq \sigma_{Hd}$$

$$370,2762 \text{ N/mm}^2 \leq 1028,9786 \text{ N/mm}^2$$

Услов је задовољен.

2.12.2 Прорачун носивости зупчаника по критеријуму чврстоће подножја зубаца

-Радни напон у подножју зупца

$$\sigma_F = Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$$

Фактор облика зупца Y_{Fa} и фактор концентрације напона Y_{Sa}

$$Z_{n1} = 159$$

$$Z_{n2} = 26$$

$$Y_{Fa1} = 2,1336$$

$$Y_{Fa2} = 2,69$$

$$Y_{Sa1} = 2,025$$

$$Y_{Sa2} = 1,65$$

Y_{Fa} – фактор облика зупца, табела 2.8.19, [2]

Y_{Sa} – фактор концентрације напона, слика 2.8.25, [2]

Y_ε – фактор степена спрезања, [2]

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,6571} = 0,7026$$

Y_β – фактор нагиба косих зубаца, [2]

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \cdot \frac{\beta}{120^\circ}$$

С обзиром да је $\varepsilon_\beta > 1$, усваја се $\varepsilon_\beta = 1$

$$Y_\beta = 1 - 1 \cdot \frac{15^\circ}{120^\circ} = 0,875$$

$$F_t = 8385,2742 \text{ N}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$m = 6 \text{ mm}$$

$$K_A = 1$$

$$K_V = 1,1958$$

$$K_{F\alpha} = \frac{\varepsilon_\gamma}{\varepsilon_\alpha \cdot Y_\varepsilon} = \frac{4,4033}{1,6571 \cdot 0,7026} = 3,7819$$

$$K_{F\beta} = 1,336$$

$$\sigma_F = Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}$$

$$\sigma_{F1} = 2,1336 \cdot 2,025 \cdot 0,7026 \cdot 0,875 \cdot \frac{8385,2742}{200 \cdot 6} \cdot 1 \cdot 1,1958 \cdot 3,7819 \cdot 1,336$$

$$\sigma_{F1} = 112,1412 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F2} = 2,69 \cdot 1,65 \cdot 0,7026 \cdot 0,875 \cdot \frac{8385,2742}{200 \cdot 6} \cdot 1 \cdot 1,1958 \cdot 3,7819 \cdot 1,336$$

$$\sigma_{F2} = 124,1721 \text{ N/mm}^2$$

-Критични напон подножја зубаца:

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X$$

σ_{Flim} – трајна динамичка издржљивост подножја зупца

$$\sigma_{Flim} = 270 \text{ N/mm}^2$$

Y_{NT} – фактор радног века

$$Y_{NT} = 1; [2]$$

Y_{ST} – фактор концентрације напона опитног зупчаника, [2]

$$Y_{ST} = 2$$

$Y_{\delta relT}$ – релативни фактор осетљивости материјала на концентрацију напона, слика 2.8.28, [2]

$$Y_{\delta relT2} = 0,99$$

$$Y_{\delta relT2} = 0,98$$

Y_{RrelT} – релативни фактор храпавости, слика 2.8.29, [2]

$$Y_{RrelT} = 1,070$$

Y_X – фактор величине пресека, слика 2.8.30, [2]

$$Y_X = 0,98$$

$$[\sigma_{F1}] = \sigma_{Flim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{\delta relT1} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X = 270 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,99 \cdot 1,070 \cdot 0,98$$

$$[\sigma_{F1}] = 560,5816 \text{ N/mm}^2$$

$$[\sigma_{F2}] = \sigma_{Flim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{\delta rel T2} \cdot Y_{Rrel T} \cdot Y_X = 270 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,98 \cdot 1,070 \cdot 0,98$$

$$[\sigma_{F2}] = 554,9191 \text{ N/mm}^2$$

-Степен сигурности против разарања подножја зупца:

$$S_{F1} = \frac{[\sigma_{F1}]}{\sigma_{F1}} = \frac{560,5816}{112,1412} = 4,9989$$

$$S_{F2} = \frac{[\sigma_{F2}]}{\sigma_{F2}} = \frac{554,9191}{124,1721} = 4,4689$$

$$S_{Fmin} = 1,25 \dots 2,5$$

Усваја се: $S_{Fmin} = 1,25$

-Дозвољен напон:

$$\sigma_{Fd1} = \frac{[\sigma_{F1}]}{S_{Fmin}} = \frac{560,5816}{1,25} = 448,4653 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Fd2} = \frac{[\sigma_{F2}]}{S_{Fmin}} = \frac{554,9191}{1,25} = 443,9353 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F1} \leq \sigma_{Fd1}$$

$$112,1412 \text{ N/mm}^2 < 448,4653 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F2} \leq \sigma_{Fd2}$$

$$124,1721 \text{ N/mm}^2 < 443,9353 \text{ N/mm}^2$$

Услов је задовољен.

2.13 Прорачун вратила, [2]

-Обимна сила, [2]:

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot T_1 \cdot K_A}{d_1} = \frac{2 \cdot 3859,4984 \cdot 1}{894,4786 \cdot 10^{-3}} = 8629,5981 \text{ N}$$

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot T_2 \cdot K_A}{d_2} = \frac{2 \cdot 598,9941 \cdot 1}{142,8681 \cdot 10^{-3}} = 8385,2742 \text{ N}$$

-Радијална сила, [2]:

$$F_{r2} = F_{t1} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 8629,5981 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} = 3251,7164 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{t2} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = 8385,2742 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} = 3159,6528 \text{ N}$$

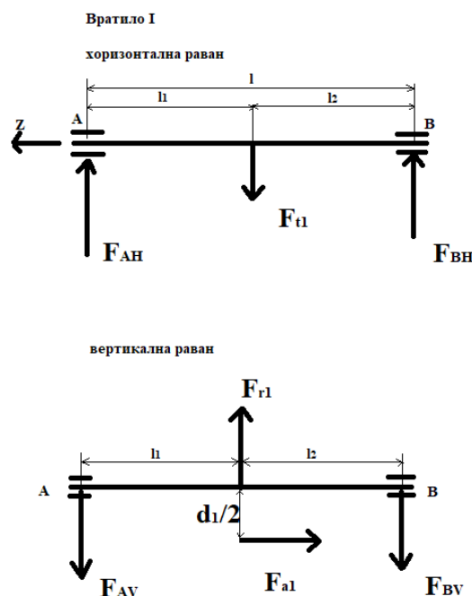
-Аксијална сила, [2]:

$$F_{a1} = F_{t1} \cdot \tan \beta_w = 8629,5981 \cdot \tan 15^\circ = 2312,2938 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{t2} \cdot \tan \beta_w = 8385,2742 \cdot \tan 15^\circ = 2246,8275 \text{ N}$$



Слика 7. Шематски приказ дејства сила



Слика 8. Шематски приказ оптерећења вратила I

Усваја се конструктивно:

$$l_1 = 125 \text{ mm}$$

$$l_2 = 125 \text{ mm}$$

$$l = 250 \text{ mm}$$

2.13.1 Вратило I

-Хоризонтална раван

$$\sum_{\rightarrow+} M_A = 0 \Rightarrow F_{t1} \cdot l_1 - F_{BH} \cdot l = 0 \Rightarrow F_{BH} \cdot l = F_{t1} \cdot l_1 \Rightarrow F_{BH} = \frac{F_{t1} \cdot l_1}{l}$$

$$F_{BH} = \frac{8629,5981 \cdot 125}{250} = 4314,7991 \text{ N}$$

$$\sum_{\rightarrow+} M_B = 0 \Rightarrow F_{AH} \cdot l - F_{t1} \cdot l_1 = 0 \Rightarrow F_{AH} \cdot l = F_{t1} \cdot l_1 \Rightarrow F_{AH} = \frac{F_{t1} \cdot l_1}{l}$$

$$F_{AH} = \frac{8629,5981 \cdot 125}{250} = 4314,7991 \text{ N}$$

-Вертикална раван

$$\sum_{\rightarrow+} M_A = 0 \Rightarrow F_{BV} \cdot l - F_{r1} \cdot l_1 - F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2} = 0 \Rightarrow F_{BV} \cdot l = F_{r1} \cdot l_1 + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}$$

$$F_{BV} = \frac{F_{r1} \cdot l_1 + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}}{l} = \frac{3251,7164 \cdot 125 + 2312,2938 \cdot \frac{894,4786}{2}}{250} = 5762,4528 \text{ N}$$

$$\sum_{\leftarrow+} M_B = 0 \Rightarrow -F_{r1} \cdot l_2 + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2} + F_{AV} \cdot l = 0 \Rightarrow F_{AV} \cdot l = F_{r1} \cdot l_2 - F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}$$

$$F_{AV} = \frac{F_{r1} \cdot l_2 - F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}}{l} = \frac{3251,7164 \cdot 125 - 2312,2938 \cdot \frac{894,4786}{2}}{250} = -2510,7364 \text{ N}$$

Резултујуће силе у ослонцима А и Б:

$$F_A = \sqrt{F_{AH}^2 + F_{AV}^2} = \sqrt{4314,7991^2 + (-2510,7364)^2} = 4992,2232 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = \sqrt{4314,7991^2 + 5762,4528^2} = 7198,8439 \text{ N}$$

Момент савијања:

Хоризонтална раван:

$$M_{1H}^L = 125 \cdot F_{AH} = 125 \cdot 4314,7991 = 539349,8875 \text{ Nmm} = M_{1H}^D$$

Вертикална раван:

$$M_{1V}^L = F_{AV} \cdot 125 = -2510,7364 \cdot 125 = -313842,05 \text{ Nmm}$$

$$M_{1V}^D = F_{BV} \cdot 125 = 5762,4528 \cdot 125 = 720306,6 \text{ Nmm}$$

Провера:

$$|M_{1V}^L - M_{1V}^D| = F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}$$

$$|-313842,05 - 720306,6| = 2312,2938 \cdot \frac{894,4786}{2}$$

$$1034148,65 \text{ Nmm} = 1034148,661 \text{ Nmm}$$

Резултујући моменти савијања:

$$M_1^D = \sqrt{(M_{1V}^D)^2 + (M_{1H}^D)^2} = \sqrt{720306,6^2 + 539349,8875^2} = 899855,4879 \text{ Nmm}$$

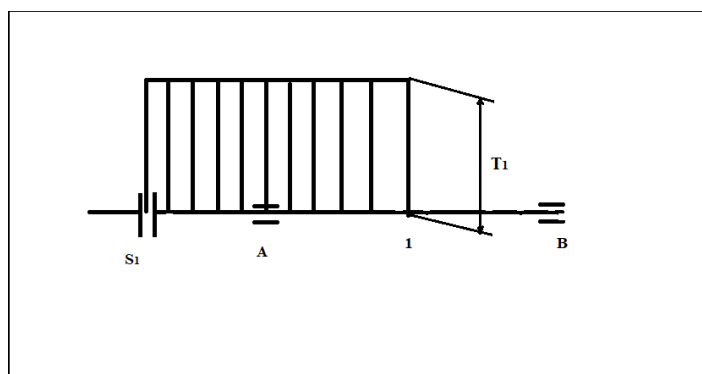
$$M_1^L = \sqrt{(M_{1V}^L)^2 + (M_{1H}^L)^2} = \sqrt{(-313842,05)^2 + 539349,8875^2} = 624015,3311 \text{ Nmm}$$

У даљем прорачуну се користи M_1^D , јер је веће.

