

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Методе прорачуна у развоју производа

Број индекса: 302/2016

Александар З. Миливојевић

Пројектовање тростепеног редуктора у софтверу *Autodesk Inventor*

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Мирко Благојевић, ван. проф -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру софтвера *Autodesk Inventor* потребно је извршити пројектовање једног конкретног тростепеног редуктора. У модулу *Design Accelerator* урадити прорачун стандардних машинских елемената, а за нестандартне елементе извршити анализу напонско-деформационог стања.

Препоручена литература:

- [1] М.Трбојевић, М. Јанковић, Ј. Вукдеља, С. Ивковић, В. Латиновић: Редуктори, Београд, 1980.
- [2] В. Николић: Машински елементи, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2004.

Крагујевац, март 2018.

Ментор:
др Мирко Благојевић, ван.проф.

Захваљујем се свом ментору, ванредном професору др Мирку Благојевићу на саветима током израде рада.

Захваљујем се својим родитељима Зорану и Биљани, као и сестрама Маријани и Кристини на пруженој љубави и подршци током свих година школовања.

Највећу захвалност дугујем деда Радиши и баба Весни на неизмерној љубави и подршци коју су ми пружили за десет година боравка у њиховом топлом дому. Овај рад и своје успехе посвећујем њима.

Не могу и њих да не поменем, захвалност дујем и својим колегама са смера Машинске конструкције и механизација, као и друговима Зорану и Стефану.

Крагујевац, 2018.

Александар Миливојевић

Садржај

Резиме	i
Abstract.....	i
Попис слика.....	ii
1. Увод	1
2. Редуктори	2
2.1. Подела редуктора	2
2.1.1. Подела према типу редуктора.....	2
2.1.2. Подела према положају излазног и улазног вратила.....	3
2.1.3. Подела према броју степени преноса.....	3
2.2. Конструктивни облици редуктора.....	3
2.2.1. Редуктори са паралелним осама вратила.....	3
2.2.2. Редуктори са вратилима чије се осе секу под углом од 90°	5
2.2.3. Редуктори са вратилима чије се осе укрштају	6
3. Зупчасти преносници, вратила и котрљајни лежаји	8
3.1. Зупчасти преносници.....	8
3.2. Вратила.....	9
3.3. Котрљајни лежаји.....	10
4. Прорачун стандардних елемената редуктора	12
4.1. Шема редуктора	12
4.2. Подаци за прорачун	13
4.2.1. Прорачун параметара снаге – кретања	13
4.3. Прорачун зупчастих парова	16
4.3.1. Прорачун зупчастог пара 1-2.....	16
4.3.1.1. Анализа сила на зупчастом пару 1-2.....	22
4.3.2. Прорачун зупчастог пара 3-4.....	23
4.3.2.1. Анализа сила зупчастог пара 3-4.....	29
4.3.3. Прорачун зупчастог пара 5-6.....	30
4.3.3.1. Прорачун основних димензија зупчаника 6.....	36
4.3.3.2. Анализа сила на зупчастом пару 5-6.....	37
4.4. Прорачун вратила.....	37
4.4.1. Прорачун вратила I.....	37
4.4.2. Прорачун вратила II.....	47
4.4.3. Прорачун вратила III	57

4.5.	Прорачун лежаја.....	77
4.5.1.	Прорачун лежаја на месту А и В.....	77
4.5.2.	Прорачун лежаја на месту С и D.....	82
4.5.3.	Прорачун лежаја на месту Е и F.....	87
4.5.4.	Прорачун лежаја на месту G и H.....	92
5.	Конструкција редуктора	97
6.	Структурна анализа	104
6.1.	Метод коначних елемената	104
6.2.	Програмски пакети за анализу МКЕ	105
7.	Нумеричка анализа кућишта и поклопца редуктора методом коначних елемената...	107
7.1.	МКЕ анализа кућишта редуктора	107
7.1.1.	Дискусија добијених резултата за кућиште редуктора	110
7.2.	МКЕ анализа поклопца редуктора.....	110
8.	Техничка документација.....	114
9.	Закључак.....	115
	Литература.....	116

Резиме

Редуктор је уређај за пренос снаге и кретања од погонске до радне машине. Постоје различите врсте редуктора у зависности од типа зупчаника који се користе. Поред тога, редуктори се могу поделити и према положају улазног и излазног вратила. Основни делови редуктора су зупчаници, вратила и лежаци, као стандардни елементи, док су нестандартни елементи кућиште, поклопац кућишта, чауре, дистанцери, итд. У оквиру овог рада биће представљено једно од решење тростепеног редуктора са осама вратила која се секу. Стандардни елементи као што су зупчаници, вратила и лежаци прорачунати су у софтверу *Autodesk Inventor* у оквиру модула *Design Accelerator*, док су сви нестандартни елементи моделирани у поменутом софтверу. Редуктор који је представљен у овом раду састоји се из три степена преноса који чине два пара цилиндричних зупчаника са косим зупцима и један пар коничних зупчаника са косим зупцима. Поред 3D модела редуктора у раду је представљена и техничка документација модела као и напонско-деформациона анализа нестандартних делова.

Кључне речи: редуктор, пројектовање, софтвер, степен преноса.

Abstract

Reducer is an element for transferring power from motor to machine. There are different types of gear units depending on the type of gears in the gearbox housing. In addition, the gear units can be distinguished according to the position of the input and output shafts. The basic parts of the gearbox are gears, shafts and bearings, as standard elements, while non-standard elements are the housing, housing cover as well as other elements such as bushes, spacers, etc. In this work, one of the three-stage gearboxes with axle shafts to be cut will be presented. Standard elements such as gears, shafts and bearings are calculated in the Autodesk Inventor software within the Design Accelerator module, while all non-standard elements are modeled in the aforementioned software. The reducer presented in this paper consists of three degrees of transmission consisting of two pairs of cylindrical gears with slit teeth and one pair of conical gears with slanted teeth. In addition to the 3D model of the gearbox, the technical documentation of the model as well as the voltage-deformation analysis of non-standard parts are presented in the paper.

Keywords: Reducer, Design, Software, Degree of transmission.

Попис слика

Слика 1. Редуктор	2
Слика 2. Двостепени редуктор развучене конструкције, [1].....	4
Слика 3. Тростепени редуктор са паралелним осама вратила	4
Слика 4. Моторредуктор, [1]	4
Слика 5. Једностепени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]	5
Слика 6. Двостепени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]	5
Слика 7. Тростепени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]	5
Слика 8. Пужни редуктор са пужним завртњем испод.....	6
Слика 9. Пужни редуктор са пужним завртњем изнад	6
Слика 10. Пужни редуктор са пужним завртњем са стране	7
Слика 11. Комбиновани двостепени редуктор, [1].....	7
Слика 12. Цилиндрични зупчасти пар	8
Слика 13. Вратило	9
Слика 14. Котрљајни лежаји.....	10
Слика 15. Шема редуктора (поглед одозго).....	12
Слика 16. Скица редуктора у две равни	13
Слика 17. Зупчасти пар 1-2	17
Слика 18. Анализа сила на зупчастом пару 1-2	22
Слика 19. Зупчасти пар 3-4.....	24
Слика 20. Анализа сила зупчастог пара 3-4	29
Слика 21. Зупчасти пар 5-6.....	31
Слика 22. Скица димензија олакшања зупчаника 6	36
Слика 23. Анализа сила на зупчастом пару 5-6	37
Слика 24. Вратило I “Н” раван	38
Слика 25. Вратило I “V” раван	38
Слика 26. Вратило I	39
Слика 27. Вратило II “Н” раван.....	47
Слика 28. Вратило II “V” раван.....	47
Слика 29. Вратило II изједна са зупчаником 3	48
Слика 30. Вратило III “Н” раван	57
Слика 31. Вратило III “V” раван	57
Слика 32. Вратило III	59

Слика 33. Вратило IV “H” раван	67
Слика 34. Вратило IV “V” раван	67
Слика 35. Вратило IV	68
Слика 36. Шема редуктора	97
Слика 37. Кућиште редуктора	98
Слика 38. Изглед задњег дела кућишта	98
Слика 39. Изглед задњег поклопца: а) са задње стране; б) са предње стране	99
Слика 40. Предња страна поклопца редуктора	100
Слика 41. Задња страна поклопца редуктора	101
Слика 42. Предњи део редуктора	101
Слика 43. Задњи део редуктора	102
Слика 44. Бојна страна редуктора	102
Слика 45. Изглед редуктора у изометрији	103
Слика 46. Редуктор без поклопца	103
Слика 47. Приказ континуума дискретизованог коначним елементима	104
Слика 48. Принцип рада софтвера за МКЕ, [5]	105
Слика 49. Постављање ограничења на кућиште	107
Слика 50. Задавање оптерећења ‘Bearing loads’ на кућиште: а) Оптерећење C и D; ...	108
Слика 51. Изглед генерисане мреже коначних елемената кућишта редуктора	109
Слика 52. Расподела Von-Misses-ових напона	109
Слика 53. Расподела померања кућишта редуктора	110
Слика 54. Задавање ограничења код поклопца редуктора	111
Слика 55. Задавање оптерећења на поклопац редуктора	111
Слика 56. Генерисана мрежа коначних елемената поклопца редуктора	112
Слика 57. Расподела Von-Misses –ових напона за поклопац редуктора	112
Слика 58. Расподела померања поклопца редуктора	113

Преглед табела

Табела 1. Подаци за зупчасти пар 1-2	16
Табела 2. Подаци за зупчасти пар 3-4	23
Табела 3. Подаци за зупчасти пар 5-6	30
Табела 4. Вредности сила и момената за вратило I	38

Табела 5. Вредности сила и момената за вратило II.....	48
Табела 6. Вредности сила и момената за вратило III.....	58
Табела 7. Вредности сила и момената за вратило IV	68
Табела 8. Приказ вредности оптерећења лежаја у кућишту	108
Табела 9. Приказ вредности оптерећења за поклопац редуктора	111
Табела 10. Преглед цртежа.....	114

Преглед прилога

Прилог 1. Прорачун зупчастог пара 1-2.....	18-21
Прилог 2. Прорачун зупчастог пара 3-4.....	25-28
Прилог 3. Прорачун зупчастог пара 5-6.....	32-35
Прилог 4. Прорачун вратила I.....	40-46
Прилог 5. Прорачун вратила II.....	50-56
Прилог 6. Прорачун вратила III.....	60-66
Прилог 7. Прорачун вратила IV.....	70-76
Прилог 8. Прорачун лежаја на месту А.....	78-79
Прилог 9. Прорачун лежаја на месту В.....	80-81
Прилог 10. Прорачун лежаја на месту С.....	83-84
Прилог 11. Прорачун лежаја на месту D.....	85-86
Прилог 12. Прорачун лежаја на месту Е.....	88-89
Прилог 13. Прорачун лежаја на месту F.....	90-91
Прилог 14. Прорачун лежаја на месту G.....	93-94
Прилог 15. Прорачун лежаја на месту Н.....	95-96

1. Увод

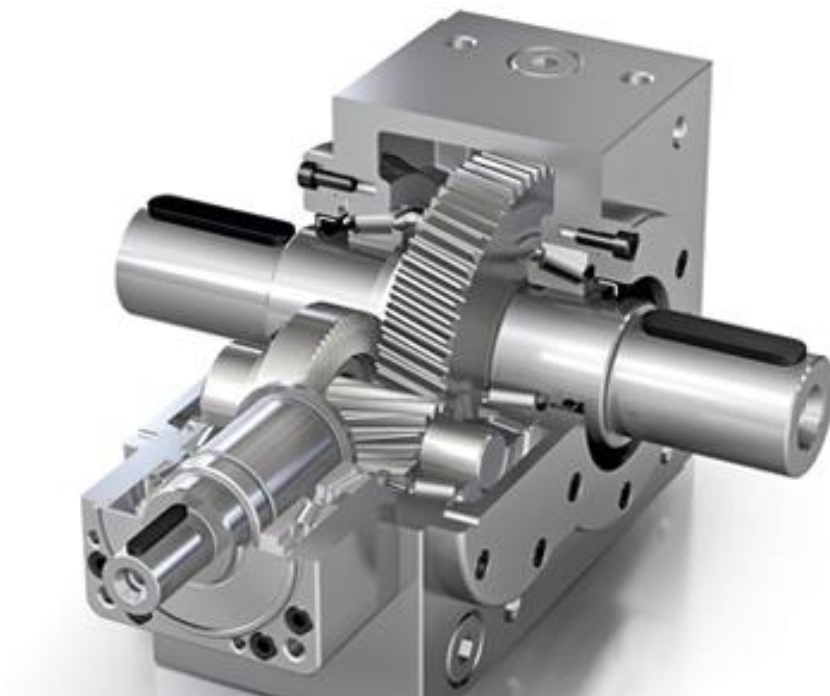
У овом раду представљено је конструкционо решење тростепеног редуктора са осама вратила која се секу. Редуктор је се састоји од два пара цилиндричних зупчаника са косим зупцима, као и једног пара коничних зупчаника, такође, са косим зупцима. Први степен преноса је пар цилиндричних зупчаника са косим зупцима, други степен преноса је конични пар зупчаника, такође, са косим зупцима и трећи степен преноса је пар цилиндричних зупчаника са косим зупцима. Редуктор се састоји из два главна дела, а то су поклопац редуктора и кућиште редуктора где су смештени његови стандардни и нестандардни елементи. Стандардни елементи редуктора као што су зупчаници, вратила и лежаји прорачунати су у софтверу *Autodesk Inventor*, док су нестандардни делови моделирани у поменутом софтверу. На нестандардним елементима редуктора извршена је анализа методом коначних елемената где су добијени резултати напона и померања. Поред МКЕ анализе, за поменути редуктор израђена је целокупна техничка документација са склопним и радионичким цртежима, као и цртежима за монтажу.

Циљ прорачуна и конструкције овог редуктора јесте да се добије сличан модел редуктора као редуктор који производи компанија *Bonfiglioli*, која у свом асортиману производа има редуктор овоквог облика и конструкције, серија А редуктора.

Током израде овог рада, примењени су ISO и DIN стандарди. Такође, постигнуто је смањење димензија редуктора. Редуктор је модуларног типа тако да је могуће променити величину зупчаника, односно преносни однос зупчастог пара, што би променило укупан преносни однос редуктора. Вратила, као и други елементи редуктора конструисани су тако да постоји опсег преносног односа.

2. Редуктори

Под појмом редуктор подразумева се зупчасти или пужни преносник смештен у засебну кућицу. Задатак редуктора је да преноси снагу од погонске до радне машине уз одговарајућу промену обртног момента и броја обртаја. При том се брзина обртања умањује, редукује, [1].



Слика 1. Редуктор

Вратило редуктора којим се снага доводи у редуктор је улазно, а оно којим се одводи из редуктора је излазно вратило. При одређивању положаја улаза снаге у редуктор и излаза снаге из редуктора, редуктор се посматра у положају у коме је улазно вратило испред посматрача. Тада улаз снаге може бити с леве или с десне стране, или, понекад, и с леве и с десне стране. Ово важи и за излаз снаге који такође може бити само с леве стране, само с десне стране или са обе стране, [1].

2.1. Подела редуктора

2.1.1. Подела према типу редуктора

Према типу, редуктори се деле на редукторе са:

- паралелним осама вратила,
- вратилима чије се осе секу,
- вратилима чије се осе укрштају,
- вратилима чије се осе мимоилазе.