Табела 1. Резултујући моменти савијања на вратилу I

Место	M_H , Nmm	M_V , Nmm	M , Nmm
A	0	0	0
1L	539349,8875	-313842,05	624015,3311
1D	539349,8875	720306,6	899855,4879
B	0	0	0
S_1	0	0	0

Момент увијања:



Слика 9. Момент увијања на вратилу I

$$T_1 = T_S = 3859,4984 \text{ Nm} = 3859498,4 \text{ Nmm}$$

Усваја се материјал вратила, [2], табела 11.2.1: Č1530

$$\text{Увојна издржљивост: } \tau_{D(0)} = (230 - 310) \Rightarrow \tau_{D(0)} = 270 \text{ MPa}$$

Затезна динамичка издржљивост: $\sigma_{D(-1)} = (300 - 340) \Rightarrow \sigma_{(-1)} = 320 \text{ MPa}$

Затезна чврстоћа: $R_m = (630 - 780) \Rightarrow R_m = 725 \text{ MPa}$

Усваја се степен сигурности, [2], 437. страна:

$$S = (1,5 - 2,5) = 2$$

Усвајају се фактори К, [2], табела 6.5.6:

$$K_A = 2$$

$$K_1 = 2,2$$

$$K_B = 2$$

$$K_{S1} = 2,2$$

Дозвољени напони:

$$\sigma_{dozA} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_A \cdot S} = \frac{320}{2 \cdot 2} = 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{doz1} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_1 \cdot S} = \frac{320}{2,2 \cdot 2} = 72,7273 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dozB} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_B \cdot S} = \frac{320}{2 \cdot 2} = 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dozS1} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_{S1} \cdot S} = \frac{320}{2,2 \cdot 2} = 72,7273 \text{ MPa}$$

Табела 2. Дозвољени напони на вратилу I

Место	К	σ_{doz} , МПа
А	2	80
1	2,2	72,7273
В	2	80
S ₁	2,2	72,7273

Еквивалентни моменти:

$$M_{i1}^L = \sqrt{(M_1^L)^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{624015,3311^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 3859498,4}{2} \right)^2}$$

$$M_{i1}^L = 2370710,449 \text{ Nmm}$$

$$M_{i1}^D = \sqrt{(M_1^D)^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{899855,4879^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 0}{2} \right)^2}$$

$$M_{i1}^D = 899855,4879 \text{ Nmm}$$

$$M_{iS1} = \sqrt{(M_{S1})^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{0^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 3859498,4}{2} \right)^2}$$

$$M_{iS1} = 2287110,163 \text{ Nmm} = M_{iA}$$

Табела 3. Еквивалентни моменти на вратилу I

Место	M, Nmm	T _t , Nmm	M _i , Nmm
A	0	3859498,4	2287110,163
1L	624015,3311	3859498,4	2370710,449
1D	899855,5879	0	899855,4879
B	0	0	0
S ₁	0	3859498,4	2287110,163

$$M_{i1} = \max(M_{i1}^L; M_{i1}^D) = 2370710,449 \text{ Nmm}$$

Идеални пречник вратила:

$$d_{i1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2370710,449}{\pi \cdot 72,7273}} = 69,2458 \text{ mm}$$

$$d_{iA} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2287110,163}{\pi \cdot 80}} = 66,2825 \text{ mm}$$

$$d_{iS_1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2287110,163}{\pi \cdot 72,7273}} = 68,4221 \text{ mm}$$

Подаци из табеле 6.8.1, [2]:

На месту 1:

$t = 7,4 \text{ mm}$

$b = 20 \text{ mm}$

$r_1 = 0,4 \text{ mm}$

На месту S_1 :

$t = 7,4 \text{ mm}$

$b = 20 \text{ mm}$

$r_1 = 0,4 \text{ mm}$

Табела 4. Идеални пречници вратила I

Место	M_i , Nmm	σ_{doz} , MPa	d_i , mm
A	2287110,163	80	66,2825
1	2370710,449	72,7273	69,2458
B	0	80	0
S_1	2287110,163	72,7273	68,4221

Рачунски и стварни пречници вратила:

$$d_{vr(1)} = d_i + t = 69,2458 + 7,4 = 76,6458 \text{ mm}$$

Усваја се, [2], табела 6.5.7:

$$d_{st(1)} = 90 \text{ mm}$$

$$d_{vr(s1)} = d_i + t = 68,4221 + 7,4 = 75,8221 \text{ mm}$$

Усваја се, [2], табела 6.5.7:

$$d_{st(1)} = 80 \text{ mm}$$

Табела 5. Рачунски и стварни пречници вратила I

Место	d_i , mm	t, mm	d_{vr} , mm	d_{st} , mm
A	66,2825	0	0	85
1	69,2458	7,4	76,6458	90
B	0	0	0	85
S ₁	68,4221	7,4	75,8221	80

Из конструктивних разлога усвајају се:

Провера пречника вратила:

$$d_{vrs(1)} = d_{st(1)} - t = 90 - 7,4 = 82,6 \text{ mm}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d_{vrs(1)}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 82,6^3}{32} = 55327,3713 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_i = \frac{M_{i(1)}}{W} = \frac{2370710,449}{55327,3713} = 42,8488 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{imax} = \sigma_i \cdot K_1 = 42,8488 \cdot 2,2 = 94,2674 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{imax}} = \frac{320}{94,2674} = 3,3946$$

$S = 3,3946 > S_{us} = 2$; Задовољава услов.

$$d_{vrs(s1)} = d_{st(s1)} - t = 80 - 7,4 = 72,6 \text{ mm}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d_{vrs(s1)}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 72,6^3}{32} = 37567,2804 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_i = \frac{M_{i(s1)}}{W} = \frac{2287110,163}{37567,2804} = 60,8804 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{imax} = \sigma_i \cdot K_{s1} = 60,8804 \cdot 2,2 = 133,9369 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{imax}} = \frac{320}{133,9369} = 2,3892$$

$S = 2,3892 > S_{us} = 2$; Задовољава услов.

Табела 6. Степени сигурности на вратилу I

Место	d_{st} , mm	t, mm	d_{vts} , mm	M_i , Nmm	W, mm ³	σ_i , MPa	K	σ_{imax} , MPa	S_{us}	S
A	85	0	0	2287110,163	0	0	2	0	2	0
1	90	7,4	82,6	2370710,449	55327,3713	42,8488	2,2	94,2674	2	3,4
B	85	0	0	0	0	0	2	0	2	0
S ₁	80	7,4	72,6	2287110,163	37567,2804	60,8804	2,2	133,9369	2	2,4

2.13.2 Избор лежаја за вратило I:

За лежаје у ослонцу А и В:

Ослонац А:

$$F_{rA} = F_A = 4992,2232 \text{ N}$$

$$F_{aA} = F_{a1} = 2312,2938 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{2312,2938}{4992,2232} = 0,4632$$

$e = 1,14$; [2], табела 7.3.1

За $\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = 0,4632 < e = 1,14$ и за појединачну уградњу:

X=1 и Y=0

Еквивалентно динамичко оптерећење:

$$F_{eA} = X \cdot F_{rA} + Y \cdot F_{aA} = 1 \cdot 4992,2232 + 0 \cdot 2312,2938 = 4992,2232 \text{ N}$$

Ослонац В:

$$F_{rB} = F_B = 7198,8439 \text{ N}$$

$$F_{aB} = 0$$

С обзиром да је $F_{aB} = 0$, следи да је $F_{eB} = 7198,8439 \text{ N}$

За прорачун динамичке носивости се користи F_{eB} , јер је веће.

Динамичка носивост лежаја:

$$C_B \geq \frac{F_{eB}}{K_t} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}}$$

$K_t = 1$; фактор температуре, [2], табела 7.5.1, за температуру до 100 °C

$\alpha = 3$, [2], за котрљајни лежај са куглицама

$$n = n_l = 120 \text{ min}^{-1}$$

$$L_h = 10000 \text{ h}$$

$$C_B \geq \frac{F_{eB}}{K_t} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}} = \frac{7198,8439}{1} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 120 \cdot 10000}{10^6}} = 29948,3937 \text{ N}$$

$$C_B \geq 29,9484 \text{ kN}$$

За ослонце А и В усваја се лежај: 7217 В; [2], табела 7.5.5

Подаци о лежају:

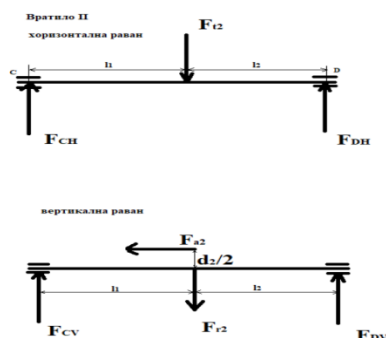
$$d = 85 \text{ mm}$$

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$B = 28 \text{ mm}$$

$$C = 78,8 \text{ kN} > C_B = 29,9484 \text{ kN}$$

2.13.3 Вратило II



Слика 10. Шематски приказ оптерећења вратила II

-Хоризонтална равни:

$$\sum_{\rightarrow+} M_C = 0 \Rightarrow F_{t2} \cdot l_1 - F_{DH} \cdot l = 0 \Rightarrow F_{DH} \cdot l = F_{t2} \cdot l_1$$

$$F_{DH} = \frac{F_{t2} \cdot l_1}{l} = \frac{8385,2742 \cdot 125}{250} = 4192,6371 \text{ N}$$

$$\sum_{\rightarrow+} M_D = 0 \Rightarrow F_{CH} \cdot l - F_{t2} \cdot l_2 = 0 \Rightarrow F_{CH} \cdot l = F_{t2} \cdot l_2$$

$$F_{CH} = \frac{F_{t2} \cdot l_2}{l} = \frac{8385,2742 \cdot 125}{250} = 4192,6371 \text{ N}$$

Провера:

$$\sum_{\rightarrow+} F_{IH} = 0 \Rightarrow F_{CH} - F_{t2} + F_{DH} = 0 \Rightarrow 4192,6371 - 8385,2742 + 4192,6371 = 0$$

-Вертикална равни:

$$\sum_{\rightarrow+} M_C = 0 \Rightarrow F_{r2} \cdot l_1 - F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} - F_{DV} \cdot l = 0 \Rightarrow F_{DV} \cdot l = F_{r2} \cdot l_1 - F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$F_{DV} = \frac{F_{r2} \cdot l_1 - F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2}}{l} = \frac{3159,6528 \cdot 125 - 2246,8275 \cdot \frac{142,8681}{2}}{250} = 937,8264 \text{ N}$$

$$\sum_{\rightarrow+} M_D = 0 \Rightarrow F_{CV} \cdot l - F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} - F_{r2} \cdot l_2 = 0 \Rightarrow F_{CV} \cdot l = F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} + F_{r2} \cdot l_2$$

$$F_{CV} = \frac{F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} + F_{r2} \cdot l_2}{l} = \frac{2246,8275 \cdot \frac{142,8681}{2} + 3159,6528 \cdot 125}{250} = 2221,8264 \text{ N}$$

Провера:

$$\sum_{\rightarrow+} F_{IV} = 0 \Rightarrow F_{CV} - F_{r2} + F_{DV} = 0 \Rightarrow 2221,8264 - 3159,6528 + 937,8264 = 0$$

Резултујуће силе у ослонцима А и В:

$$F_C = \sqrt{F_{CH}^2 + F_{CV}^2} = \sqrt{4192,6371^2 + 2221,8264^2} = 4744,9677 \text{ N}$$

$$F_D = \sqrt{F_{DH}^2 + F_{DV}^2} = \sqrt{4192,6371^2 + 937,8264^2} = 4296,2454 \text{ N}$$

$$F_{aII} = F_{ca} = F_{a2} = 2246,8275 \text{ N}$$

Момент савијања:

Хоризонтална раван:

$$M_{2H}^L = F_{CH} \cdot 125 = 4192,6371 \cdot 125 = 524079,6375 \text{ Nmm}$$

$$M_{2H}^L = M_{2H}^D$$

Вертикална раван:

$$M_{2V}^L = F_{CV} \cdot 125 = 2221,8264 \cdot 125 = 277728,3 \text{ Nmm}$$

$$M_{2V}^D = F_{DV} \cdot 125 = 937,8264 \cdot 125 = 117228,3 \text{ Nmm}$$

Провера:

$$|M_{2V}^L - M_{2V}^D| = F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} \Rightarrow |277728,3 - 117228,3| = 2246,8275 \cdot \frac{142,8681}{2}$$

$$160500 \text{ Nmm} = 160500 \text{ Nmm}$$

Резултујући моменти савијања:

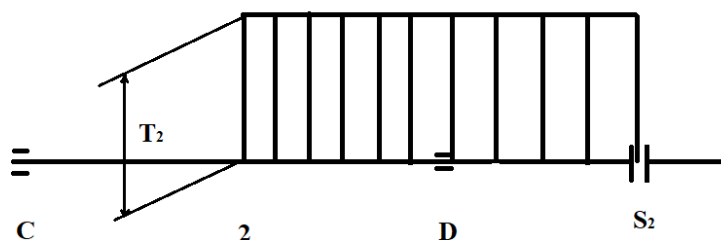
$$M_2^D = \sqrt{(M_{2V}^D)^2 + (M_{2H}^D)^2} = \sqrt{117228,3^2 + 524079,6375^2} = 537030,6702 \text{ Nmm}$$

$$M_2^L = \sqrt{(M_{2V}^L)^2 + (M_{2H}^L)^2} = \sqrt{277728,3^2 + 524079,6375^2} = 593120,9616 \text{ Nmm}$$

Табела 7. Резултујући моменти савијања вратила II

Место	M_H , Nmm	M_V , Nmm	M , Nmm
C	0	0	0
2L	524079,6375	277728,3	593120,9616
2D	524079,6375	117228,3	537030,6702
D	0	0	0
S_2	0	0	0

Момент увијања:



Слика 11. Момент увијања вратила II

$$T_2 = 598,9941 \text{ Nm} = 598994,1 \text{ Nmm}$$

Усваја се материјал као за вратило I, Č1530, [2], табела 11.2.1

$$\text{Увојна издржљивост: } \tau_{D(0)} = (230 - 310) \Rightarrow \tau_{D(0)} = 270 \text{ MPa}$$

$$\text{Затезна динамичка издржљивост: } \sigma_{D(-1)} = (300 - 340) \Rightarrow \sigma_{(-1)} = 320 \text{ MPa}$$

$$\text{Затезна чврстоћа: } R_m = (630 - 780) \Rightarrow R_m = 725 \text{ MPa}$$

Усваја се степен сигурности, [2], 437. страна:

$$S = (1,5 - 2,5) = 2$$

Усвајају се фактори К, [2], табела 6.5.6:

$$K_C = 2$$

$$K_2 = 2,2$$

$$K_D = 2$$

$$K_{S2} = 2,2$$

Дозвољени напони:

$$\sigma_{dozC} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_C \cdot S} = \frac{320}{2 \cdot 2} = 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{doz2} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_2 \cdot S} = \frac{320}{2,2 \cdot 2} = 72,7273 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dozD} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_D \cdot S} = \frac{320}{2 \cdot 2} = 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dozS2} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_{S2} \cdot S} = \frac{320}{2,2 \cdot 2} = 72,7273 \text{ MPa}$$

Табела 8. Дозвољени напони вратила II

Место	К	σ_{doz} , МПа
С	2	80
2	2,2	72,7273
D	2	80
S ₂	2,2	72,7273

Еквивалентни моменти:

$$M_{i2}^L = \sqrt{(M_2^L)^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{593120,9616^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 0}{2} \right)^2}$$

$$M_{i2}^L = 593120,9616 \text{ Nmm}$$

$$M_{i2}^D = \sqrt{(M_2^D)^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{537030,6702^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 598994,1}{2} \right)^2}$$

$$M_{i2}^D = 614899,2874 \text{ Nmm}$$

$$M_{is2} = \sqrt{(M_{s2})^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} + \frac{K_A \cdot T_t}{2} \right)^2} = \sqrt{0^2 + \left(\frac{320}{270} \cdot \frac{1 \cdot 598994,1}{2} \right)^2}$$

$$M_{is2} = 299498,2352 \text{ Nmm} = M_{iD}$$

Табела 9. Еквивалентни моменти вратила II

Место	M, Nmm	T _t , Nmm	M _i , Nmm
C	0	0	0
2L	593120,9616	598994,1	593120,9616
2D	537030,6702	598994,1	614899,2874
D	0.	598994,1	299498,2352
S ₂	0	598994,1	299498,2352

$$M_{i2} = \max(M_{i2}^L; M_{i2}^D) = 614899,2874 \text{ Nmm}$$

Идеални пречник вратила:

$$d_{i2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 614899,2874}{\pi \cdot 72,7273}} = 44,1607 \text{ mm}$$

$$d_{iD} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 299498,2352}{\pi \cdot 80}} = 33,6590 \text{ mm}$$

$$d_{is2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 299498,2352}{\pi \cdot 72,7273}} = 34,7455 \text{ mm}$$

Подаци из табеле 6.8.1, [2]:

На месту 2:

$$t = 5,5 \text{ mm}$$

$$b = 14 \text{ mm}$$

$$r_1 = 0,5 \text{ mm}$$

На месту S_2 :

$$t = 4,7 \text{ mm}$$

$$b = 10 \text{ mm}$$

$$r_1 = 0,4 \text{ mm}$$

Табела 10. Идеални пречници вратила II

Место	M_i , Nmm	σ_{doz} , МПа	d_i , mm
C	0	80	0
2	614899,2874	72,7273	44,1607
D	299498,2352	80	33,6590
S_2	299498,2352	72,7273	34,7455

Рачунски и стварни пречници вратила:

$$d_{vr(2)} = d_i + t = 44,1607 + 5,5 = 49,6607 \text{ mm}$$

Усваја се, [2], табела 6.5.7:

$$d_{st(2)} = 52 \text{ mm}$$

$$d_{vr(s_2)} = d_i + t = 34,7455 + 4,7 = 39,4455 \text{ mm}$$

Усваја се, [2], табела 6.5.7:

$$d_{st(2)} = 42 \text{ mm}$$

Табела 11. Рачунски и стварни речници вратила II

Место	d_i , mm	t , mm	d_{vr} , mm	d_{st} , mm
C	0	0	0	45
2	44,1607	5,5	49,6607	52
D	33,6590	0	0	45
S_2	34,7455	4,7	39,4455	42

Провера пречника вратила:

$$d_{vrs(2)} = d_{st(2)} - t = 52 - 5,5 = 46,5 \text{ mm}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d_{vrs(2)}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 46,5^3}{32} = 9870,9455 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_i = \frac{M_{i(2)}}{W} = \frac{614899,2874}{9870,9455} = 62,2939 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{imax} = \sigma_i \cdot K_2 = 62,2939 \cdot 2,2 = 137,0466 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{imax}} = \frac{320}{137,0466} = 2,3349$$

$S = 2,3349 > S_{us} = 2$; Задовољава услов.

$$d_{vrs(s2)} = d_{st(s2)} - t = 42 - 4,7 = 37,3 \text{ mm}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d_{vrs(s2)}^3}{32} = \frac{\pi \cdot 37,3^3}{32} = 5094,7912 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_i = \frac{M_{i(s2)}}{W} = \frac{299498,2352}{5094,7912} = 58,7852 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{imax} = \sigma_i \cdot K_{s2} = 58,7852 \cdot 2,2 = 129,3274 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{imax}} = \frac{320}{129,3274} = 2,4743$$

$S = 2,4743 > S_{us} = 2$; Задовољава услов.

Табела 12. Степени сигурности вратила II

Место	d_{st} , mm	t , mm	d_{vrs} , mm	M_i , Nmm	W , mm ³	σ_i , MPa	K	σ_{imax} , MPa	S_{us}	S
C	45	0	0	0	0	0	2	0	2	0
2	52	5,5	46,5	614899,2874	9870,9455	62,2939	2,2	137,0466	2	2,33
D	45	0	0	299498,2352	0	0	2	0	2	0
S ₂	42	4,7	37,3	299498,2352	5094,7912	58,7852	2,2	129,3274	2	2,47

2.13.4 Избор лежаја за вратило II:

За лежаје у ослонцу C и D:

Ослонац C:

$$F_{rC} = F_C = 4744,9677 \text{ N}$$

$$F_{aC} = F_{a2} = 2246,8275 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aC}}{F_{rC}} = \frac{2246,8275}{4744,9677} = 0,4735$$

$e = 1,14$; [2], табела 7.3.1

За $\frac{F_{aC}}{F_{rC}} = 0,4735 < e = 1,14$ и за појединачну уградњу:

$$X=1 \text{ и } Y=0$$

Еквивалентно динамичко оптерећење:

$$F_{eC} = X \cdot F_{rC} + Y \cdot F_{aC} = 1 \cdot 4744,9677 + 0 \cdot 2246,8275 = 4744,9677 \text{ N}$$

Ослонац D:

$$F_{rD} = F_D = 4296,2545 \text{ N}$$

$$F_{aD} = 0$$

С обзиром да је $F_{aD} = 0$, следи да је $F_{eD} = 4296,2454 \text{ N}$

За прорачун динамичке носивости се користи F_{eC} , јер је веће.

Динамичка носивост лежаја:

$$C_B \geq \frac{F_{ec}}{K_t} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}}$$

$K_t = 1$; фактор температуре, [2], табела 7.5.1, за температуру до 100 °C

$\alpha = 3$, [2], за котрљајни лежај са куглицама

$$n = n_l = 749,028 \text{ min}^{-1}$$

$$L_h = 10000 \text{ h}$$

$$C_B \geq \frac{F_{ec}}{K_t} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L_h}{10^6}} = \frac{4744,9677}{1} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 749,028 \cdot 10000}{10^6}} = 36345,4203 \text{ N}$$

$$C_B \geq 36,3454 \text{ kN}$$

За ослонце С и D усваја се лежај: 7309 В; [2], табела 7.5.5

Подаци о лежају:

$$d = 45 \text{ mm}$$

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$B = 25 \text{ mm}$$

$$C = 52,2 \text{ kN} > C_B = 36,3454 \text{ kN}$$

2.14 Прорачун кућишта мултипликатора

-Дебљина зида кућице:

$$\delta = 0,025 \cdot a + 1 = 0,025 \cdot 518,6733 + 1 = 13,9668 \text{ mm}$$

-Дебљина зида поклопца:

$$\delta_1 = 0,02 \cdot a + 1 = 0,02 \cdot 518,6733 + 1 = 11,3735 \text{ mm}$$

-Дебљина горњег појаса (обода) кућице:

$$b = (1,5 \div 1,75) \cdot \delta = 1,625 \cdot 11,3735 = 18,4819 \text{ mm}$$

-Дебљина доњег појаса кућице:

$$s = 2,35 \cdot \delta = 2,35 \cdot 13,9668 = 32,822 \text{ mm}$$

-Дебљина ребра крутости кућице:

$$m_2 = (0,85 \div 1) \cdot \delta = 0,925 \cdot 13,9668 = 12,9193 \text{ mm}$$

-Дебљина ребра крутости поклопца кућице:

$$m_1 = (0,85 \div 1) \cdot \delta_1 = 0,925 \cdot 11,3735 = 10,5205 \text{ mm}$$

-Пречник фундаменталних завртњева:

$$d_f = 0,036 \cdot a + 12 = 0,036 \cdot 518,6733 + 12 = 30,6722 \text{ mm}$$

-Пречници завртњева:

за везивање поклопца са кућицом:

$$d = (0,5 \div 0,6) \cdot d_f = 0,55 \cdot 30,6722 = 16,8697 \text{ mm}$$

за причвршћивање поклопца лежишта:

$$d_p = (0,4 \div 0,5) \cdot d_f = 0,45 \cdot 30,6722 = 13,8025 \text{ mm}$$

за причвршћивање поклопца отвора за посматрање:

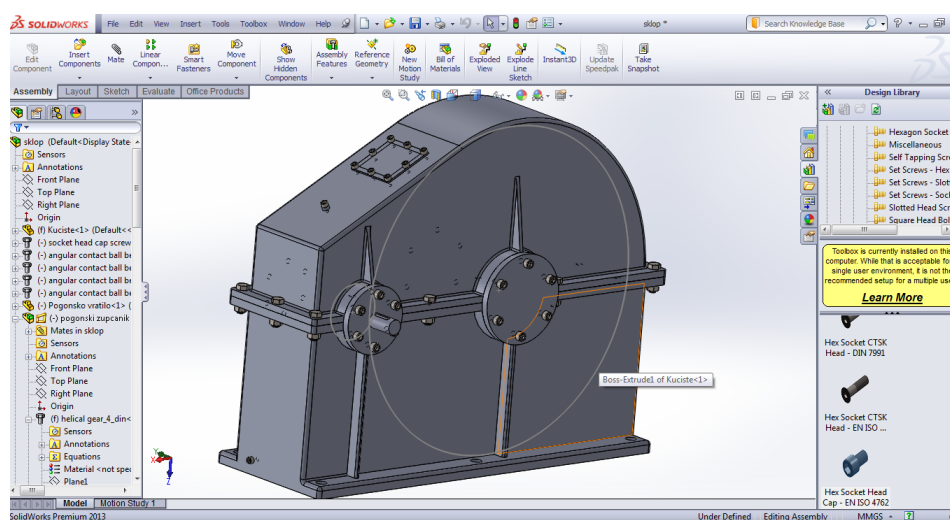
$$d_z = (0,3 \div 0,4) \cdot d_f = 0,35 \cdot 30,6722 = 10,7353 \text{ mm}$$