У засебну групу спадају планетарни редуктори и тзв, моторредуктори. Код моторредуктора мотор заједно са редуктором чини засебну погонску јединицу, [1].

2.1.2. Подела према положају излазног и улазног вратила

Према положају улазног и излазног вратила редуктори са паралелним осама вратила деле се на редукторе са вратилима у хоризонталној равни, са вратилима у вертикалној равни и у некој косој равни, [1].

Код редуктора са вратилима чије се осе секу, улазно вратило налази се обично у хоризонталној равни, док излазно вратило може бити у хоризонталној или вертикалној равни, [1].

Код редуктора са вратилима чије се осе укрштају, вратило пужа може бити испод, изнад или са стране пужног зупчаника. У прва два случаја вратило пужног зупчаника лежи у вертикалној равни, а у трећем у хоризонталној равни, [1].

Редуктори са паралелним осама вратилима могу имати улазно и излазно вратило с једним или са два улаза, односно излаза. Редуктори са вратилима чије се осе секу или укрштају имају само један улаз, а један или два излаза, [1].

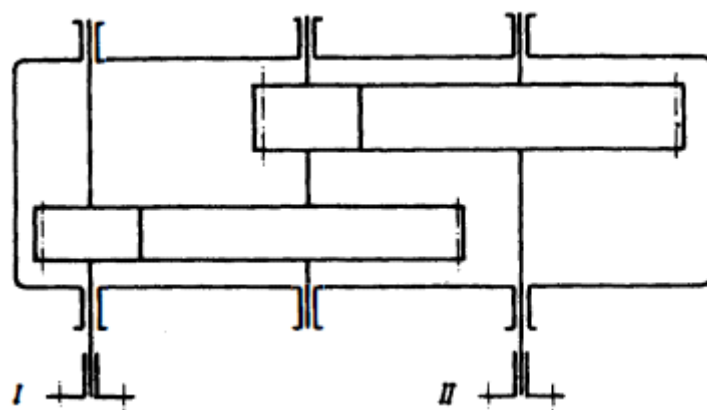
2.1.3. Подела према броју степени преноса

Према броју степена преноса редуктори могу бити једноступени, двоступени, троступени и вишеступени. Једноступени редуктори са паралелним осама вратила имају један пар цилиндричних зупчаника, а вишеступени више пари. Једноступени редуктор са вратилима чије се осе секу има један пар коничних зупчаника, вишеступени још и један или више пари цилиндричних зупчаника. Редуктори са вратилима чије се осе укрштају имају један пужни пар, ако су једноступени, а два пужна пара, ако су двоступени. Комбиновани двоступени редуктор има у свом склопу пужни и цилиндрични пар зупчаника. Планетарни редуктори могу такође бити једноступени и вишеступени, [1].

2.2. Конструктивни облици редуктора

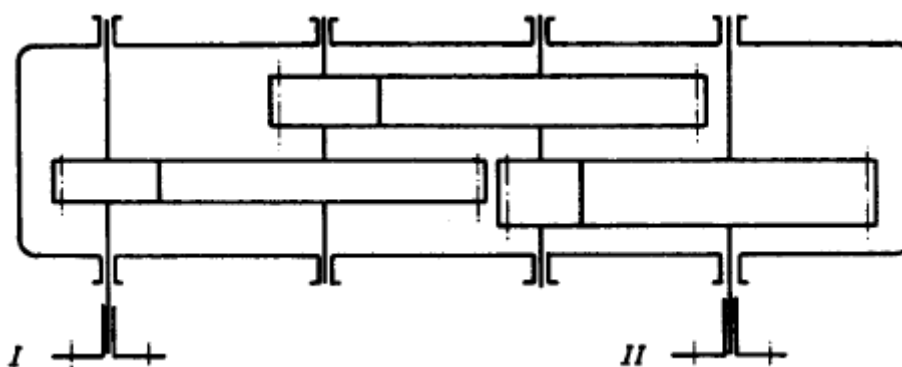
2.2.1. Редуктори са паралелним осама вратила

Погонски елементи редуктора са паралелним осама вратила су цилиндрични зупчаници с хеликоидним или са стреластим зупцима, ређе са правим зупцима. Двоступени редуктори са паралелним осама вратила изводе се у развученој констукцији (слика 2.). Наведене конструкције могу бити са гранањем снаге или без гранања снаге, [1].



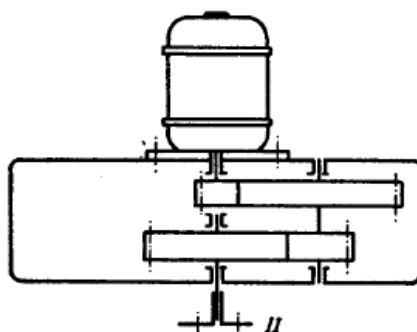
Слика 2. Двостепени редуктор развучене конструкције, [1]

Тростепени редуктори са паралелним осама вратила обично су развучене конструкције и то без гранања и са гранањем снаге (слика 3.), [1].



Слика 3. Тростепени редуктор са паралелним осама вратила развучене конструкције, [1]

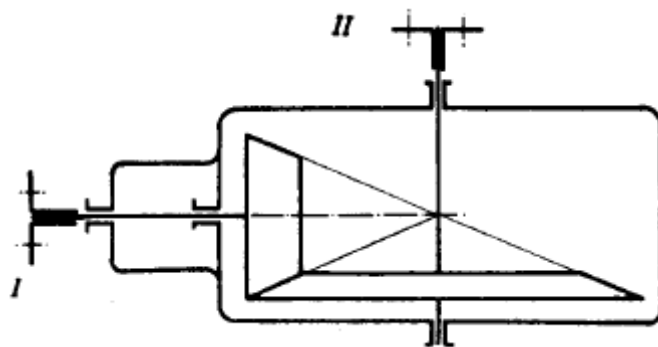
Код моторредуктора први предајни зупчаник учвршћен је на вратилу електромотора, док су остали зупчаници на својим вратилима у кућишту редуктора (слика 4.). Мотор и кућиште редуктора центрирани су и спојени завртњима у једну целину, [1].



Слика 4. Моторредуктор, [1]

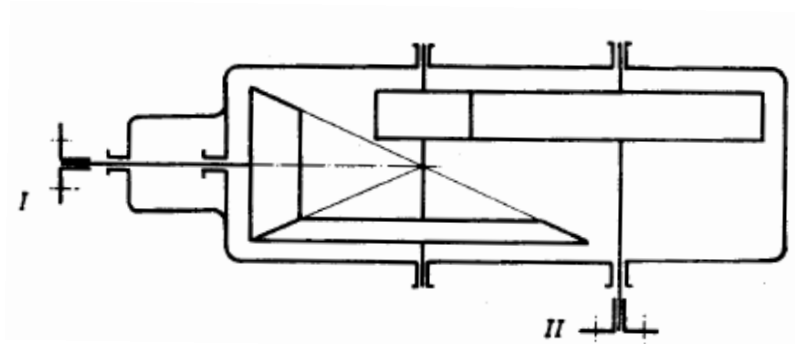
2.2.2. Редуктори са вратилима чије се осе секу под углом од 90°

Једноступени редуктор са вратилима чије се осе секу приказан је на слици 5, док су на сликама 6 и 7 приказани редуктори са два, односно три степена преноса. Код свих ових редуктора оса улазног вратила уједно је и подужна оса кућишта редуктора. Ова оса дели кућиште редуктора на два симетрична дела.

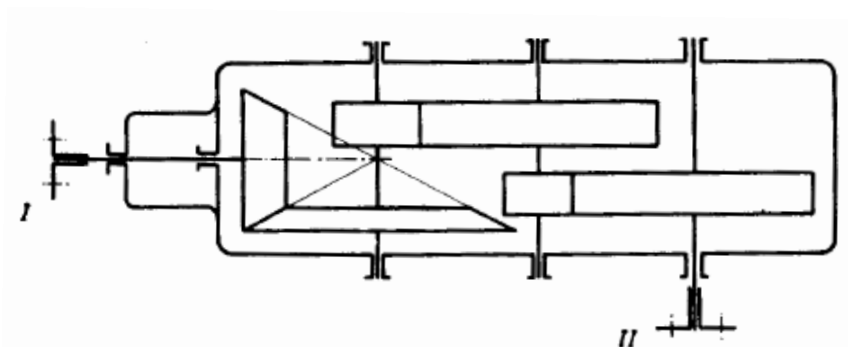


Слика 5. Једноступени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]

Овако решење омогућује произвољан смештај пријемног зупчаника на његовом вратилу, с леве или с десне стране предајног зупчаника (слика 9.).



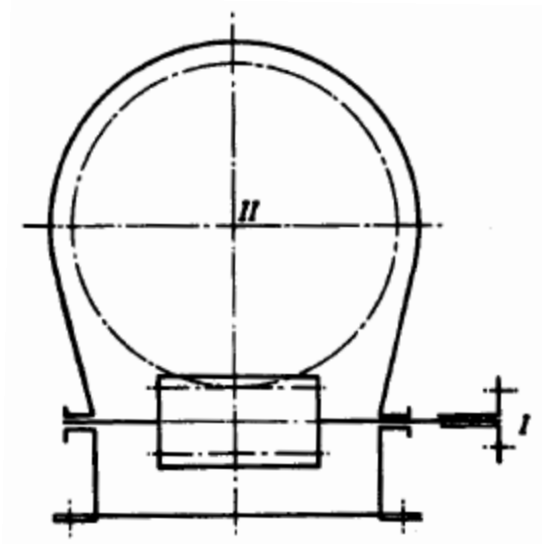
Слика 6. Двоступени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]



Слика 7. Троступени редуктор са вратилима чије се осе секу, [1]

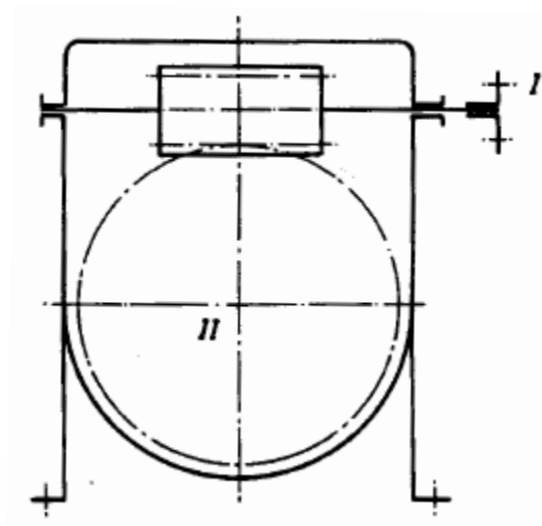
2.2.3. Редуктори са вратилима чије се осе укрштају

Једностепени редуктор са пужним завртњем испод пужног зупчаника приказан је на слици 8. Варијанта оваквог преносника са пужним завртњем изнад пужног зупчаника види се на слици 9, а са пужним зупчаником са стране пужног завртња слици 10, [1].

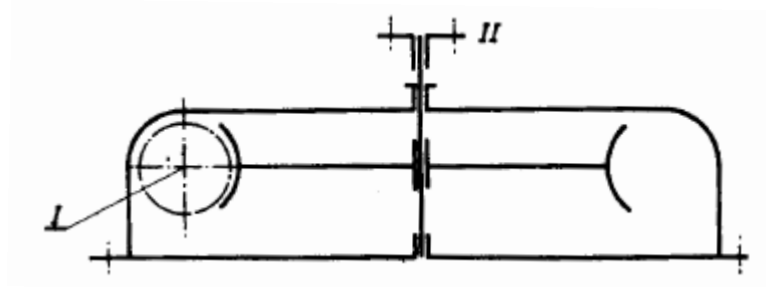


Слика 8. Пужни редуктор са пужним завртњем испод пужног зупчаника, [1]

Двостепени пужни редуктор код кога је у првом степену преноса пужни завртањ испод пужног зупчаника, а у другом изнад пужног зупчаника приказан је на слици 11.

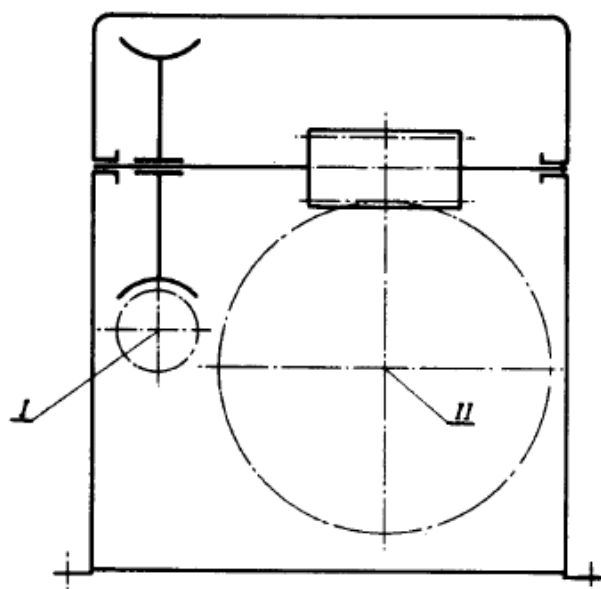


Слика 9. Пужни редуктор са пужним завртњем изнад пужног зупчаника, [1]



Слика 10. Пужни редуктор са пужним завртњем са стране пужног зупчаника, [1]

Пужни редуктори израђују се и у комбинацији са цилиндричним паром зупчаника. Тада је обично први степен преноса израђен са пужним паром, а други са цилиндричним паром зупчаника. Овакав редуктор назива се комбинованим, [1].



Слика 11. Комбиновани двостепени редуктор, [1]

3. Зупчасти преносници, вратила и котрљајни лежаји

3.1. Зупчасти преносници

Зупчасти преносници преносе кретање и обртни момент са једног вратила на друго помоћу тзв. везе обликом, коју чине спрега зубаца зупчаника. При томе се врши и одређена трансформација броја обртаја и обртног момента. Најједноставнији зупчасти преносник састоји се од два зупчаника у спреси који чине зупчасти пар. Један од ова два зупчаника је погонски, а други гоњени. Погонски зупчаник преноси кретање и обртни момент на гоњени зупчаник. Зупчаници који чине зупчасти пар називају се спрегнути зупчаници, [2].

Према међусобном положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника разликују се:

- 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.



Слика 12. Цилиндрични зупчасти пар

Према облику зубаца, зупчаници могу да бити са правим, косим, стреластим и завојним (кривим) зупцима.

Цилиндрични зупчасти парови се деле на:

- Спољашње,
- Равне и
- Унутрашње

Подела коничних зупчаника извршена је на:

- Коничне зупчанике са правим зупцима,
- Коничне зупчанике са косим зупцима,
- Коничне зупчанике са завојним зупцима.

Хиперболоидни зупчасти парови се разврставају у три групе:

- Цилиндрични зупчаници са хиперболоидним зупцима за мимоилазна вратила,
- Хипоидни зупчасти парови и
- Пужни парови.

3.2. Вратила

Вратила су носачи обртних машинских делова као што су: зупчаници, каишници, ланчаници, фрикциони точкови, спојнице и др. Вратила се најчешће обрћу, а ретко осцилију. Омогућавају обртање делова који се налазе на њима, спајање у функционалну целину и преношење оптерећења. За разлику од осовина, вратила, поред уздужних и попречних сила преносе и снагу, односно обртни момент, па су изложена споженом напрезању, [2].



Слика 13. Вратило

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

Код правих вратила геометријска оса вратила је права линија. То су вратила ротационих мотора (гасни, хидраулични, парни мотори), вратила на радним машинама (алатне машине, пумпе, компресори) и трансмисиона вратила (преносна, посредна вратила), [2].

Основни облик правих вратила је: цилиндрични облик са променљивим пресеком по дужини – степенести облик. Изузетно је попречни пресек константан по целој дужини вратила. То су тзв. глатка вратила. Код неких вратила делови могу бити израђени изједна са вратилом, на пример, вратило израђено изједна са зупчаником, [2].

Поред кружног попречног пресека, вратила могу бити: ожлебљена, троугаоног попречног пресека или другог профилисаног облика. Ожлебљена вратила се примењују у градњи машина алатки, локомотива, трактора, аутомобилских и авионских мотора и уређаја. Користе се за већа оптерећења и аксијално померање дуж вратила. Применом вратила троугластог попречног профила ублажава се концентрација напона присутна код вратила. Таква вратила се примењују, такође, код машина алатки, [2].

3.3. Котрљајни лежаји

Котрљајни лежаји су машински склопови који се најчешће уграђују у ослонце вратила и осовина. Често се за котрљајни лежај користи само израз – лежај. Основна улога лежаја ја је преношење оптерећења са покретних на непокретне делове машина и обезбеђење услова за релативно кретање обртних делова, [2].



Слика 14. Котрљајни лежаји

Лежаји се уграђују и између других релативно покретних делова, на пример између обртних главчина и вратила и др. Према томе, лежаји преносе само силе, а не и обртне моменте. Котрљајни лежаји су стандардни елементи и производе се у специјализованим фабрикама. Стандардима су прописани облици и мере, називи и начин означавања, материјал, квалитет радних површина, начин контроле и уградње и др., [2].

Котрљајни лежаји се састоје од прстенова или колутова, котрљајних тела и кавеза (држача котрљајних тела). Котрљајна тела су смештена између спољашњег и унутрашњег прстена, код прстенастих лежаја, односно између колутова код колутних лежаја. Код колутних лежаја један колут је чврсто наглављен на вратило и окреће се заједно са њим. Други колут је углављен у кућици лежаја и непокретан је. У прстеновима и колутима уграђени су жлебови, тзв. стазе котрљања по којима се крећу котрљајна тела. Радијус кривине жлебова је нешто већи од радијуса кривине котрљајних тела. По правилу, прстенасти лежаји служе за преношење радијалних сила, а могу се применити и у случају радијалних и аксијалних сила. Колутни лежаји служе за пренос аксијалних сила. Прстенови, колутови и котрљајна тела се израђују од челика легираног хромом. За кавезе се најчешће користи челични лив, лаки метали, полимиди, фенопласти и др., [2].

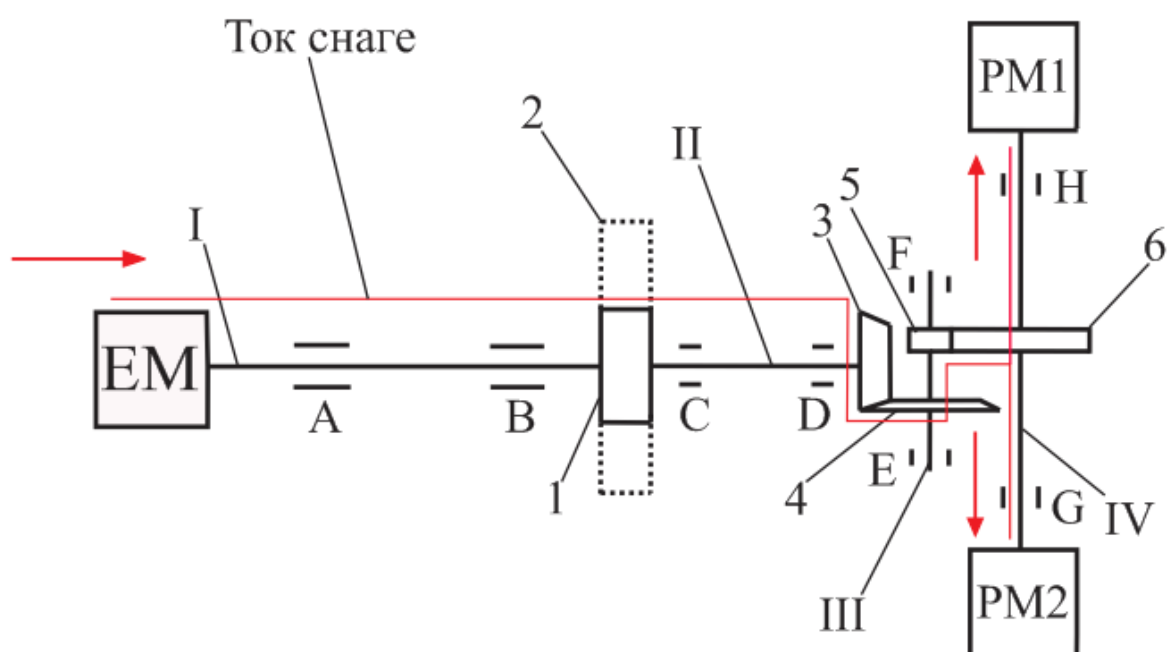
Према правцу дејства сила (спољашњег оптерећења) разликују се радијални, аксијални и радијално-аксијални лежаји. Код радијалних и радијално-аксијалних лежаја (лежаји за радијално и аксијално оптерећење), котрљајна тела се котрљају између прстенова. Због тога се називају и прстени (прстенасти) лежаји. Код аксијалних лежаја котрљајна тела се котрљају између колутова па се називају колутни лежаји, [2].

Аксијални лежаји могу да преносе аксијалну силу само у једном или оба смера, па се разликују једносмерни и двосмерни котрљајни лежаји. Лежаји могу имати један ред котрљајних тела (једноредни лежаји) или два реда (дворедни), без обзира на облик котрљајних тела, [2].

4. Прорачун стандардних елемената редуктора

4.1. Шема редуктора

Редуктор пројектован у оквиру овог мастер рада се састоји из три степена преноса. Први степен преноса чини цилиндрични зупчасти пар са косим зупцима (слика 15), ознака 1 и 2, други степен преноса је конични зупчасти пар са косим зупцима, ознака 3 и 4 (слика 15), док трећи преносни однос чини, такође, цилиндрични зупчасти пар са косим зупцима, ознака 5 и 6 (слика 15).

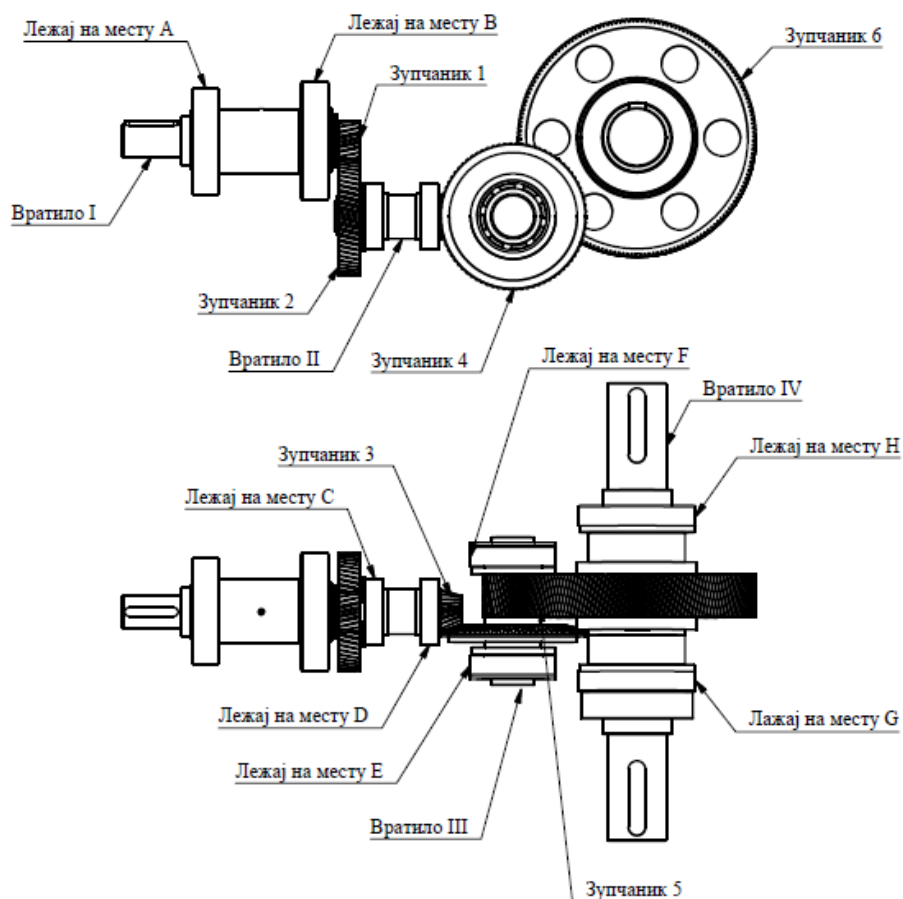


Слика 15. Шема редуктора (поглед одозго)

На слици 15, приказана су вратила која су означена са I, II, III и IV. Поред ознака вратила на слици 15, приказан је ток снаге редуктора. Може се уочити да вратила I и II леже у вертикалној равни, док су вратила III и IV у хоризонталној равни. Разлог због кога су вратила III и IV у вертикалној равни је коничан пар зупчаника који граде угао од 90° и самим тим осе вратила се секу.

Такође, на слици 15, види се да је оса улазног вратила уједно и подужна оса редуктора. Поред тога, овај редуктор има и гранање снаге како с десне тако и с леве стране. Излазно вратило редуктора представља вратило IV. Вратила I, II, III и IV су улежиштена на одговарајућим местима са лежајима одговарајуће серије.

Слика 16, показује редуктор у две равни. На слици 16, можемо видети све стандардне елементе редуктора.



Слика 16. Скица редуктора у две равни

4.2. Подаци за прорачун

Усвојени подаци за прорачун редуктора су:

- Снага ЕМ: $P_{EM} = 3 \text{ kW}$
- Број обртаја ЕМ: $n_{EM} = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Прености однос: $i = 45$
- Фактор радних услова: $K_A = 1,2$
- Радни век редуктора: $L_h = 20000h$
- Степен искоришћења зупчастих парова: $\eta = 0,98$
- Угао нагиба профила алата: $\alpha = 20^\circ$

4.2.1. Прорачун параметара снаге – кретања

Преносни односи:

- Преносни однос зупчаног пара 1-2: $i_{1-2} = 3,15$
- Преносни однос зупчаног пара 3-4: $i_{3-4} = 3,55$
- Преносни однос зупчаног пара 5-6: $i_{5-6} = 4$

Укупна преносни однос преносника:

$$i = i_{1-2} \cdot i_{3-4} \cdot i_{5-6} = 3,15 \cdot 3,55 \cdot 4 = 44,73$$

Степен искоришћења:

- Степен искоришћења зупчасног пара 1-2: $\eta_{1-2} = 0,98$
- Степен искоришћења зупчасног пара 3-4: $\eta_{3-4} = 0,98$
- Степен искоришћења зупчасног пара 5-6: $\eta_{5-6} = 0,98$

Укупан степен искоришћења преносника:

$$\eta = \eta_{1-2} \cdot \eta_{3-4} \cdot \eta_{5-6} = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,94$$

Снаге на појединим елементима преносника:

- Снага ЕМ: $P_{EM} = 3 \text{ kW}$
- Зупчаник 1: $P_1 = P_{EM} = 3 \text{ kW}$
- Зупчаник 2: $P_2 = P_1 \cdot \eta_{1-2} = 3 \cdot 0,98 = 2,940 \text{ kW}$
- Зупчаник 3: $P_3 = P_2 = 2,940 \text{ kW}$
- Зупчаник 4: $P_4 = P_3 \cdot \eta_{3-4} = 2,940 \cdot 0,98 = 2,881 \text{ kW}$
- Зупчаник 5: $P_5 = P_4 = 2,881 \text{ kW}$
- Зупчаник 6: $P_6 = P_5 \cdot \eta_{5-6} = 2,881 \cdot 0,98 = 2,823 \text{ kW}$
- Радна машина: $P_{RM} = P_6 = 2,823 \text{ kW}$

Укупни губитак снаге:

$$P_g = P_{EM} - P_{RM} = 3 - 2,823 = 0,177 \text{ kW}$$

Бројеви обртаја:

- Број обртаја ЕМ: $n_{EM} = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Зупчаник 1: $n_1 = n_{EM} = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Вратило I: $n_I = n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Зупчаник 2: $n_2 = \frac{n_1}{i_{1-2}} = \frac{1400}{3,15} = 444,45 \text{ min}^{-1}$
- Зупчаник 3: $n_3 = n_2 = 444,45 \text{ min}^{-1}$
- Вратило II: $n_{II} = n_3 = n_2 = 444,45 \text{ min}^{-1}$

- Зупчаник 4: $n_4 = \frac{n_3}{i_{3-4}} = \frac{444,45}{3,55} = 125,2 \text{ min}^{-1}$
- Зупчаник 5: $n_5 = n_4 = 125,2 \text{ min}^{-1}$
- Вратило III: $n_{III} = n_5 = n_4 = 125,2 \text{ min}^{-1}$
- Зупчаник 6: $n_6 = \frac{n_5}{i_{5-6}} = \frac{125,2}{4} = 31,3 \text{ min}^{-1}$
- Вратило IV: $n_{IV} = n_6 = 31,3 \text{ min}^{-1}$
- Број обртаја РМ: $n_{RM} = n_{IV} = n_6 = 31,3 \text{ min}^{-1}$

Угаоне брзине:

- Угаона брзина ЕМ: $\omega_{EM} = \frac{\pi \cdot n_{EM}}{30} = \frac{\pi \cdot 1400}{30} = 146,6 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 1: $\omega_{EM} = \omega_1 = 146,6 \text{ s}^{-1}$
- Вратило I: $\omega_I = \omega_{EM} = \omega_1 = 146,6 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 2: $\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{\pi \cdot 444,45}{30} = 46,5 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 3: $\omega_3 = \omega_2 = 46,5 \text{ s}^{-1}$
- Вратило II: $\omega_{II} = \omega_3 = \omega_2 = 46,5 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 4: $\omega_4 = \frac{\pi \cdot n_4}{30} = \frac{\pi \cdot 125,2}{30} = 13,11 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 5: $\omega_5 = \omega_4 = 13,11 \text{ s}^{-1}$
- Вратило III: $\omega_{III} = \omega_5 = \omega_4 = 13,11 \text{ s}^{-1}$
- Зупчаник 6: $\omega_6 = \frac{\pi \cdot n_5}{30} = \frac{\pi \cdot 31,3}{30} = 1,63 \text{ s}^{-1}$
- Вратило IV: $\omega_{IV} = \omega_6 = 1,63 \text{ s}^{-1}$
- Угаона брзина РМ: $\omega_{RM} = \omega_{IV} = \omega_6 = 1,63 \text{ s}^{-1}$

Обртни моменти:

- Обртни момент ЕМ: $T_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_{EM}} = \frac{3 \cdot 10^3}{146,6} = 20,463 \text{ Nm}$
- Зупчаник 1: $T_1 = T_{EM} = 20,463 \text{ Nm}$
- Вратило I: $T_I = T_1 = T_{EM} = 20,463 \text{ Nm}$
- Зупчаник 2: $T_2 = T_1 \cdot i_{1-2} \cdot \eta_{1-2} = 20,463 \cdot 3,15 \cdot 0,98 = 63,169 \text{ Nm}$
- Зупчаник 3: $T_3 = T_2 = 63,169 \text{ Nm}$
- Вратило II: $T_{II} = T_3 = T_2 = 63,169 \text{ Nm}$
- Зупчаник 4: $T_4 = T_3 \cdot i_{3-4} \cdot \eta_{3-4} = 63,169 \cdot 3,55 \cdot 0,98 = 219,764 \text{ Nm}$
- Зупчаник 5: $T_5 = T_4 = 219,764 \text{ Nm}$
- Вратило III: $T_{III} = T_5 = T_4 = 219,764 \text{ Nm}$

- Зупчаник 6: $T_6 = T_5 \cdot i_{5-6} \cdot \eta_{5-6} = 219,764 \cdot 4 \cdot 0,98 = 861,474 \text{ Nm}$
- Вратило IV: $T_{IV} = T_6 = 861,474 \text{ Nm}$
- Обрни момент РМ: $T_{RM} = T_{IV} = T_6 = 861,474 \text{ Nm}$

4.3. Прорачун зупчастих парова

4.3.1. Прорачун зупчастог пара 1-2

Зупчасти пар 1-2 чине цилиндрични зупчаници са косим зупцима. Преносни однос овог зупчастог пара је усвојен и износи $i_{1-2} = 3,15$. Снага која долази на погонски зупчаник износи $P_{1-2} = 3 \text{ kW}$, као и улазни број обртаја $n_{ul} = 1400 \text{ min}^{-1}$. Материјал зупчастог пара 1-2 је 14NiCr18 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке Č5427. За смер нагиба бочне линије зупчаника 1 усвојен је леви нагиб, па је самим тим смер нагиба бочне линије зупчаника 2 десни.