-Број фундаменталних завртњева:

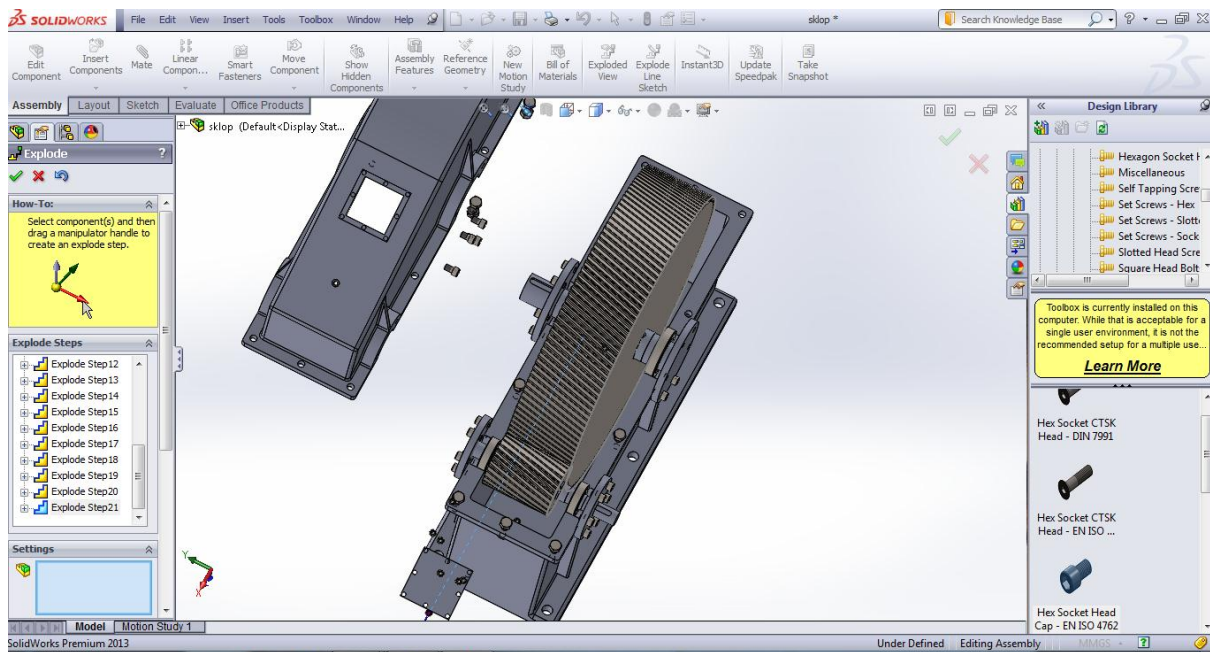
$$n = \frac{L + B}{200 \div 300} = \frac{1167,93 + 277,93}{250} = 5,7834$$

Усваја се: $n = 6$

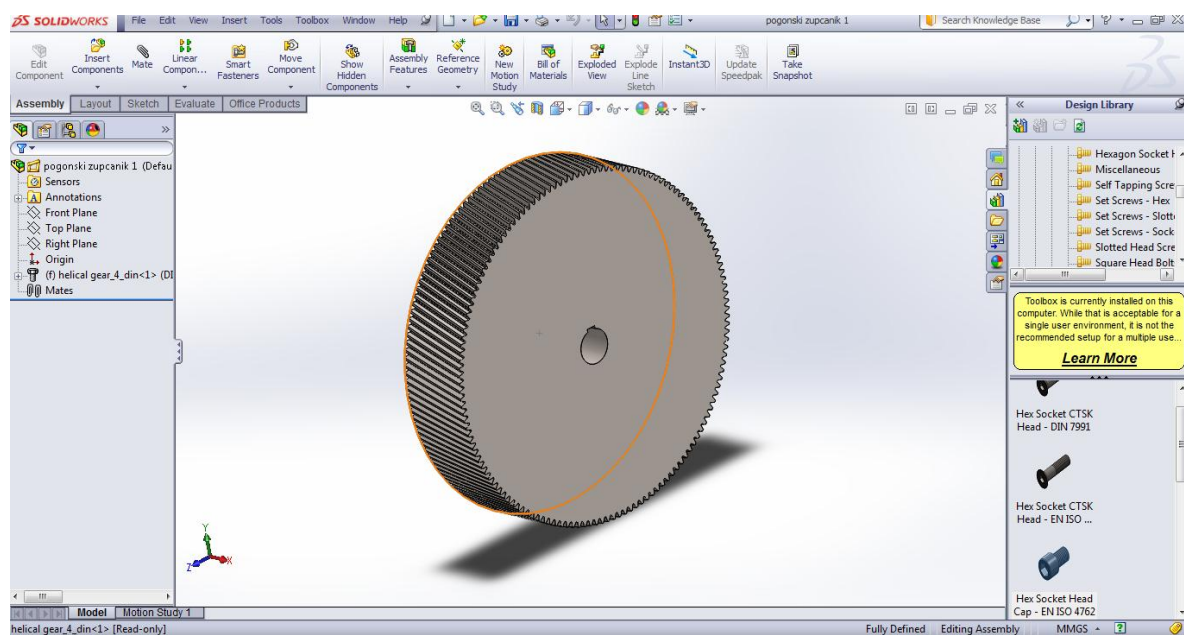
2.15 Модел мултипликатора урађен у Solid Works-у:



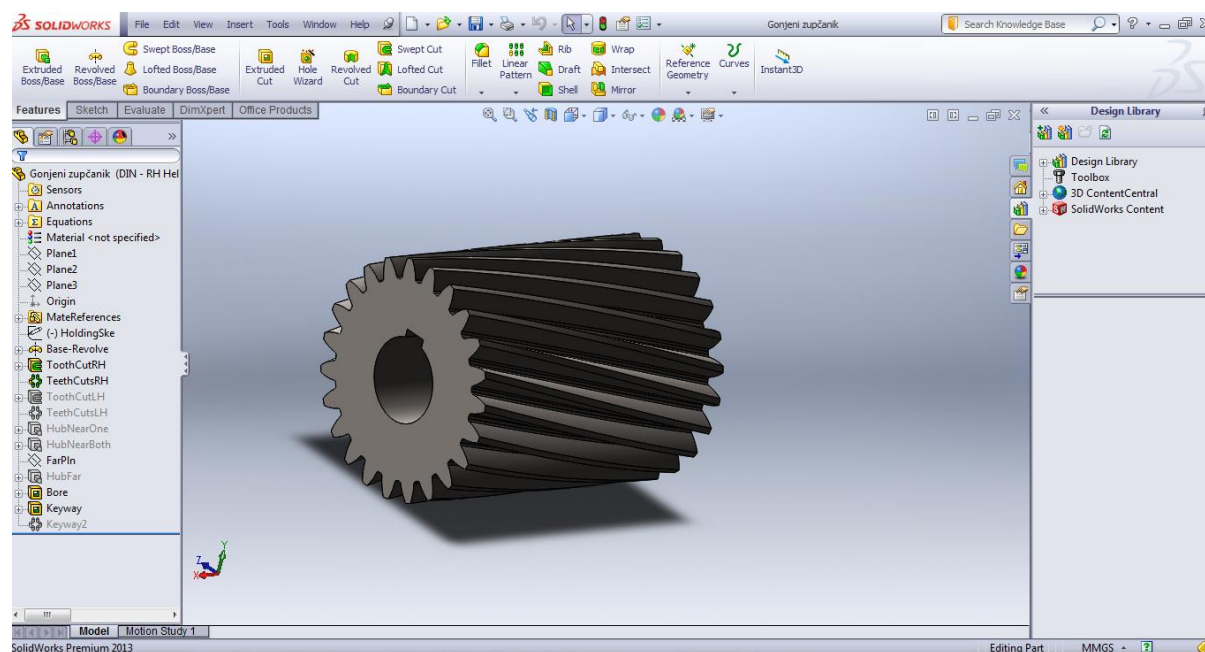
Слика 12. Склоп мултипликатора



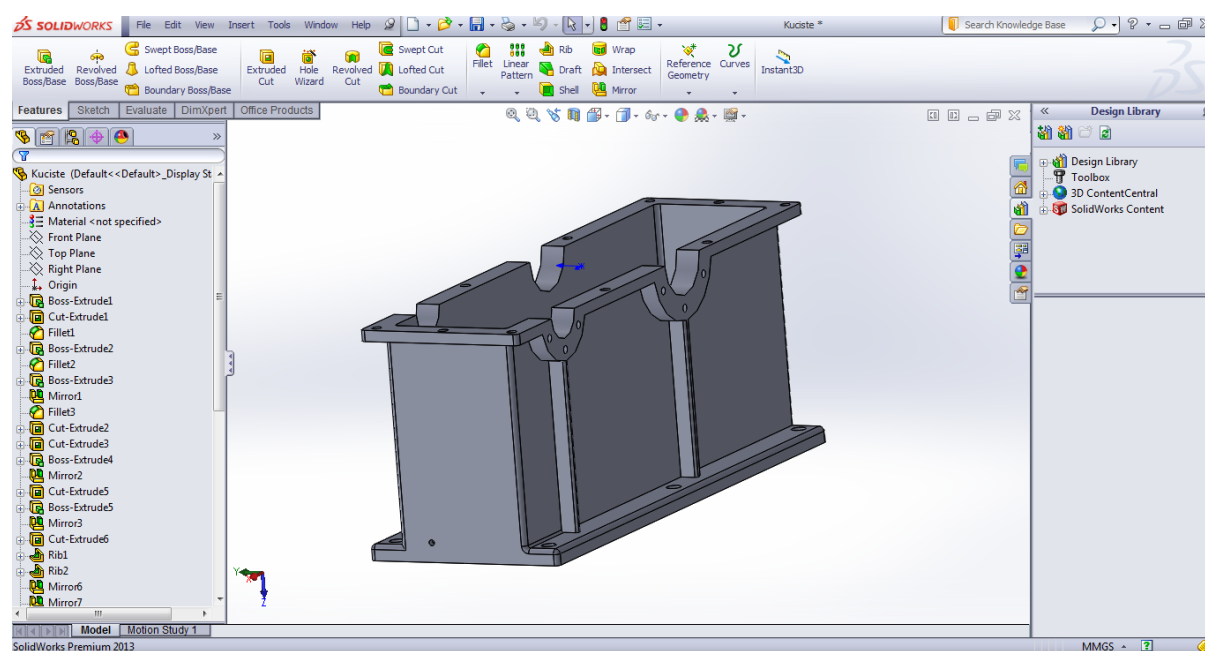
Слика 13. Exploding view мултипликатора



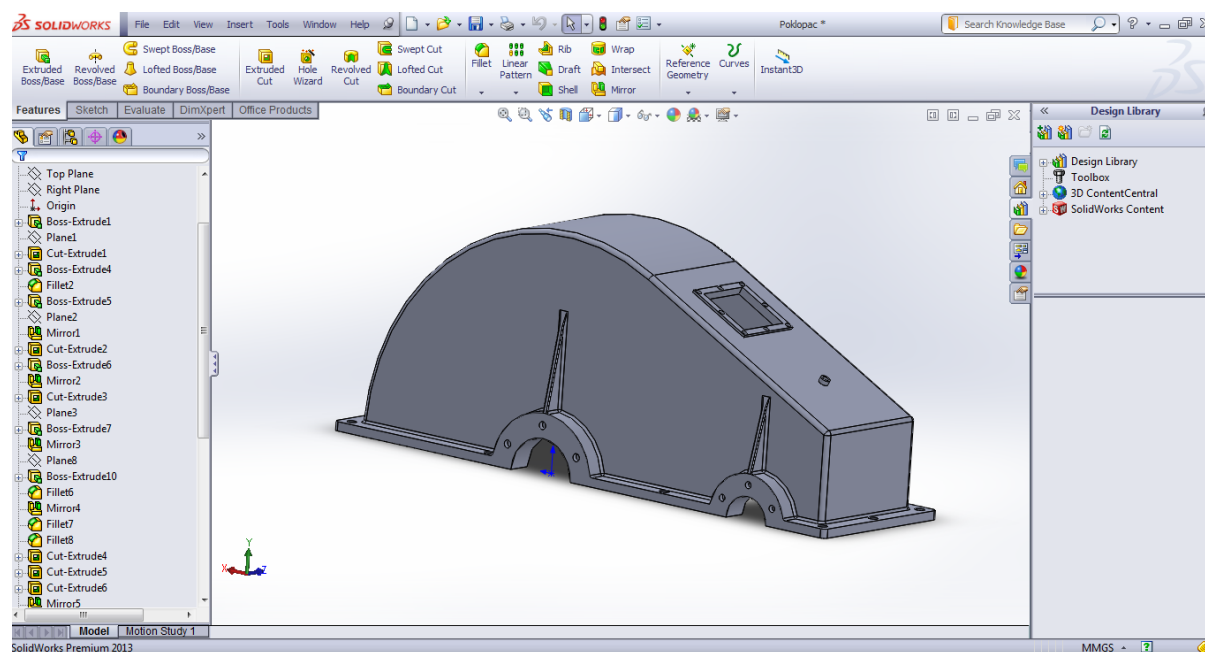
Слика 14. Погонски зупчаник



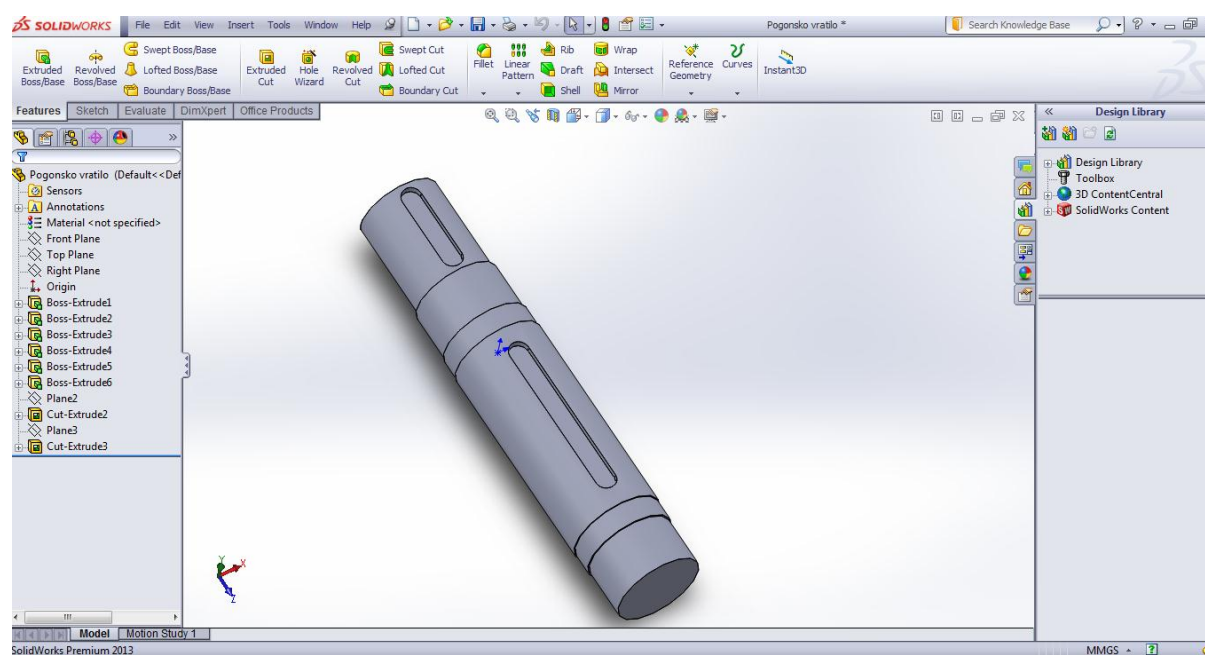
Слика 15. Гоњени зупчаник



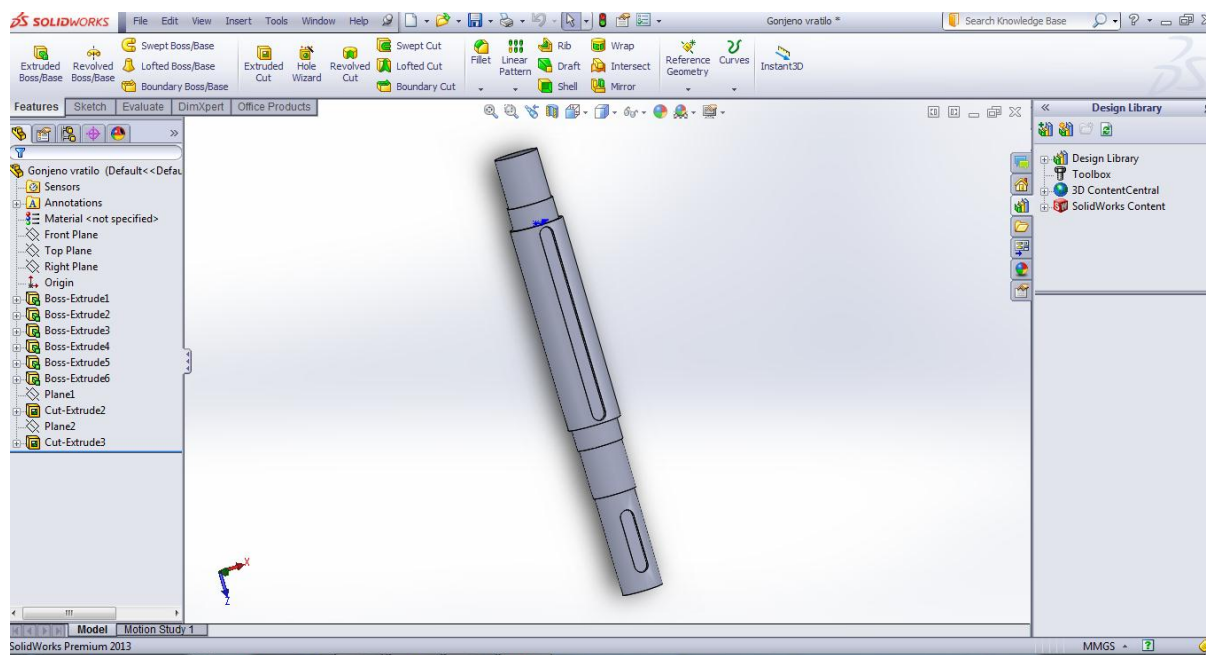
Слика 16. Кућиште мултипликатора



Слика 17. Поклопац кућишта мултипликатора



Слика 18. Погонско вратио мултипликатора



Слика 19. Гоњено вратило мултипликатора

3. ЗАКЉУЧАК

У овом раду извршен је прорачун једноступеног зупчастог мултипликатора код кога је улазно вратило директно везано на ветротурбину а излазно вратило директно везано за електрични генератор. Током прорачуна извршено је усвајање различитих фактора као и материјала како би се што меродавније испунили захтевани услови. Усвојени фактори као и материјал задовољавају како услове тако и напоне. Самим тим прорачун је извршен успешно.

Током израде овог рада дати су полазни подаци као што су: снага електромотора, жељени бројеви обртаја вратила I и II, радни век, степен искоришћења спојнице и степен искоришћења зупчастог пара. Помоћу ових података извршен је комплетан прорачун. Прорачунати су сви витални елементи мултипликатора почев од зупчаника, преко вратила, лежаја, па све до кућишта мултипликатора. У току прорачуна вођено је рачуна о уштеди материјала. Прорачунати мултипликатор може пренети захтевану снагу за погон генератора струје, што и јесте један од главних циљева.

Након прорачуна урађен је и 3D модел у пакету Solid Works, где су коришћене димензије и параметри добијени у прорачуну.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [3] Б. Стојановић, М. Благојевић: МЕХАНИЧКИ ПРЕНОСНИЦИ, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2015.
- [4] В. Николић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ, Машински факултет Крагујевац, 2004.
- [5] К. Матијевић: Мултипликатор за малу вјетроелектрану, дипломски рад, Свеучилиште у Ријеци, Ријека 2010
- [6] <http://obnovljiviizvorienergije.rs/energija-vetra/> 12.06.2017.
- [7] <http://efikasnost.rs/obnovljivi-izvori-energije/energija-vetra/> 21.06.2017.
- [8] <http://obnovljiviizvorienergije.rs/wp-content/uploads/2015/02/vetropark-ravnica.jpg> 21.06.2017.
- [9] <https://prezentacijavetroagregati.wordpress.com/category/rad-vetrogeneratora/> 28.06.2017.
- [10] <http://www.tfb.edu.mk/materials/download/8f2315324546739a8a87f3decc520435> 01.07.2017
- [11] <https://sites.google.com/site/tehskolamojaucionica/home/obnovljivi-izvori-energije/tehnologija-energije-vetra> 03.07.2017
- [12] "A model to improve the Wind turbine Gearbox lubrication system" Linnaeus University
- [13] <https://www.slideshare.net/ssusere99b70/uputstvo-za-izradu-projektnog-zadatka-reduktor> 27.08.2017

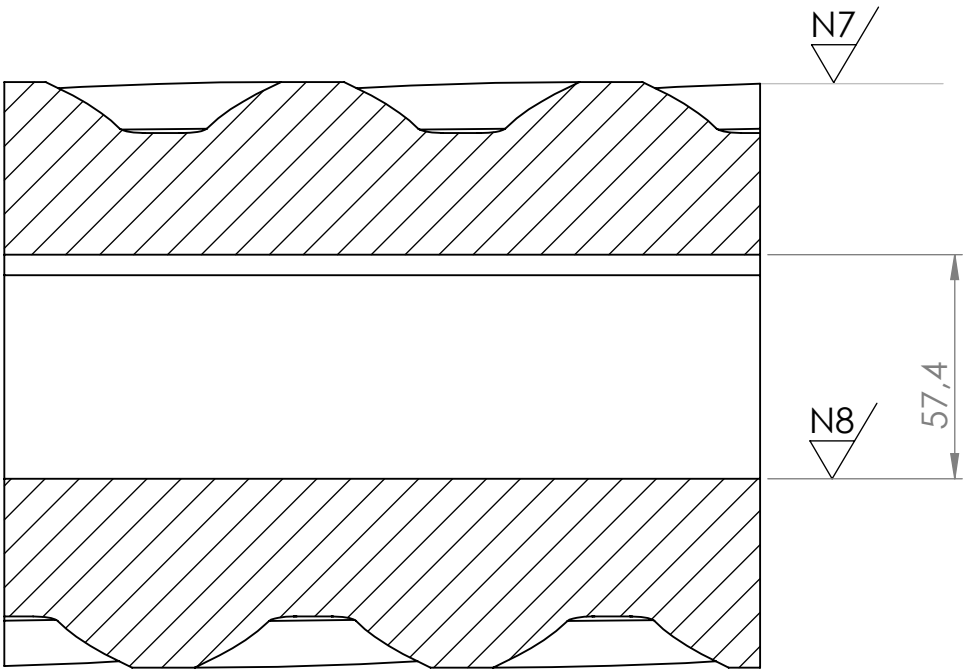
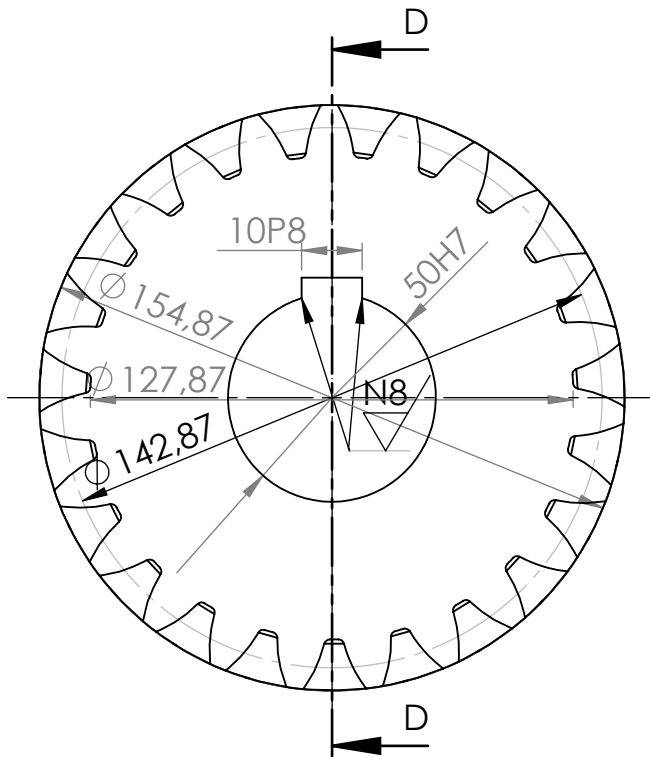
+0,050	50H7
0	