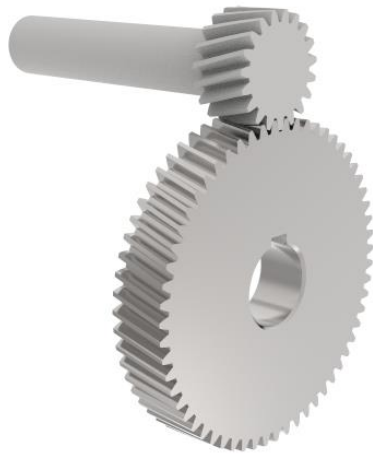
Уношењем података у софтвер *Autodesk Inventor* у модул *Design Accelerator* добија се прорачун зупчастог пара 1-2 (прилог 1.). У прилогу 1, можемо видети све потребне податке за зупчасти пар 1-2.

Најбитнији подаци за зупчасти пар 1-2, могу се видети у табели 1.

Табела 1. Подаци за зупчасти пар 1-2

Стандардни модул	m	mm	1,750
Модул у чеоној равни	m_t	mm	1,812
Угао нагиба профила алата	α	step	20
Угао нагиба бочне линије	β	step	15
Подеони корак	p	mm	5,498
Осно растојање	a	mm	70,658
Број зубаца зупчаника 1	z_1		19
Број зубаца зупчаника 2	z_2		59

Након прорачуна, добија се модел спрегнутих зупчаника (слика 17).



Слика 17. *Зупчасти пар 1-2*

На слици 17, може се уочити да је зупчаник 1, због своје величине, израђен изједна са вратилом I. Зупчаник 2 повезан је са вратилом II помоћу клина.

Spur Gears Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

⊞ Project Info

⊞ Guide

Design Guide - Module and Number of Teeth

Unit Corrections Guide - User

Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Method of Strength Calculation - DIN 3990:1988

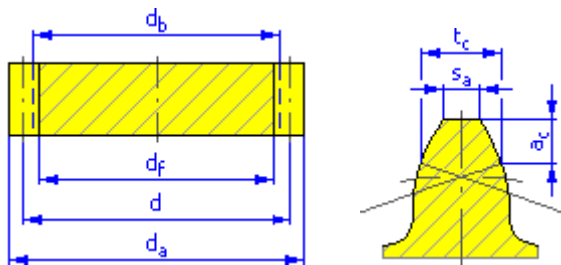
⊞ Common Parameters

Gear Ratio	i	3.1053 ul
Desired Gear Ratio	i _{in}	3.1500 ul
Module	m	1.750 mm
Helix Angle	β	15.0000 deg
Pressure Angle	α	20.0000 deg
Center Distance	a _w	71.000 mm
Product Center Distance	a	70.658 mm
Total Unit Correction	Σx	0.1989 ul
Circular Pitch	p	5.498 mm
Base Circular Pitch	p _{tb}	5.326 mm
Operating Pressure Angle	α _w	20.7702 deg
Tangential Pressure Angle	α _t	20.6469 deg
Tangential Operating Pressure Angle	α _{tw}	21.3682 deg
Base Helix Angle	β _b	14.0761 deg
Tangential Module	m _t	1.812 mm
Tangential Circular Pitch	p _t	5.692 mm
Contact Ratio	ε	2.4953 ul
Transverse Contact Ratio	ε _α	1.5538 ul
Overlap Ratio	ε _β	0.9415 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f _x	0.0100 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f _y	0.0050 mm

⊞ Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	19 ul	59 ul
Unit Correction	x	0.0000 ul	0.1989 ul
Pitch Diameter	d	34.423 mm	106.892 mm
Outside Diameter	d _a	37.911 mm	111.077 mm
Root Diameter	d _f	30.048 mm	103.214 mm
Base Circle Diameter	d _b	32.212 mm	100.027 mm
Work Pitch Diameter	d _w	34.590 mm	107.410 mm
Facewidth	b	20.000 mm	20.000 mm

Facewidth Ratio	b_f	0.5810 ul	0.1871 ul
Addendum	a^*	1.0000 ul	1.0000 ul
Clearance	c^*	0.2500 ul	0.2500 ul
Root Fillet	r_f^*	0.3500 ul	0.3500 ul
Tooth Thickness	s	2.749 mm	3.002 mm
Tangential Tooth Thickness	s_t	2.846 mm	3.108 mm
Chordal Thickness	t_c	2.427 mm	2.651 mm
Chordal Addendum	a_c	1.303 mm	1.610 mm
Chordal Dimension	W	13.430 mm	40.581 mm
Chordal Dimension Teeth	z_w	3.000 ul	8.000 ul
Dimension Over (Between) Wires	M	38.407 mm	111.666 mm
Wire Diameter	d_M	3.000 mm	3.000 mm
Limit Deviation of Helix Angle	F_β	0.0100 mm	0.0110 mm
Limit Circumferential Run-out	F_r	0.0160 mm	0.0210 mm
Limit Deviation of Axial Pitch	f_{pt}	0.0070 mm	0.0075 mm
Limit Deviation of Basic Pitch	f_{pb}	0.0066 mm	0.0070 mm
Virtual Number of Teeth	z_v	20.907 ul	64.921 ul
Virtual Pitch Diameter	d_n	36.587 mm	113.613 mm
Virtual Outside Diameter	d_{an}	40.076 mm	117.797 mm
Virtual Base Circle Diameter	d_{bn}	34.381 mm	106.761 mm
Unit Correction without Tapering	x_z	0.4708 ul	-0.7974 ul
Unit Correction without Undercut	x_p	-0.2031 ul	-2.7775 ul
Unit Correction Allowed Undercut	x_d	-0.3731 ul	-2.9474 ul
Addendum Truncation	k	0.0033 ul	0.0033 ul
Unit Outside Tooth Thickness	s_a	0.6967 ul	0.7598 ul
Tip Pressure Angle	α_a	31.4358 deg	25.2722 deg



⊞ Loads

		Gear 1	Gear 2
Power	P	3.000 kW	2.940 kW
Speed	n	1400.00 rpm	450.85 rpm
Torque	T	20.463 N m	62.271 N m
Efficiency	η	0.980 ul	
Radial Force	F_r	462.921 N	
Tangential Force	F_t	1183.170 N	
Axial Force	F_a	317.030 N	
Normal Force	F_n	1310.048 N	
Circumferential Speed	v	2.523 mps	
Resonance Speed	n_{E1}	36499.623 rpm	

⊞ Material

		Gear 1	Gear 2
		14NiCr18	14NiCr18
Ultimate Tensile Strength	S_u	1130 MPa	1130 MPa
Yield Strength	S_y	885 MPa	885 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0.300 ul	0.300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{Flim}	740.0 MPa	740.0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{Hlim}	1330.0 MPa	1330.0 MPa
Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	650 ul	650 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_F	9.0 ul	9.0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10.0 ul	10.0 ul
Type of Treatment	type	4 ul	4 ul

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1.200 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1.044 ul	1.044 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	1.413 ul	1.270 ul
Transverse Load Factor	$K_{H\alpha}$	1.256 ul	1.256 ul
One-time Overloading Factor	K_{AS}	1.000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189.812 ul	
Zone Factor	Z_H	2.380 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0.808 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1.007 ul	1.000 ul
Life Factor	Z_N	1.000 ul	1.000 ul
Lubricant Factor	Z_L	0.967 ul	
Roughness Factor	Z_R	1.000 ul	
Speed Factor	Z_v	0.968 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0.983 ul	
Size Factor	Z_X	1.000 ul	1.000 ul
Work Hardening Factor	Z_W	1.000 ul	

Factors for Bending

Form Factor	Y_{Fa}	2.781 ul	2.183 ul
Stress Correction Factor	Y_{Sa}	1.573 ul	1.839 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y_{Sag}	1.000 ul	1.000 ul
Helix Angle Factor	Y_β	0.882 ul	
Contact Ratio Factor	Y_ϵ	0.704 ul	
Alternating Load Factor	Y_A	1.000 ul	1.000 ul
Production Technology Factor	Y_T	1.000 ul	1.000 ul

Life Factor	Y_N	1.000 ul	1.000 ul
Notch Sensitivity Factor	Y_δ	1.307 ul	1.353 ul
Size Factor	Y_X	1.000 ul	1.000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y_R	1.000 ul	

Results

Factor of Safety from Pitting	S_H	1.533 ul	1.544 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	5.268 ul	5.942 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	3.147 ul	3.168 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	10.078 ul	10.980 ul
Check Calculation	Positive		

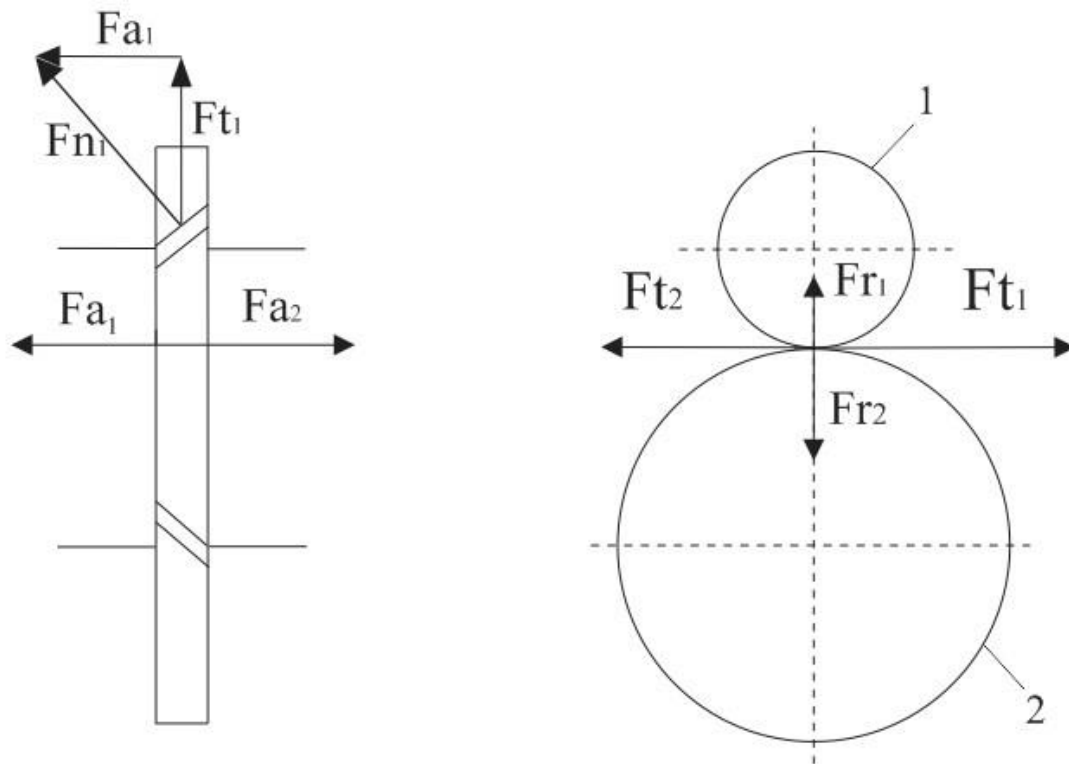
Summary of Messages

1:48:04 PM Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than the Unit Correction without Tapering (x_z)

1:48:04 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

4.3.1.1. Анализа сила на зупчастом пару 1-2

На зупчасти пар 1-2, делују аксијална сила F_a , радијална сила F_r , као и обимна сила F_t .



Слика 18. Анализа сила на зупчастом пару 1-2

Дејство ових сила може се видети на слици 18. Аксијална сила F_{a1} код зупчаника 1 делује у приказаном смеру, док аксијална сила F_{a2} има супротан смер од аксијалне силе F_{a1} , слика 18. Интезитет ових сила је исти и његова вредност може се видети у прилогу 1. Правац радијале силе F_{r1} на зупчанику 1 је од тачке спрезања ка центру зупчаника 1 (слика 17), док је смер радијалне силе F_{r2} супротан у односу на зупчаник 1. Правац обимне силе код зупчаника 1 (погонски зупчаник) је супротног смера од смера обртања и то је сила F_{t1} . Код зупчаника 2 (гоњени зупчаник), смер обимне силе је у смеру обртања зупчаника, сила F_{t2} . Интезитети радијалних и обимних сила дати су у прилогу 1.

Смер, као и интезитет ових сила има утицај на прорачун вратила I и II. Вредности ових сила и њени интезитети преносе се на вратило I и II.

4.3.2. Прорачун зупчастог пара 3-4

Зупчаници 3 и 4 представљају зупчасти пар 3-4. Овај зупчасти пар чине конични зупчаници са косим зупцима. Преносни однос зупчастог пара 3-4 је усвојен и износи $i_{3-4} = 3,55$. Снага која долази на зупчаник 3 је иста снага као на зупчанику 2 и износи $P_3 = 2,940 \text{ kW}$. Број обртаја који долази на зупчаник 3 износи $n_3 = 450,85 \text{ min}^{-1}$. Материјал од кога је израђен зупчасти пар је 14NiCr18 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке C5427. Смер нагиба бочне линије зупчаника 3 је леви, а зупчаника 4 десни.

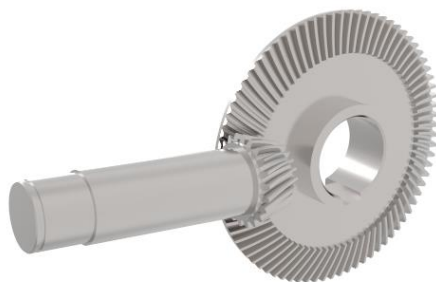
Ови подаци се уносе у софтвер *Autodesk Inventor* у модул *Design Accelerator* где се добија прорачун зупчастог пара 3-4 (прилог 2).

Подаци који су најбитнији за зупчасти пар 3-4, представљени су у табели 2.

Табела 2. Подаци за зупчасти пар 3-4

Модул у спољ. чеоној равни	mm	m_{et}	1,750
Модул	mm	m	1,706
Угао нагиба профила алата	step	α	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Осни угао	step	Σ	90
Број зубаца зупчаника 3		z_3	78
Број зубаца зупчаника 4		z_4	22

Такође, у прилогу 2 налази се целокупан прорачун зупчастог пара 3-4. Након прорачуна добија се модел зупчастог пара 3-4 (слика 18).



Слика 19. Зупчасти пар 3-4

На слици 19, може се видети да је зупчаник 3 израђен изједна са вратилом II. На вратилу II налази се и зупчаник 2. Зупчаник 4 поставља се на вратило III помоћу клина.

Bevel Gears Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Unit Corrections Guide - User

Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Method of Strength Calculation - DIN 3991:1988

Common Parameters

Gear Ratio	i	3.5500 ul
Tangential Module	m_{et}	1.750 mm
Helix Angle	β	15.00 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	20.0000 deg
Shaft Angle	Σ	90.00 deg
Normal Pressure Angle at End	α_{ne}	19.5378 deg
Normal Pressure Angle in Middle Plane	α_{nm}	19.3701 deg
Base Helix Angle	β_b	14.1327 deg
Helix Angle at End	β_e	12.8454 deg
Module	m	1.706 mm
Contact Ratio	ϵ	2.7254 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_α	1.7609 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	0.9646 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0.0100 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0.0050 mm
Virtual Gear Ratio	i_v	12.570 ul
Equivalent Center Distance	a_v	233.144 mm
Virtual Center Distance	a_n	249.883 mm
Pitch Cone Radius	R_e	70.913 mm
Pitch Cone Radius in Middle Plane	R_m	60.913 mm

Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	22.000 ul	78 ul
Unit Correction	x	0.000 ul	-0.0000 ul
Tangential Displacement	x_t	0.0000 ul	-0.0000 ul
Pitch Diameter at End	d_e	38.500 mm	136.500 mm
Pitch Diameter in Middle Plane	d_m	33.071 mm	117.251 mm
Outside Diameter at End	d_{ae}	41.869 mm	137.450 mm
Outside Diameter at Small End	d_{ai}	30.060 mm	98.684 mm
Root Diameter at End	d_{fe}	34.458 mm	135.360 mm
Vertex Distance	A_e	67.775 mm	17.566 mm
Vertex Distance at Small End	A_i	48.660 mm	12.612 mm

Normal Force	F_n	4132.702 N	
Radial Force (direction 1)	F_{r1}	1045.292 N	1343.273 N
Radial Force (direction 2)	F_{r2}	1593.140 N	-599.100 N
Axial Force (direction 1)	F_{a1}	1343.273 N	1045.292 N
Axial Force (direction 2)	F_{a2}	-599.100 N	1593.140 N
Circumferential Speed	v	0.781 mps	
Resonance Speed	n_{E1}	34184.464 rpm	

Material

		Gear 1	Gear 2
		14NiCr18	14NiCr18
Ultimate Tensile Strength	S_u	1130 MPa	1130 MPa
Yield Strength	S_y	885 MPa	885 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0.300 ul	0.300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{Flim}	740.0 MPa	740.0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{Hlim}	1330.0 MPa	1330.0 MPa
Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	650 ul	650 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_F	9.0 ul	9.0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10.0 ul	10.0 ul
Type of Treatment	type	4 ul	4 ul

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1.200 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1.009 ul	1.009 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	1.266 ul	1.224 ul
Transverse Load Factor	$K_{H\alpha}$	1.126 ul	1.126 ul
One-time Overloading Factor	K_{AS}	1.000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189.812 ul	
Zone Factor	Z_H	2.457 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0.735 ul	
Bevel Gear Factor	Z_k	0.850 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1.003 ul	1.000 ul
Life Factor	Z_N	1.000 ul	1.000 ul
Lubricant Factor	Z_L	0.967 ul	
Roughness Factor	Z_R	1.000 ul	
Speed Factor	Z_v	0.952 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0.983 ul	
Size Factor	Z_X	1.000 ul	1.000 ul

☐ Factors for Bending

Form Factor	Y_{Fa}	2.906 ul	2.890 ul
Stress Correction Factor	Y_{Sa}	1.607 ul	1.820 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y_{Sag}	1.000 ul	1.000 ul
Helix Angle Factor	Y_{β}	0.879 ul	
Contact Ratio Factor	Y_{ϵ}	0.651 ul	
Bevel Gear Factor	Y_k	1.000 ul	
Alternating Load Factor	Y_A	1.000 ul	1.000 ul
Production Technology Factor	Y_T	1.000 ul	1.000 ul
Life Factor	Y_N	1.000 ul	1.000 ul
Notch Sensitivity Factor	Y_{δ}	1.359 ul	1.444 ul
Size Factor	Y_X	1.000 ul	1.000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y_R	1.000 ul	

☐ Results

Factor of Safety from Pitting	S_H	1.308 ul	1.312 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	1.739 ul	1.641 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	2.780 ul	2.788 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	3.199 ul	2.841 ul
Check Calculation	Positive		

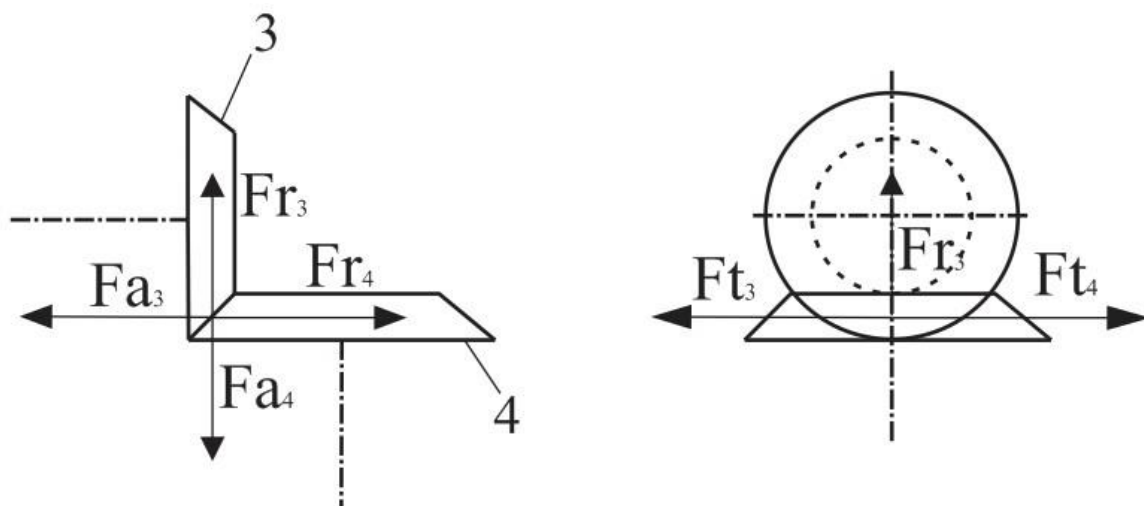
☐ Summary of Messages

1:49:08 PM Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than the Unit Correction without Tapering (x_z)

1:49:08 PM Design: Calculation indicates design compliance!

4.3.2.1. Анализа сила зупчастог пара 3-4

Као и код цилиндричних зупчаника и код коничних зупчаника делују аксијалне силе F_{a3} и F_{a4} , радијалне силе F_{r3} и F_{r4} и обимне силе F_{t3} и F_{t4} .



Слика 20. Анализа сила зупчастог пара 3-4

На слици 20, може се видети смер дејства ових сила. На зупчаник 3 делује аксијална сила F_{a3} у приказаном смеру, а у супротном смеру делује радијална сила F_{r4} зупчаника 4. Обимна сила F_{t3} зупчаника 3 делује у супротном смеру од смера обртања зупчаника 3, што се може видети на слици 20, док је смер дејства силе F_{t4} је у смеру обртања зупчаника 4. Интезитети ових сила могу се видети у прилогу 2.

Интезитет и смер дејства ових сила имају утицај на прорачун вратила II и III. Ове силе се пројектују на вратило II и III како би се прорачунала вратила.

4.3.3. Прорачун зупчастог пара 5-6

Зупчасти пар 5-6 чине цилиндрични зупчаници са косим зупцима. Преносни однос зупчастог пара 5-6 је усвојен и износи $i_{5-6} = 4$. Снага која долази на зупчаник 5 износи $P_5 = 2,881 \text{ kW}$. Број обртаја зупчаника 5 је $n_5 = 127,16 \text{ min}^{-1}$. Материјал од кога су израђени зупчаници 5 и 6 је 14NiCr18 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке С5427. Смер нагиба зупчаника 5 је као и код претходних погонских зупчаника леви, док је код зупчаника 6 десни нагиб.

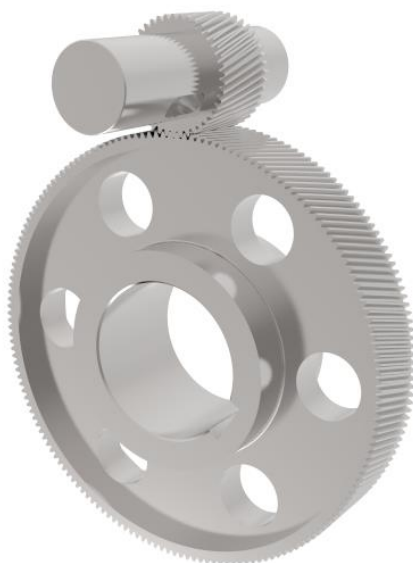
Ови подаци се уносе у софтвер *Autodesk Inventor* у модул *Design Accelerator* где се добија прорачун зупчастог пара 5-6 (прилог 3).

У табели 3, приказани су најбитнији подаци за зупчасти пар 5-6 који су издвојени из прорачуна зупчастог пара 5-6 (прилог 3).

Табела 3. Подаци за зупчасти пар 5-6

Стандардни модул	m	mm	1,250
Модул у чеоној равни	m_t	mm	1,294
Угао нагиба профила алата	α	step	20
Угао нагиба бочне линије	β	step	15
Подеони корак	p	mm	3,927
Осно растојање	a	mm	137,174
Број зубаца зупчаника 5	z_5		42
Број зубаца зупчаника 6	z_6		170

Целокупан прорачун овог зупчастог пара налази се у прилогу 3. Након прорачуна добија се модел зупчастог пара који се може видети на слици 21.



Слика 21. Зупчасти пар 5-6

На слици 21, може се уочити да је зупчаник 6 израђен изједна са вратилом III због своје величине. Зупчаник 4 се везује за вратило IV помоћу клина.

Spur Gears Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

- Design Guide - Number of Teeth
- Unit Corrections Guide - User
- Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed
- Type of Strength Calculation - Check Calculation
- Method of Strength Calculation - DIN 3990:1988

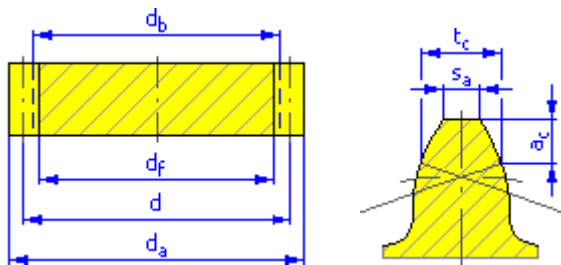
Common Parameters

Gear Ratio	i	4.0476 ul
Desired Gear Ratio	i _{in}	4.0000 ul
Module	m	1.250 mm
Helix Angle	β	15.0000 deg
Pressure Angle	α	20.0000 deg
Center Distance	a _w	137.500 mm
Product Center Distance	a	137.174 mm
Total Unit Correction	Σx	0.2629 ul
Circular Pitch	p	3.927 mm
Base Circular Pitch	p _{tb}	3.804 mm
Operating Pressure Angle	α _w	20.3824 deg
Tangential Pressure Angle	α _t	20.6469 deg
Tangential Operating Pressure Angle	α _{tw}	21.0043 deg
Base Helix Angle	β _b	14.0761 deg
Tangential Module	m _t	1.294 mm
Tangential Circular Pitch	p _t	4.066 mm
Contact Ratio	ε	4.3351 ul
Transverse Contact Ratio	ε _α	1.6988 ul
Overlap Ratio	ε _β	2.6363 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f _x	0.0120 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f _y	0.0060 mm

Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	42 ul	170 ul
Unit Correction	x	0.0000 ul	0.2629 ul
Pitch Diameter	d	54.352 mm	219.996 mm
Outside Diameter	d _a	56.847 mm	223.148 mm
Root Diameter	d _f	51.227 mm	217.528 mm
Base Circle Diameter	d _b	50.861 mm	205.866 mm
Work Pitch Diameter	d _w	54.481 mm	220.519 mm
Facewidth	b	40.000 mm	40.000 mm

Facewidth Ratio	b_f	0.7359 ul	0.1818 ul
Addendum	a^*	1.0000 ul	1.0000 ul
Clearance	c^*	0.2500 ul	0.2500 ul
Root Fillet	r_f^*	0.3500 ul	0.3500 ul
Tooth Thickness	s	1.963 mm	2.203 mm
Tangential Tooth Thickness	s_t	2.033 mm	2.280 mm
Chordal Thickness	t_c	1.734 mm	1.945 mm
Chordal Addendum	a_c	0.932 mm	1.222 mm
Chordal Dimension	W	21.108 mm	82.849 mm
Chordal Dimension Teeth	z_w	6.000 ul	22.000 ul
Dimension Over (Between) Wires	M	58.589 mm	224.974 mm
Wire Diameter	d_M	2.500 mm	2.500 mm
Limit Deviation of Helix Angle	F_β	0.0120 mm	0.0130 mm
Limit Circumferential Run-out	F_r	0.0210 mm	0.0280 mm
Limit Deviation of Axial Pitch	f_{pt}	0.0075 mm	0.0085 mm
Limit Deviation of Basic Pitch	f_{pb}	0.0070 mm	0.0080 mm
Virtual Number of Teeth	z_v	46.215 ul	187.062 ul
Virtual Pitch Diameter	d_n	57.769 mm	233.827 mm
Virtual Outside Diameter	d_{an}	60.264 mm	236.979 mm
Virtual Base Circle Diameter	d_{bn}	54.285 mm	219.726 mm
Unit Correction without Tapering	x_z	-0.2634 ul	-4.2631 ul
Unit Correction without Undercut	x_p	-1.6834 ul	-9.9213 ul
Unit Correction Allowed Undercut	x_d	-1.8533 ul	-10.0913 ul
Addendum Truncation	k	0.0022 ul	0.0022 ul
Unit Outside Tooth Thickness	s_a	0.7685 ul	0.8085 ul
Tip Pressure Angle	α_a	26.0441 deg	22.1165 deg