-0,037	20P8
-0,015	

N6

N7

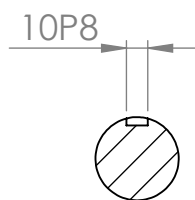
N8



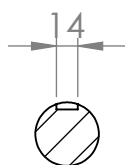
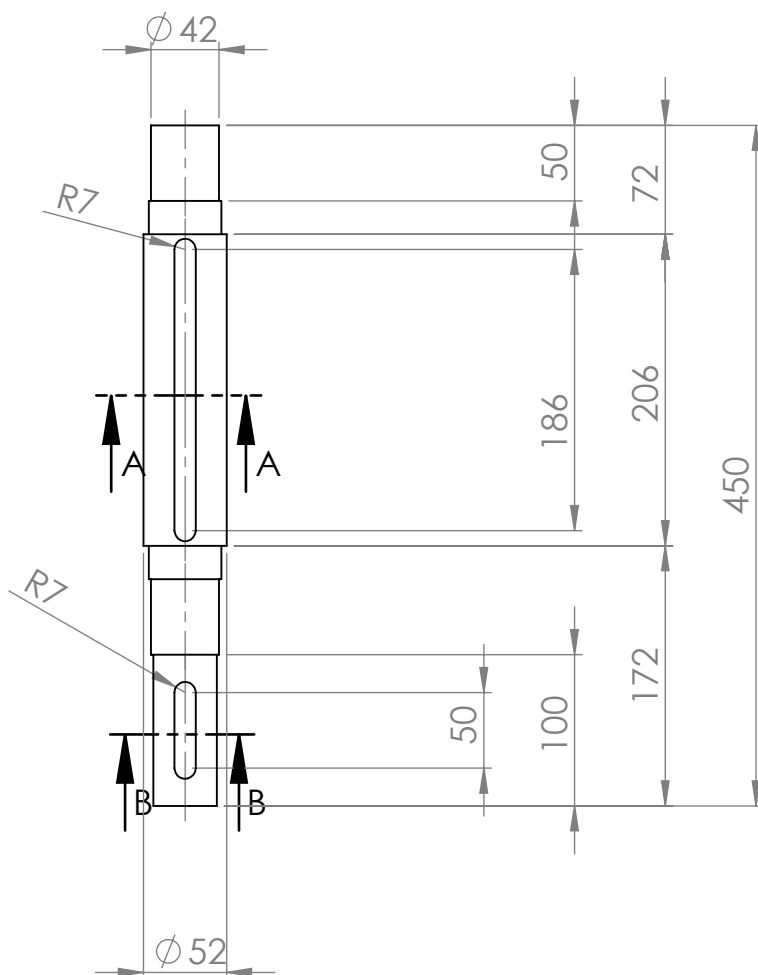
Presek D-D

Ime	Datum	Materijal	Naziv: Gonjeni zupcanik	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531		
186/2014				
		FIN Kragujevac	Oznaka	A3
			Razmera: 1:5	

-0,037	10P8
-0,015	

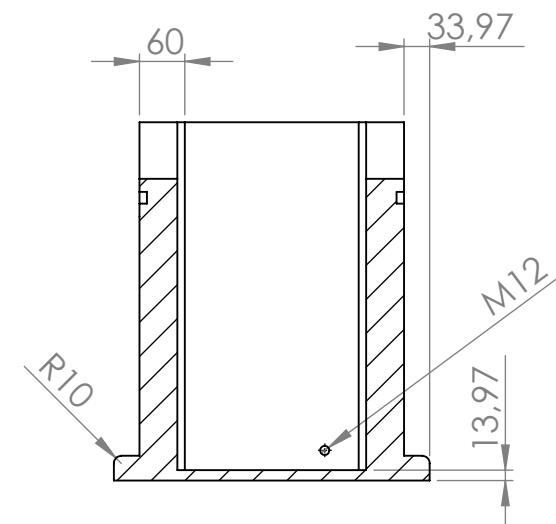
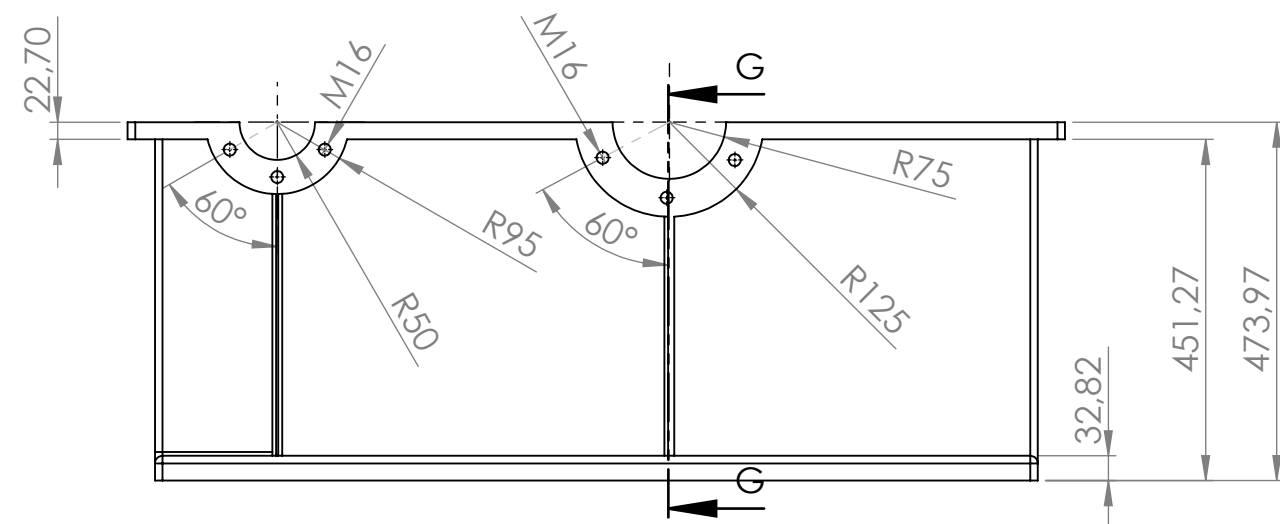
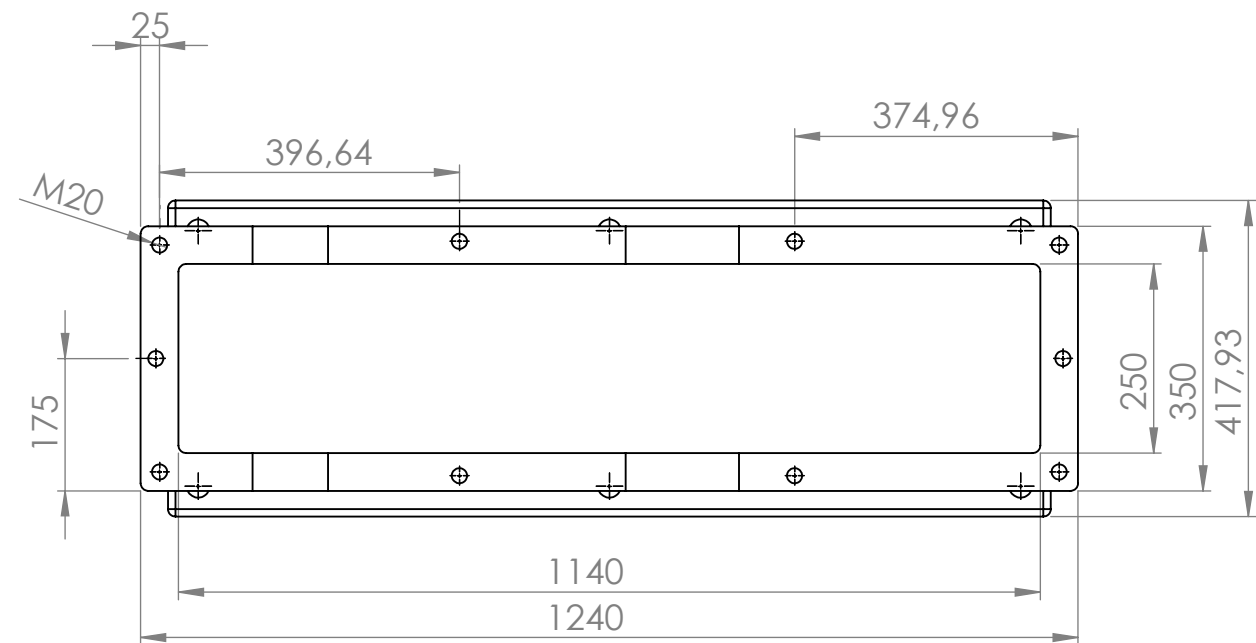


Presek A-A



Presek B-B

Ime	Datum	Materijal	Naziv	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1530		
186/2014			Gonjeno vratilo	
			Oznaka	
		FIN Kragujevac	A4	
			Razmera 1:5	

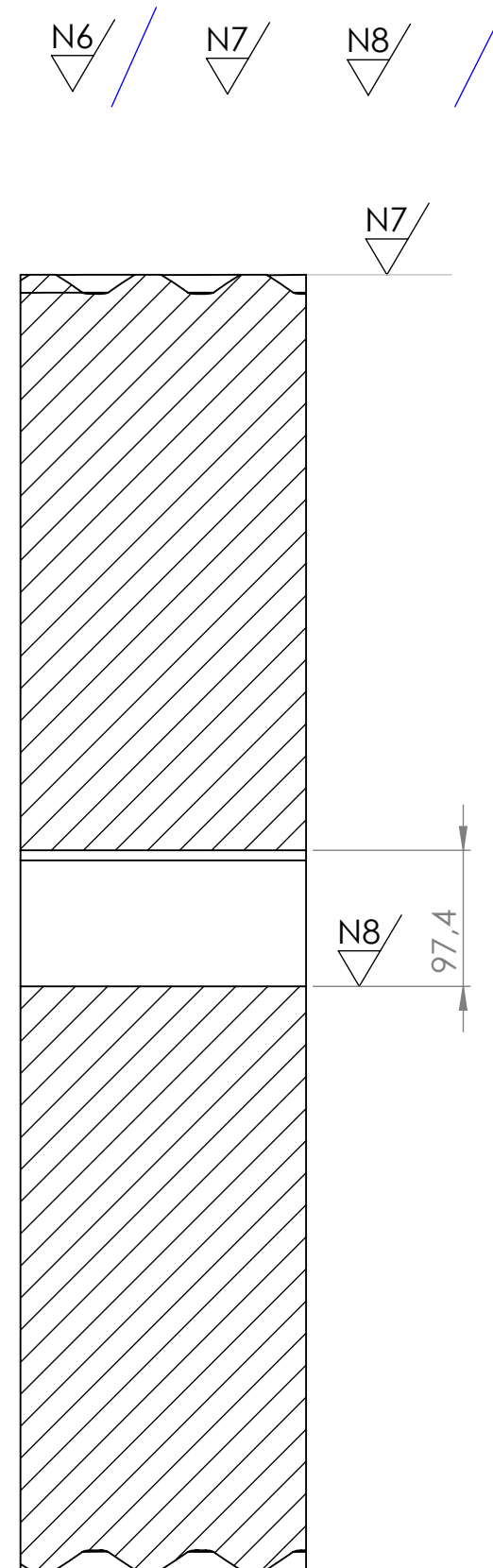
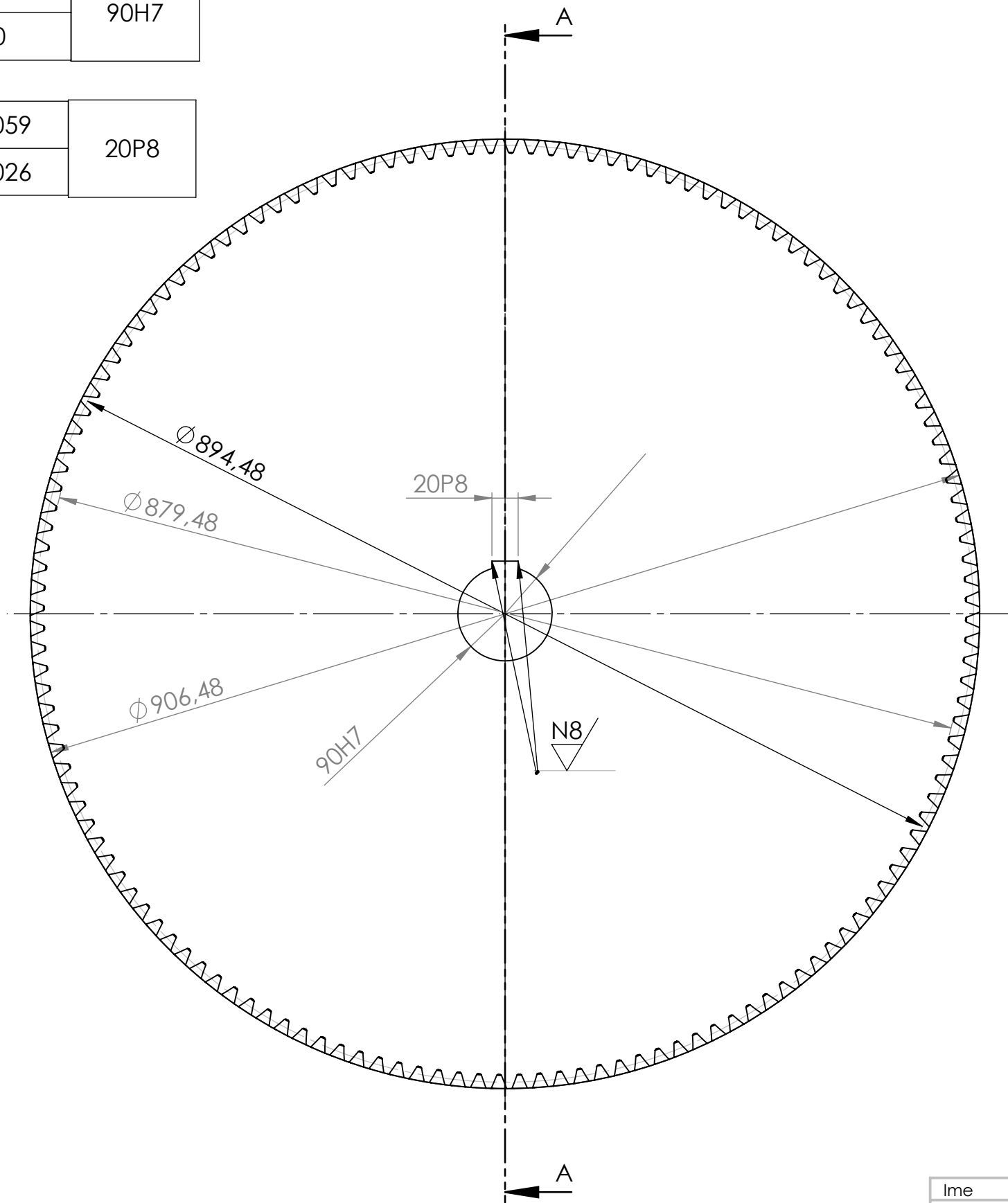