⊞ Loads

		Gear 1	Gear 2
Power	P	2.881 kW	2.823 kW
Speed	n	127.16 rpm	31.42 rpm
Torque	T	216.354 N m	858.203 N m
Efficiency	η	0.980 ul	
Radial Force	F_r	3049.466 N	
Tangential Force	F_t	7942.331 N	
Axial Force	F_a	2128.141 N	
Normal Force	F_n	8771.712 N	
Circumferential Speed	v	0.362 mps	
Resonance Speed	n_{E1}	10639.937 rpm	

⊞ Material

		Gear 1	Gear 2
		14NiCr18	14NiCr18
Ultimate Tensile Strength	S_u	1130 MPa	1130 MPa
Yield Strength	S_y	885 MPa	885 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0.300 ul	0.300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{Flim}	740.0 MPa	740.0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{Hlim}	1330.0 MPa	1330.0 MPa
Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	650 ul	650 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_F	9.0 ul	9.0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10.0 ul	10.0 ul
Type of Treatment	type	4 ul	4 ul

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1.200 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1.007 ul	1.007 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	1.352 ul	1.303 ul
Transverse Load Factor	$K_{H\alpha}$	1.154 ul	1.154 ul
One-time Overloading Factor	K_{AS}	1.000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189.812 ul	
Zone Factor	Z_H	2.402 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0.767 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1.000 ul	1.000 ul
Life Factor	Z_N	1.000 ul	1.102 ul
Lubricant Factor	Z_L	0.967 ul	
Roughness Factor	Z_R	1.000 ul	
Speed Factor	Z_v	0.945 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0.983 ul	
Size Factor	Z_X	1.000 ul	1.000 ul
Work Hardening Factor	Z_W	1.000 ul	

Factors for Bending

Form Factor	Y_{Fa}	2.363 ul	2.092 ul
Stress Correction Factor	Y_{Sa}	1.712 ul	1.950 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y_{Sag}	1.000 ul	1.000 ul
Helix Angle Factor	Y_β	0.875 ul	
Contact Ratio Factor	Y_ϵ	0.665 ul	
Alternating Load Factor	Y_A	1.000 ul	1.000 ul
Production Technology Factor	Y_T	1.000 ul	1.000 ul

Life Factor	Y_N	1.000 ul	1.000 ul
Notch Sensitivity Factor	Y_δ	1.391 ul	1.454 ul
Size Factor	Y_X	1.000 ul	1.000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y_R	1.000 ul	

Results

Factor of Safety from Pitting	S_H	1.206 ul	1.330 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	1.516 ul	1.571 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	2.537 ul	2.537 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	2.724 ul	2.701 ul
Check Calculation	Positive		

Summary of Messages

1:49:32 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

4.3.3.1. Прорачун основних димензија зупчаника 6

Због своје величине зупчаник 6 је потребно олакшати.

- Пречник главчине d_g

$$d_g = (1,2 \div 1,6) \cdot d_{vr} = 1,4 \cdot 80 = 112 \text{ mm}$$

- Пречник d_p

$$d_p = d_f - (5 \div 12) \cdot m = 217,528 - 8 \cdot 1,250 = 207,528 \text{ mm}$$

Усваја се: $d_p = 208 \text{ mm}$

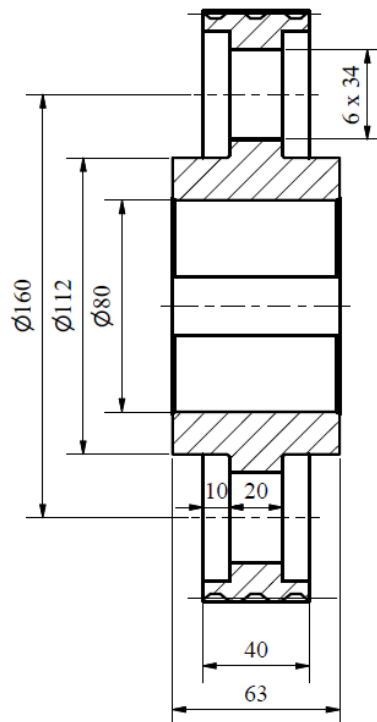
- Пречник по коме су распоређени отвори, D_o

$$D_o = 0,5 \cdot (d_g + d_p) = 0,5 \cdot (112 + 208) = 160 \text{ mm}$$

- Пречник отвора за олакшања, d_o

$$d_o = (0,1 \div 0,2) \cdot d_a = 0,15 \cdot 223,148 = 33,4722 \text{ mm}$$

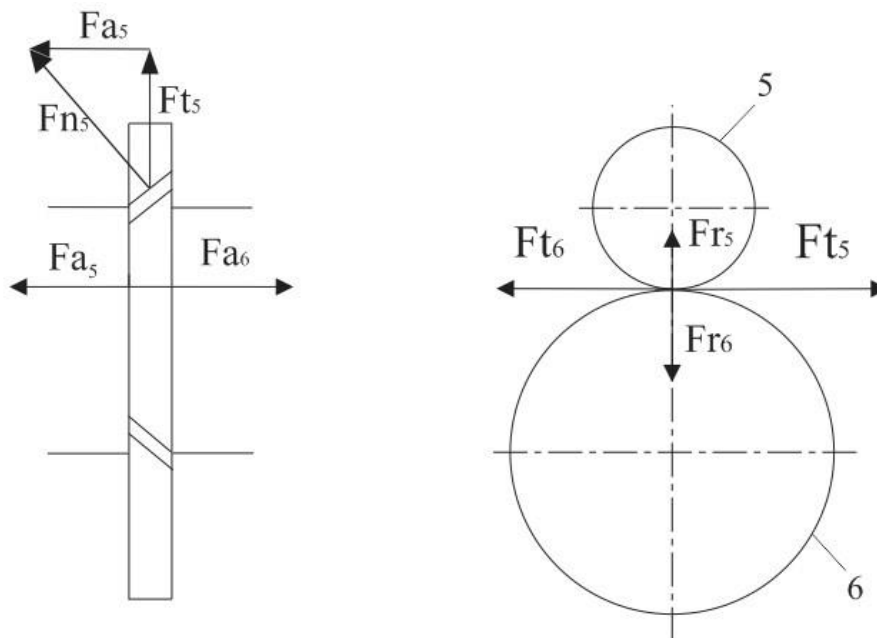
Усваја се: $d_o = 34 \text{ mm}$



Слика 22. Скица димензија олакшања зупчаника 6

4.3.3.2. Анализа сила на зупчастом пару 5-6

Као и код зупчастог пара 1-2 и код зупчастог пара 5-6 делују аксијалне силе F_{a5} и F_{a6} , радијалне силе F_{r5} и F_{r6} и обимне силе F_{t5} и F_{t6} .



Слика 23. Анализа сила на зупчастом пару 5-6

Слика 23, показује дејство сила на зупчаницима 5 и 6. Интезитети ових сила налазе се у прилогу 3.

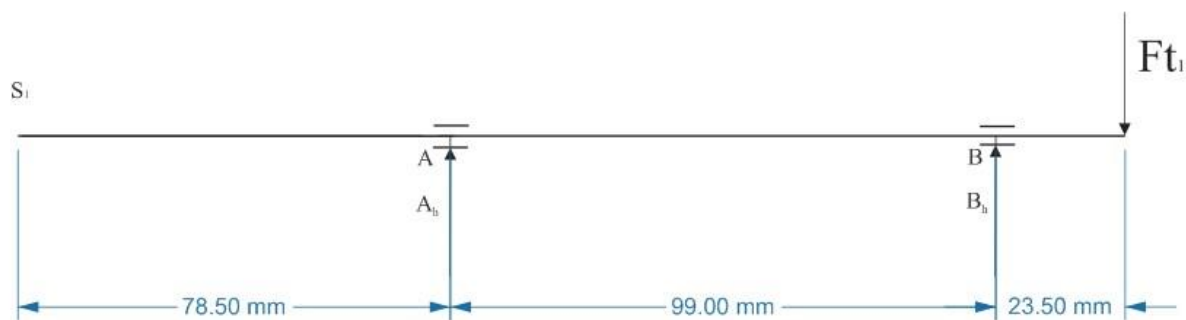
Интезитети и смерови ових сила преносе се на вратила III и IV како би се прорачунала вратила III и IV.

4.4. Прорачун вратила

4.4.1. Прорачун вратила I

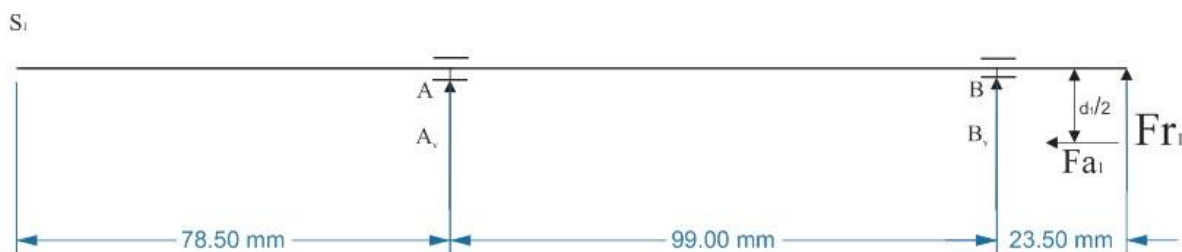
Вратило I је улазно вратило редуктора. Снага која долази на вратило I је $P_I = 3$ kW, док је број обртаја $n_I = 1400 \text{ min}^{-1}$. Материјал од кога је израђено вратило I је E335 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке Č0645.

На слици 24, приказан је распоред сила на вратилу I у хоризонталној равни (Н раван). Може се запазити да у хоризонталној равни на ово вратило делује само обимна сила пренета са зупчаника 1. У ослоњцима A и B делују отпори ослонаца A_h и B_h .



Слика 24. Вратило I “H” раван

Поред хоризонталне равни потребно је силе пројектовати и у вертикалној равни. Силе које делују у вертикалној равни (V раван) су радијална сила F_{r1} и аксијална сила F_{a1} која делује на половини подеоног пречника зупчаника 1. Аксијална сила F_{a1} прави момент савијања. Поред момента савијања на улазу вратила је и момент увијања. Такође, у ослонцима A и B делују отпори ослонаца A_v и B_v .



Слика 25. Вратило I “V” раван

У табели 4, налазе се вредности сила и момената која се преносе на вратило I.

Табела 4. Вредности сила и момената за вратило I

Назив	Ознака	Мерна јединица	Вредност
Аксијална сила на зупчанику 1	F_{a1}	N	1183,170
Радијална сила на зупчанику 1	F_{r1}	N	432,921
Обимна сила на зупчанику 1	F_{t1}	N	317,030
Момент савијања на зупчанику 1	M_1	Nm	5,456
Момент увијања	T_1	Nm	20,436

У софтверу *Autodesk Inventor* у модулу *Design Accelerator*, прорачун вратила, уносе се вредности поменутих сила и момената, као и вредности снаге и броја обртаја, материјал и изглед вратила. Резултати су приказани у прилогу 4.

Након прорачуна вратила добија се модел вратила, слика 26.



Слика 26. *Вратило I*

У прилогу 4, може се видети целокупан прорачун вратила I, као и потребни дијаграми вратила. На дијаграму “*Shear force*” читавају се вредности отпора ослонаца. Вредност отпора ослонаца на месту A је $F_A = 435,479 \text{ N}$, а на месту B је $F_B = 1689,88 \text{ N}$. Ове вредности отпора ослонаца биће искоришћене приликом прорачуна лежаја.

На слици 26, може се уочити да на вратилу постоји отвор који служи за аксијално обезбеђивање зупчаника 1. На улазу вратила налази се жлеб за клин који служи за везивање спојнице.

Shaft Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Calculation

Material

Material	Stainless steel
Modulus of Elasticity	E 190000 MPa
Modulus of Rigidity	G 73000 MPa
Density	ρ 8030 kg/m^3

Calculation Properties

Include		
Yes	Density	ρ 8030 kg/m^3
Yes	Shear Displacement Ratio	β 1.188 ul
	Number of Divisions	1000 ul
	Mode of reduced stress	HMH

Loads

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load					Axial Force	Torque	Deflection				Deflection Angle
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Length			Y	X	Size	Direction	
1	9.9 mm															-20.463 N m	0.666 microm	-1.297 microm	1.458 microm	297.17 deg	0.00 deg
2	9.9 mm	0.000 N	1183.170 N	1183.170 N	90.00 deg												0.666 microm	-1.297 microm	1.458 microm	297.17 deg	0.00 deg
3	9.9 mm	-462.921 N		-462.921 N													0.666 microm	-1.297 microm	1.458 microm	297.17 deg	0.00 deg
4	9.9 mm					-5.456 N m		5.456 N m	180.00 deg								0.666 microm	-1.297 microm	1.458 microm	297.17 deg	0.00 deg
5	9.9 mm														317.030 N		0.666 microm	-1.297 microm	1.458 microm	297.17 deg	0.00 deg
6	221.9 mm															20.463 N m	0.134 microm	-0.285 microm	0.315 microm	295.13 deg	0.00 deg

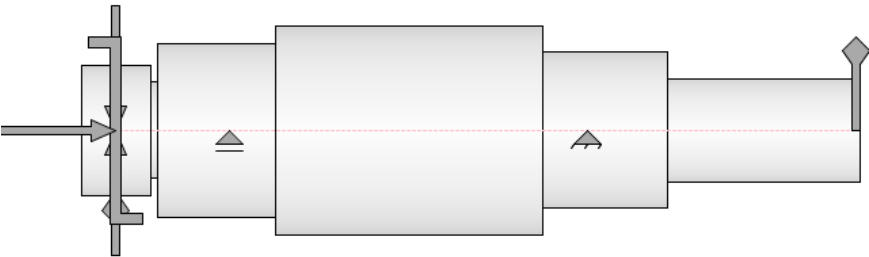
Supports

Index	Type	Location	Reaction Force					Yielding	Type	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	Axial Force			Y	X	Size	Direction	
1	Free	42.5 mm	-649.186 N	1560.211 N	1689.882 N	112.59 deg			User	-0.000 microm	0.000 microm	0.000 microm	138.49 deg	0.00 deg
2	Fixed	144.8 mm	217.902 N	-377.041 N	435.479 N	300.02 deg	317.030 N		User	-0.000 microm	0.000 microm	0.000 microm	159.80 deg	0.00 deg

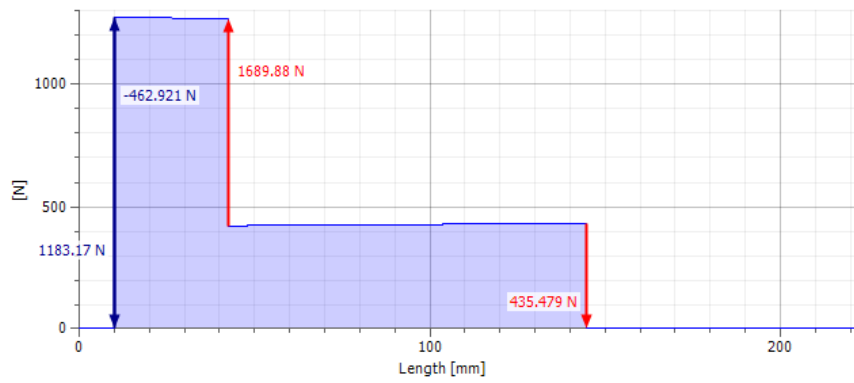
Results

Length	L	222.800 mm
Mass	Mass	3.226 kg
Maximal Bending Stress	σ _B	8.386 MPa
Maximal Shear Stress	τ _S	2.062 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	4.748 MPa
Maximal Tension Stress	σ _T	0.515 MPa
Maximal Reduced Stress	σ _{red}	12.633 MPa
Maximal Deflection	f _{max}	1.863 microm
Angle of Twist	φ	-0.02 deg