Presek G-G

Ime	Datum	Materijal	Naziv: Kuciste	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531		
186/2014				
		FIN Kragujevac	Oznaka	A3
			Razmera 1:2	

+0,035	90H7
0	

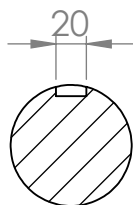
-0,059	20P8
-0,026	



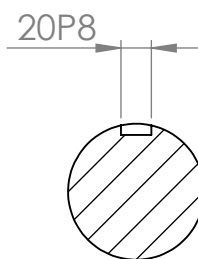
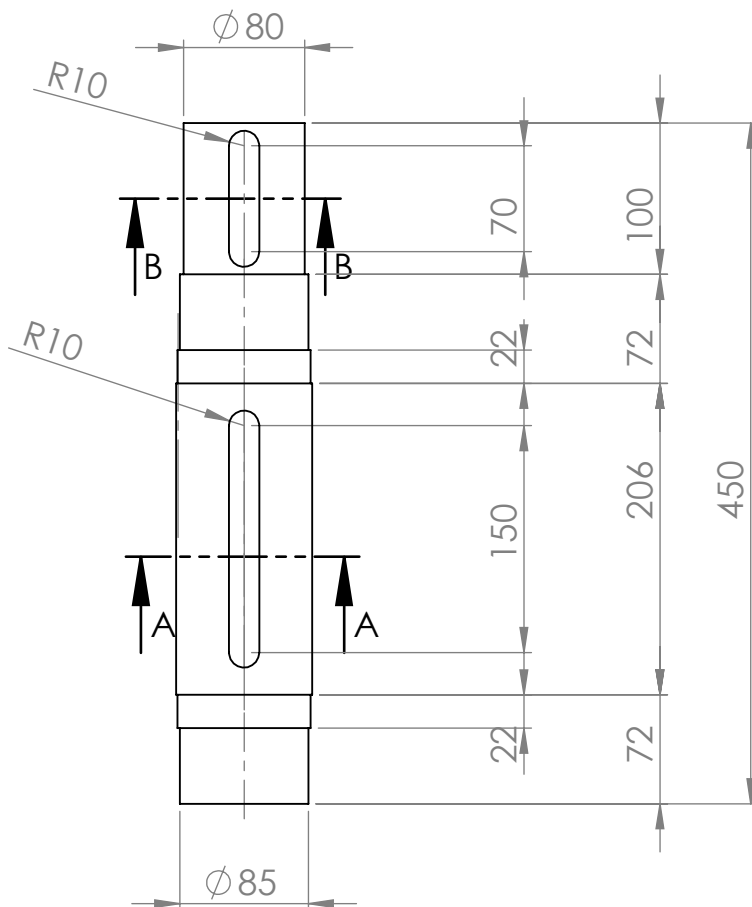
Presek A-A

Ime	Datum	Materijal	Naziv:	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531		
186/2014			Pogonski zupcanik	
		FIN Kragujevac	Oznaka	A3
			Razmera: 1:5	

-0,026	20P8
-0,059	

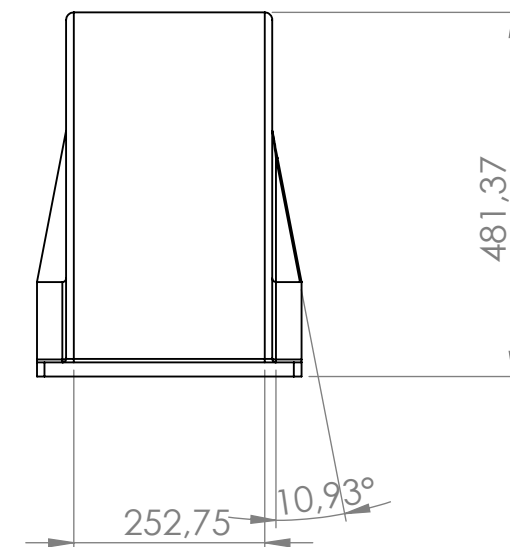
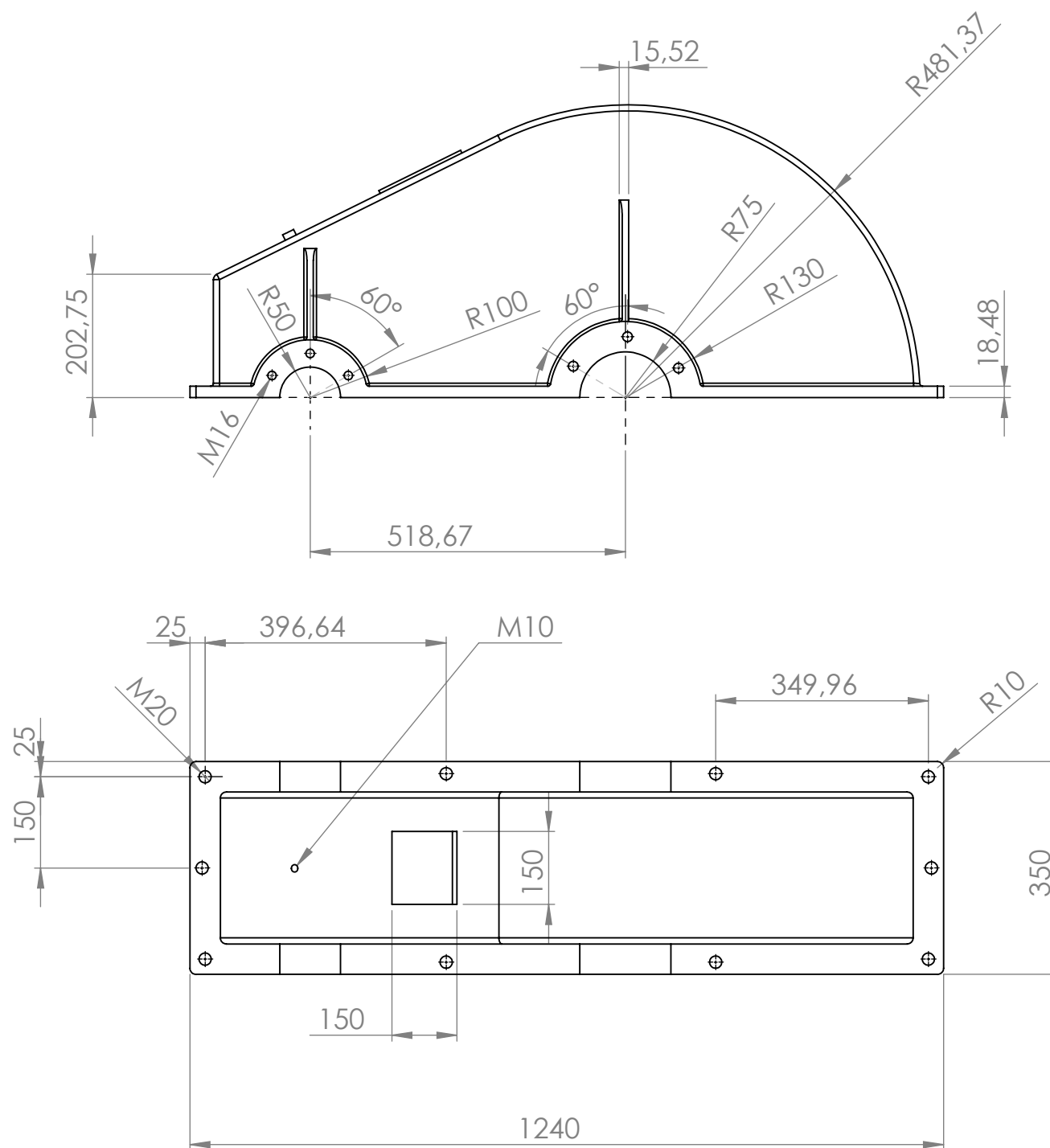