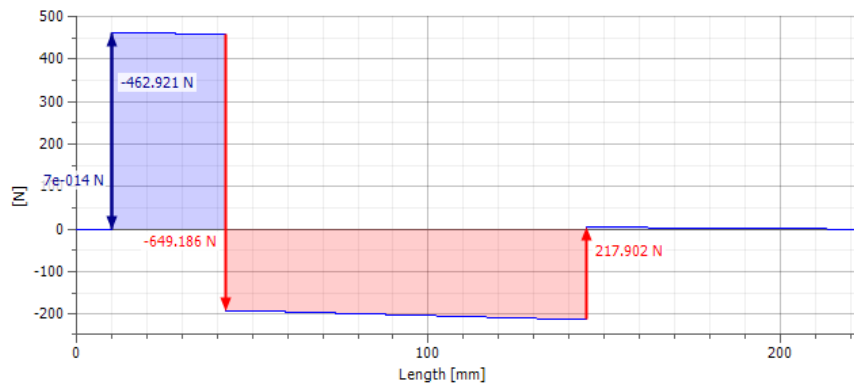
Preview



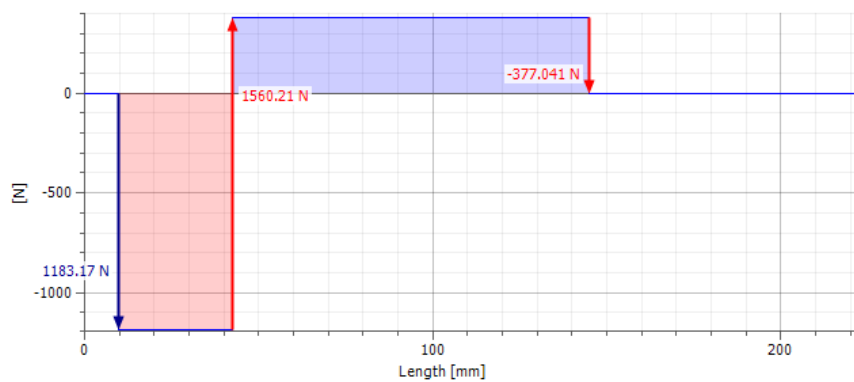
Shear Force



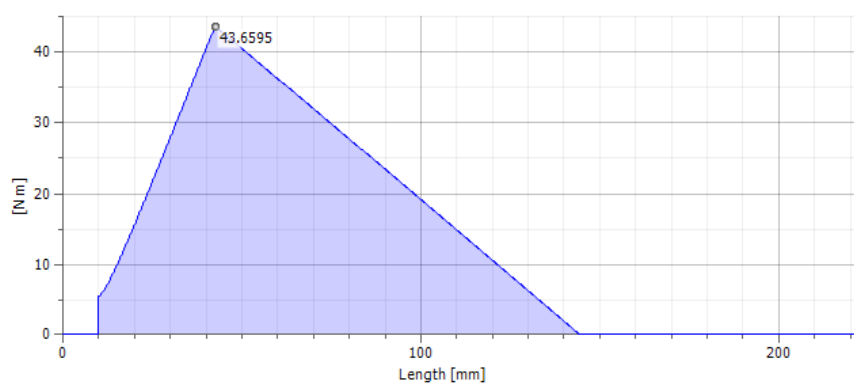
Shear Force, YZ Plane



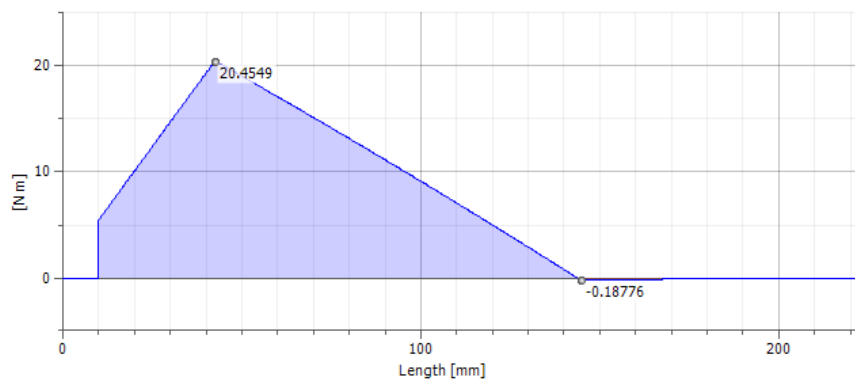
Shear Force, XZ Plane



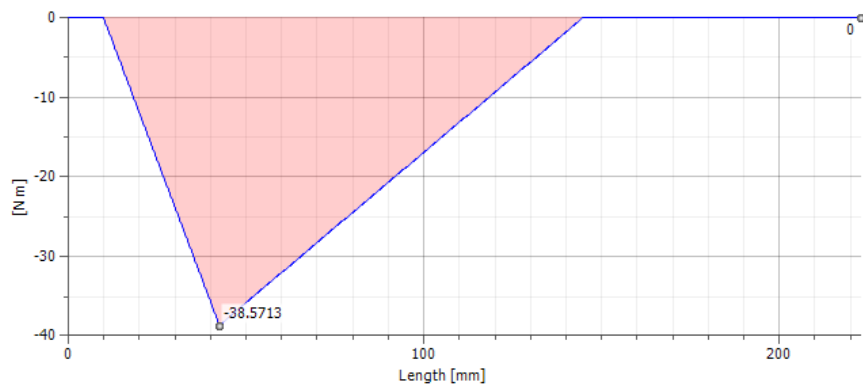
Bending Moment



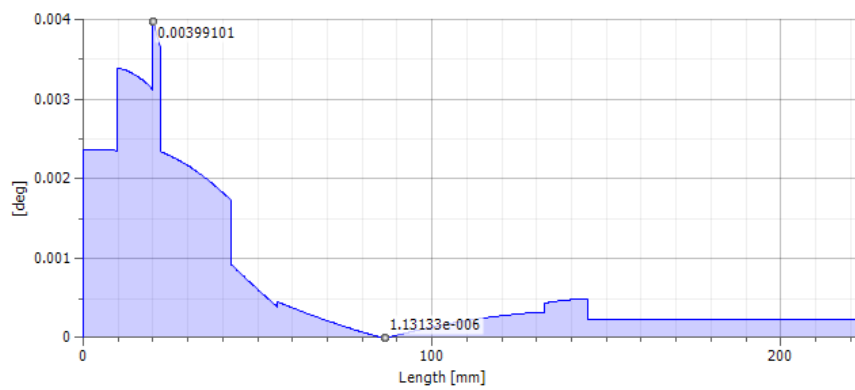
Bending Moment, YZ Plane



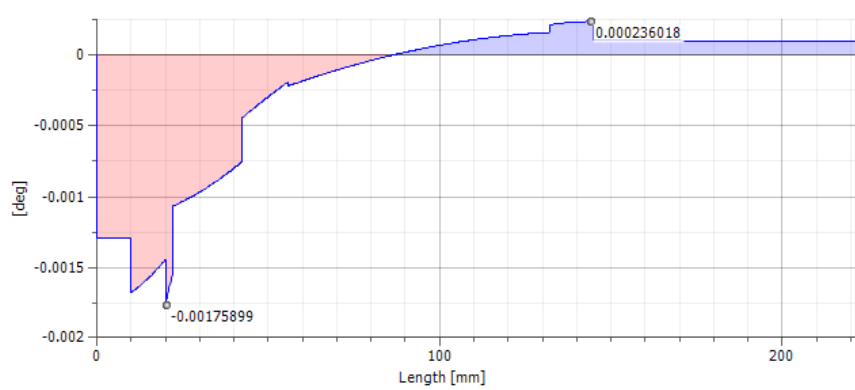
▣ Bending Moment, XZ Plane



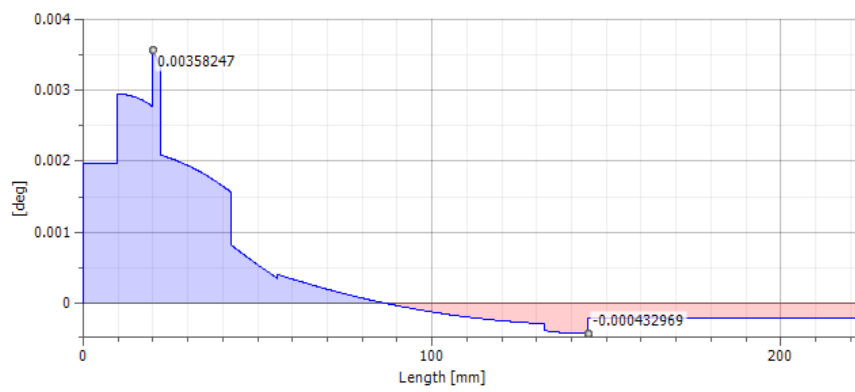
▣ Deflection Angle



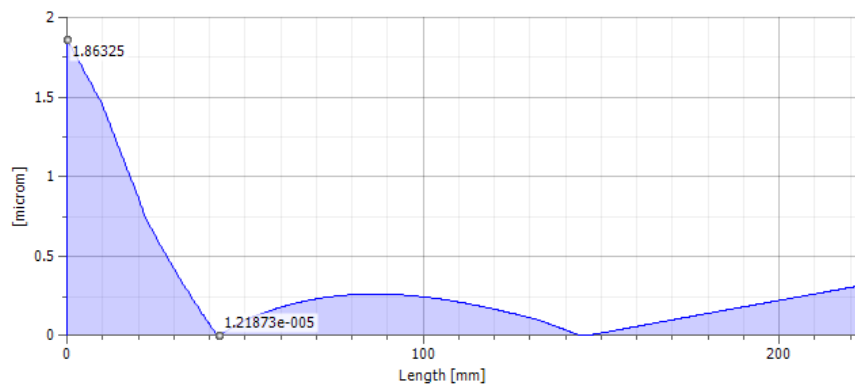
▣ Deflection Angle, YZ Plane



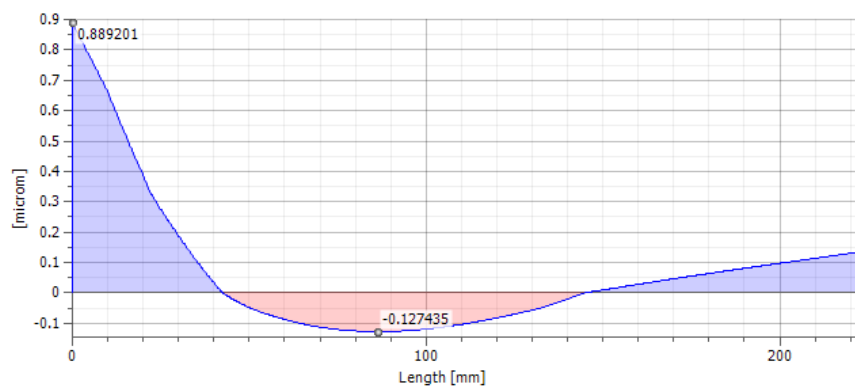
▣ Deflection Angle, XZ Plane



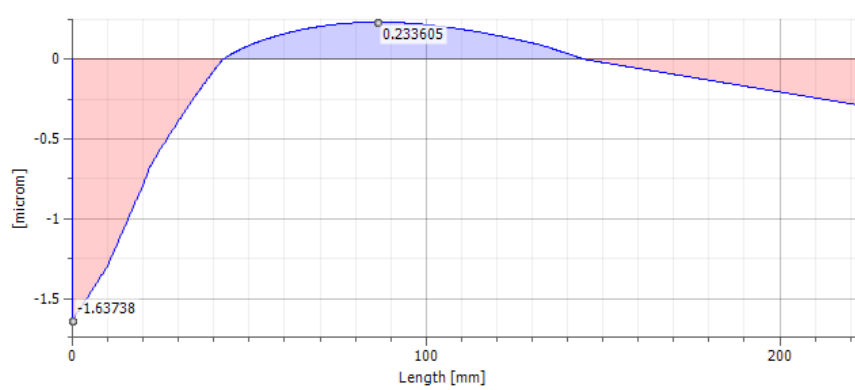
Deflection



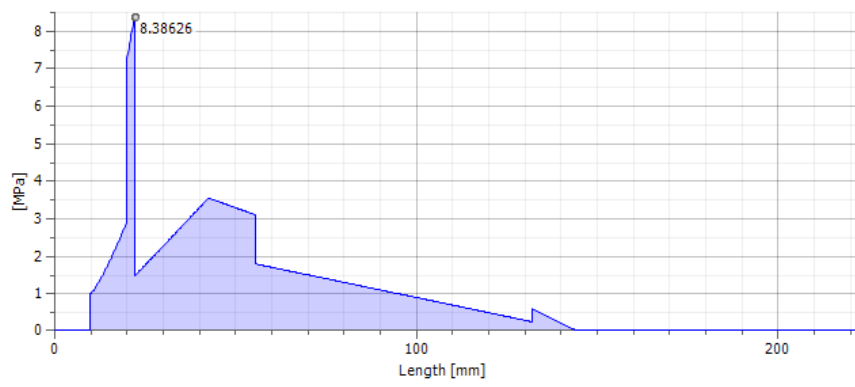
Deflection, YZ Plane



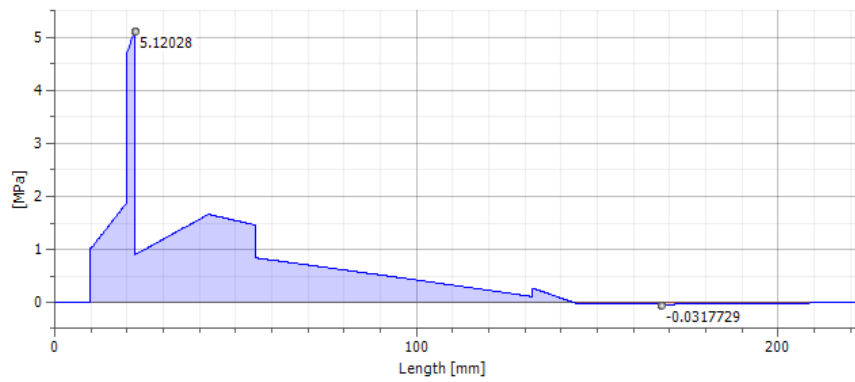
Deflection, XZ Plane



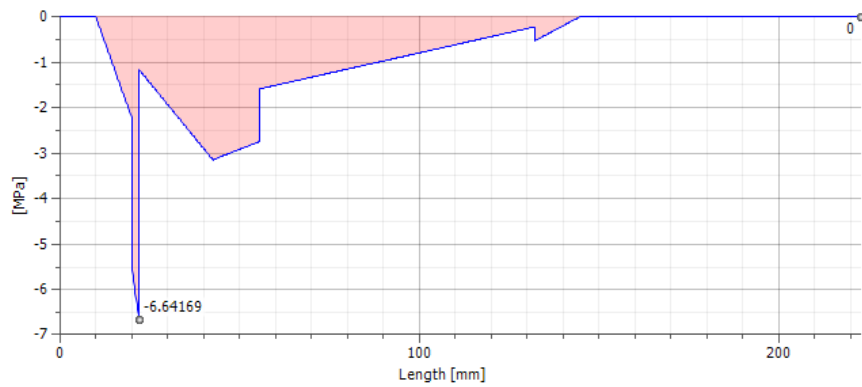
Bending Stress



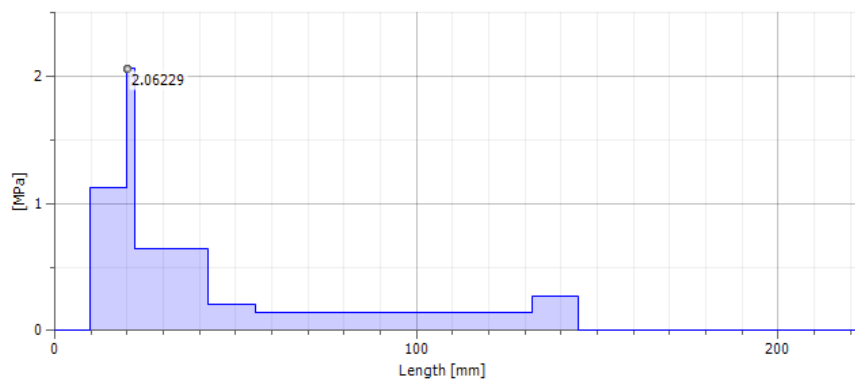
☐ Bending Stress, YZ Plane



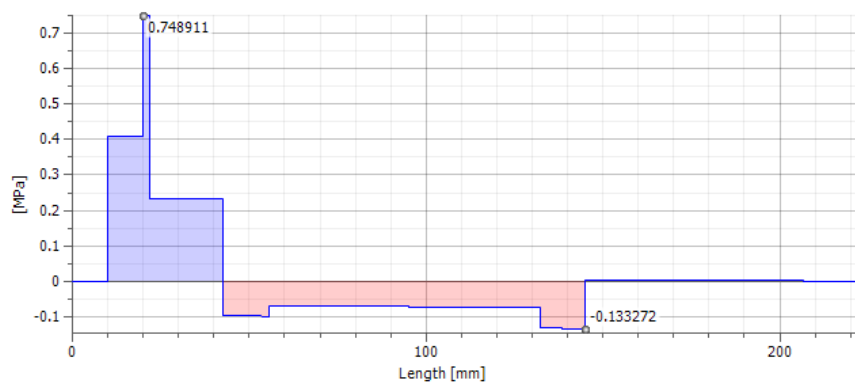
☐ Bending Stress, XZ Plane



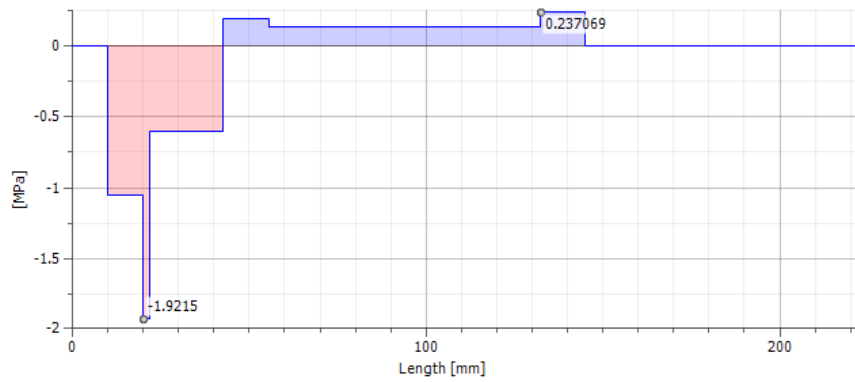
☐ Shear Stress



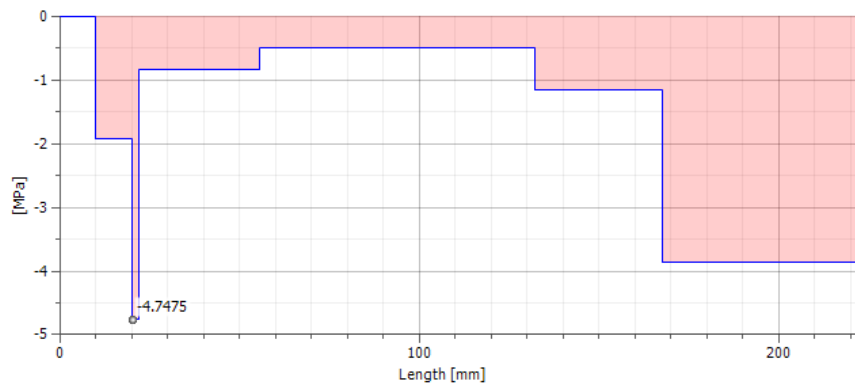
☐ Shear Stress, YZ Plane



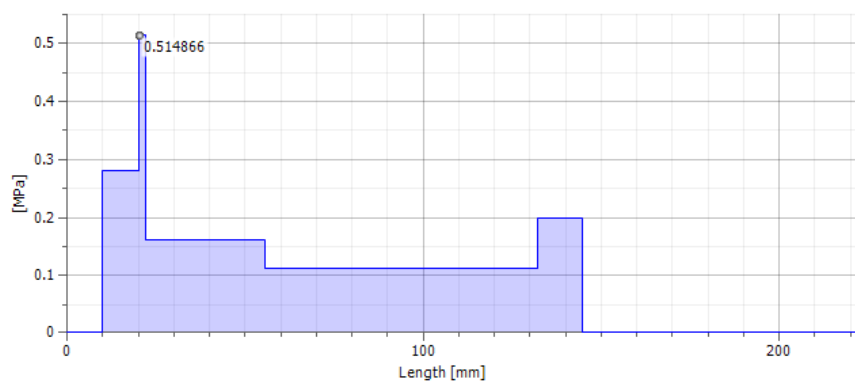
Shear Stress, XZ Plane



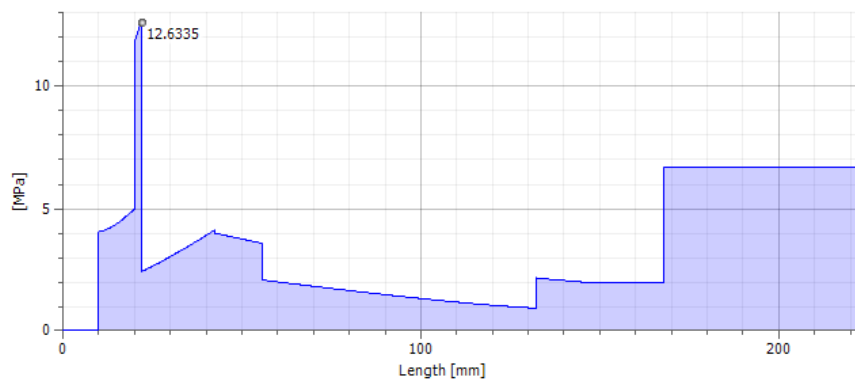
Torsional Stress



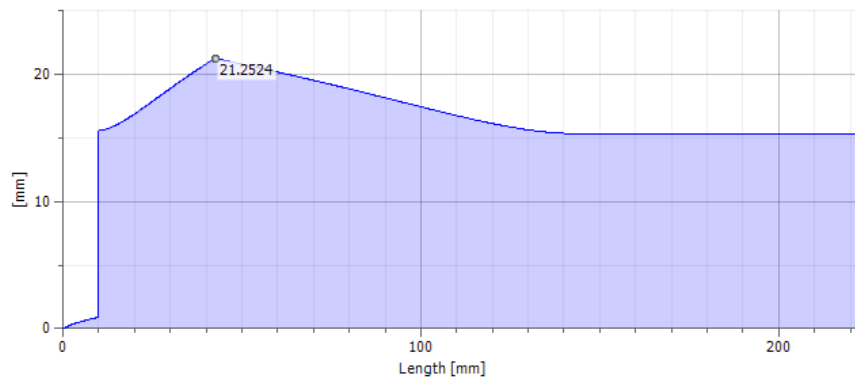
Tension Stress



Reduced Stress



▣ Ideal Diameter



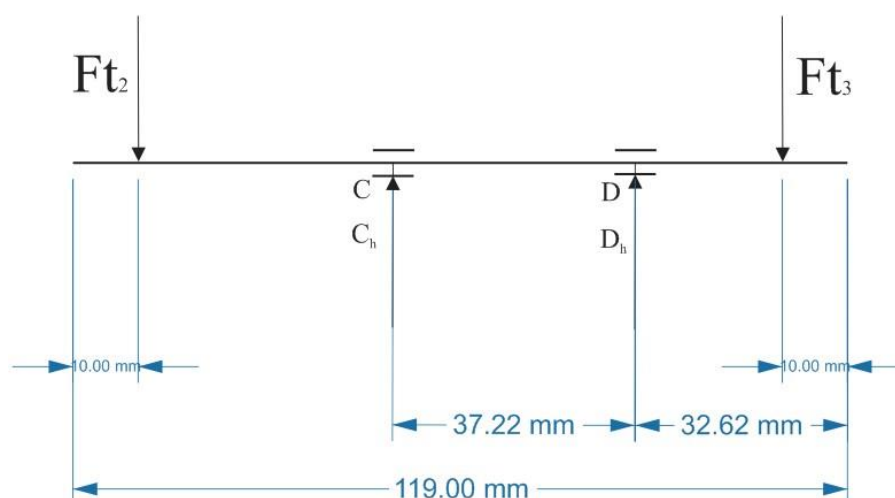
▣ Summary of Messages

1:50:06 PM Calculation: Calculated.

4.4.2. Прорачун вратила II

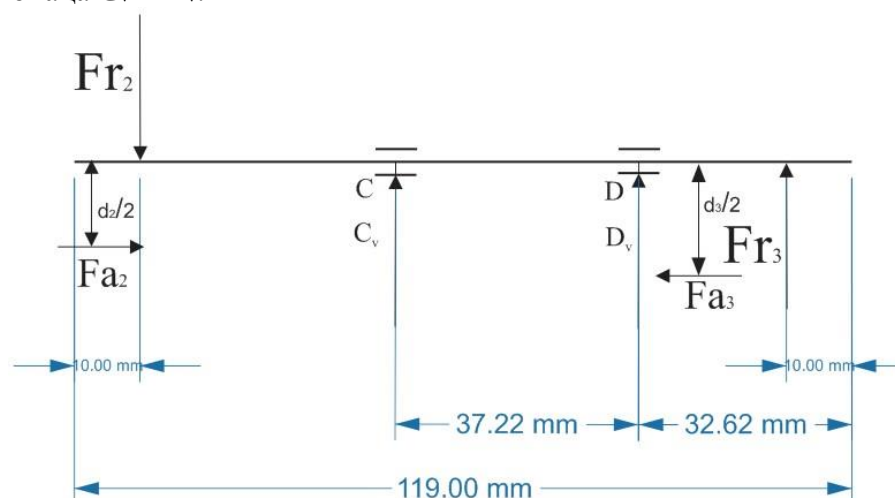
Вратило II је вратило на коме се налазе два зупчаника, зупчаници 2 и 3. Снага која долази на вратило II је $P_{II} = 2,940 \text{ kW}$, а број обртаја $n_{II} = 450,85 \text{ min}^{-1}$. Због величине зупчаника 3, вратило II је потребно израдити изједна са зупчаником 3, с тога је материјал вратила II исти као материјал зупчаника 3, односно то је материјал 14NiCr18 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке Č5427.

Слика 27, показује да на ово вратило у хоризонталној равни делују две обимне силе и то сила F_{t2} и сила F_{t3} које су пренете са зупчаника 2 и 3. У ослоњцима C и D делују отпори ослонаца C_h и D_h .



Слика 27. Вратило II "H" равн

Ако се погледа слика 28, може се уочити да у вертикалној равни на вратило II делују радијалне силе F_{r2} и F_{r3} , аксијалне силе F_{a2} и F_{a3} , као и моменти савијања које праве аксијалне силе F_{r2} и F_{r3} . На местима зупчаника 2 и 3 делују и моменти увијања. Као у хоризонталној равни тако и у вертикалној равни у ослоњцима C и D делују отпори ослонаца C_v и D_v .