Presek B-B

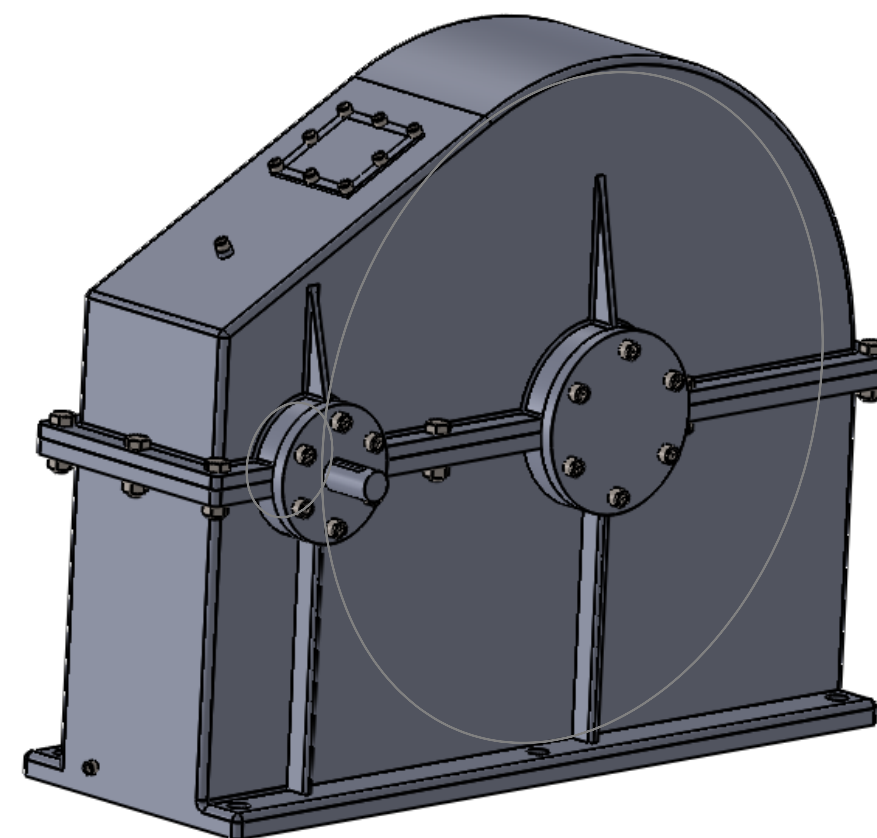
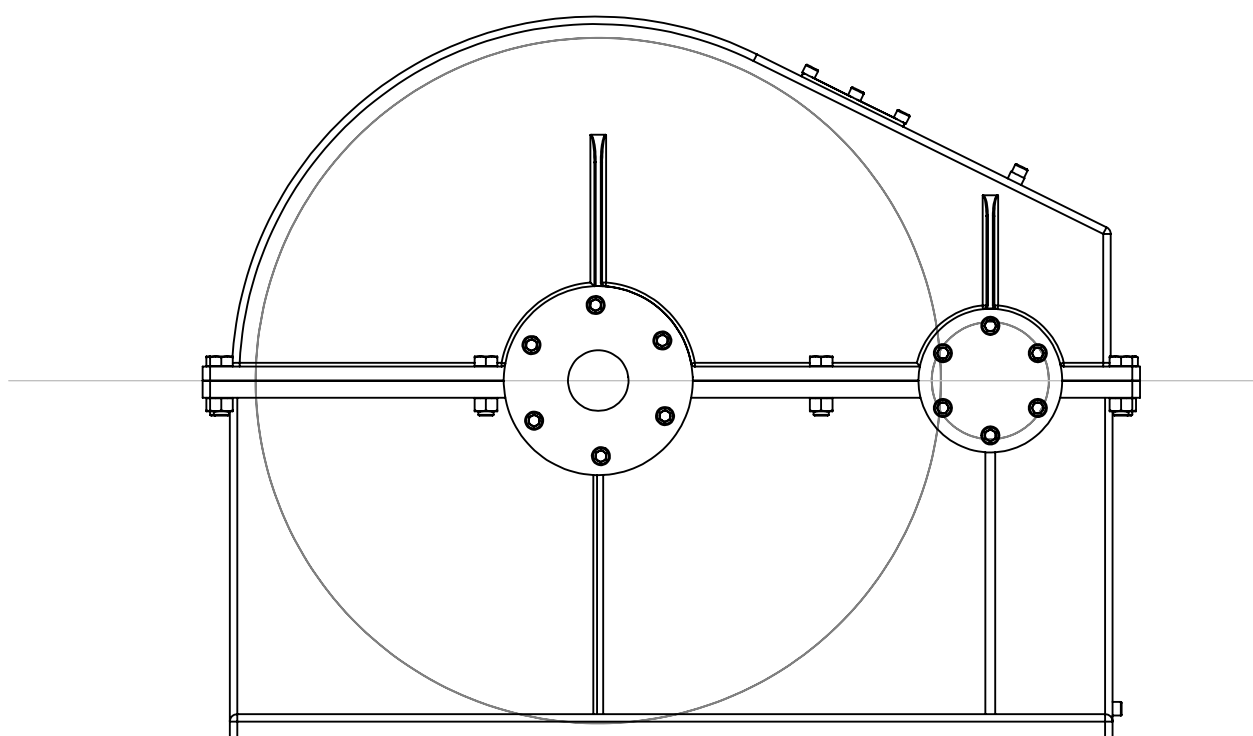
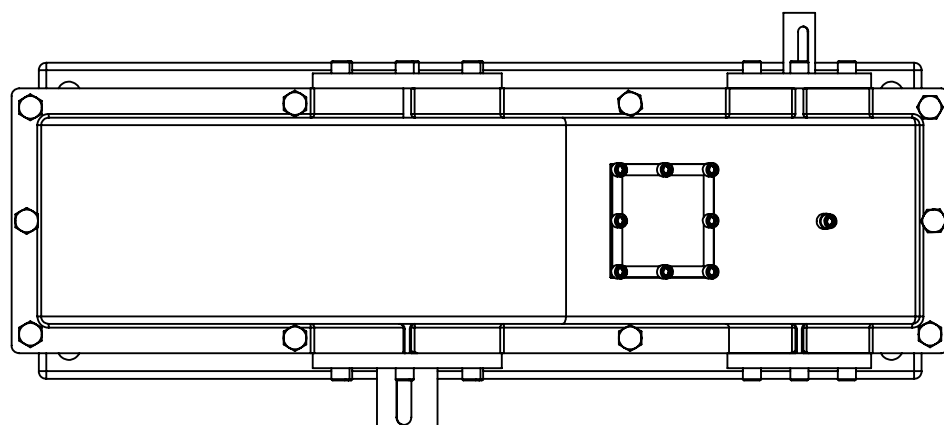


Presek A-A

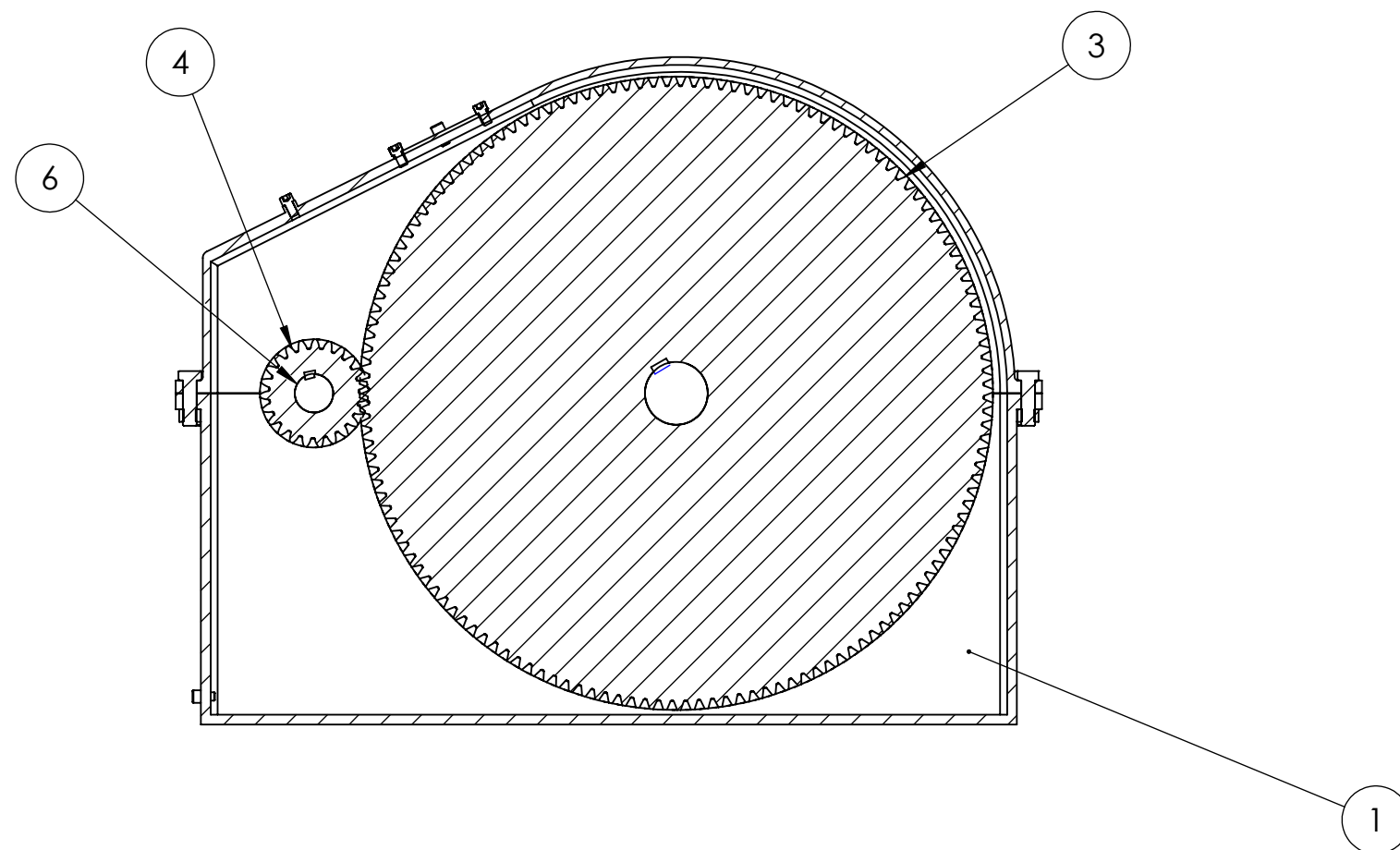
Ime	Datum	Materijal	Naziv	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1530		
186/2014			Pogonsko vratilo	
			Oznaka	
		FIN Kragujevac	A4	
			Razmera 1;5	



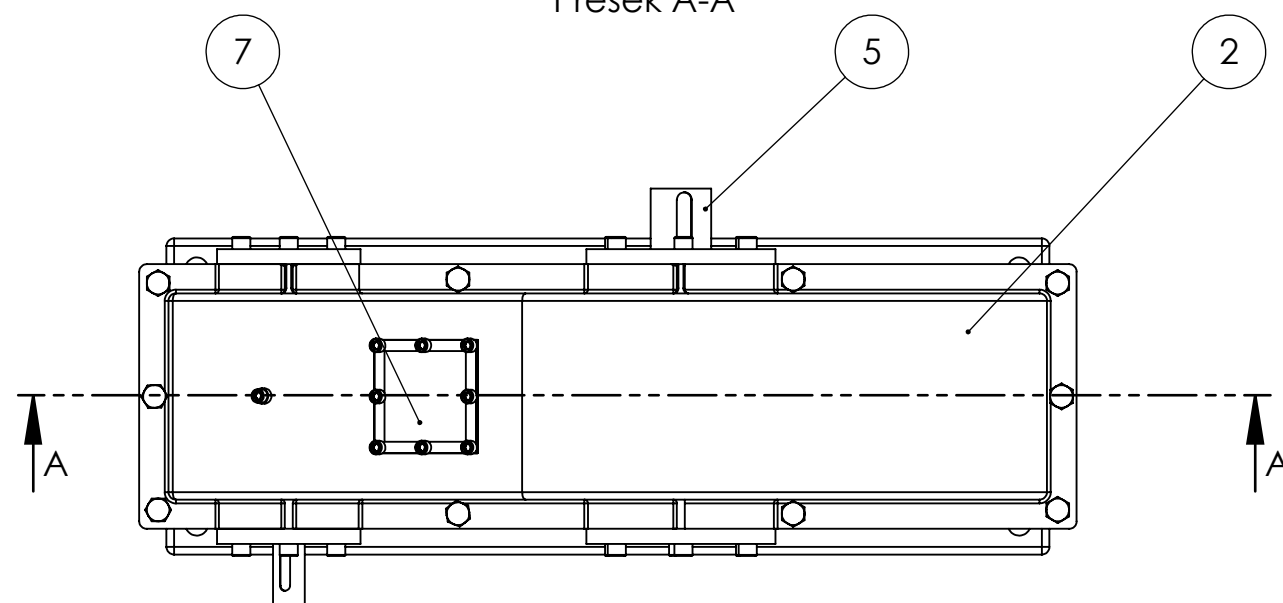
Ime	Datum	Materijal	Naziv: Poklopac kucista	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531		
186/2014				
		FIN Kragujevac	Oznaka	A3
			Razmera: 1:10	



Ime	Datum	Materijal	Naziv:	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531	Sklop multiplikatora	
186/2014				
			Oznaka	A3
		FIN Kragujevac	Razmera: 1:5	



Presek A-A



Pozicija	Naziv	Kolicina
7	Otvor za posmatranje	1
6	Gonjeno vratilo	1
5	Pogonsko vratilo	1
4	Gonjeni zupcanik	1
3	Pogonski zupcanik	1
2	Poklopac kucista	1
1	Kuciste	1

Ime	Datum	Materijal	Naziv:	
Ana Radovanovic	16.09.2017	C1531	Sklop multiplikatora	
186/2014				
			Oznaka	
		FIN Kragujevac	A3	
			Razmera: 1:10	