Слика 28. Вратило II "V" равн

У табели 5 се налазе вредности сила и момената које делују на вратило II.

Табела 5. Вредности сила и момената за вратило II

Назив	Ознака	Мерна јединица	Вредност
Аксијална сила на зупчанику 2	F_{a2}	N	1183,170
Радијална сила на зупчанику 2	F_{r2}	N	432,921
Обимна сила на зупчанику 2	F_{t2}	N	317,030
Момент савијања на зупчанику 2	M_2	Nm	16,944
Момент увијања	T_2	Nm	62,271
Аксијална сила на зупчанику 3	F_{a3}	N	1343,273
Радијална сила на зупчанику 3	F_{r3}	N	1045,292
Обимна сила на зупчанику 3	F_{t3}	N	3765,928
Момент савијања на зупчанику 3	M_3	Nm	22,211
Момент увијања	T_3	Nm	62,271

Уношењем података у софтвер Autodesk Inventor (модул Design Accelerator, прорачун вратила), уносе се вредности поменутих сила и момената, као и вредности снаге и броја обртаја, материјал и дизајн вратила. Тако се добијају резултати прорачуна вратила (прилог 5).

Након завршетка прорачуна добија се модел вратила II, слика 29.



Слика 29. Вратило II изједна са зупчаником 3

Као и за претходно вратило и за вратило II све потребне вредности прорачуна и дијаграми налазе се у прилогу 5. Из дијаграма “*Shear force*” читавају се вредности отпора ослонаца где је вредност отпора ослонца у тачки C, $F_C = 3529,82 \text{ N}$, а у тачки D је $F_D = 6098,6 \text{ N}$. Ове вредности биће искоришћене за прорачун лежаја.

На вратилу II, може се уочити да постоји жлеб за клин на месту зупчаника 2. На самом крају вратила II израђен је зупчаник 3.

Shaft Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Calculation

Material

Material		Stainless steel
Modulus of Elasticity E		190000 MPa
Modulus of Rigidity G		73000 MPa
Density	ρ	8030 kg/m^3

Calculation Properties

Include		
Yes	Density	ρ 8030 kg/m^3
Yes	Shear Displacement Ratio β	1.188 ul
	Number of Divisions	1000 ul
	Mode of reduced stress	HMH

Loads

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load				Axial Force	Torque	Deflection				Deflect Angl
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction			Y	X	Size	Direction	
1	12.85 mm													317.030 N		-2.639 microm	2.521 microm	3.650 microm	136.31 deg	0.01 de
2	12.85 mm	0.000 N	-1183.170 N	1183.170 N	-90.00 deg											-2.639 microm	2.521 microm	3.650 microm	136.31 deg	0.01 de
3	12.85 mm	462.921 N		462.921 N												-2.639 microm	2.521 microm	3.650 microm	136.31 deg	0.01 de
4	12.85 mm					16.944 N m	16.944 N m									-2.639 microm	2.521 microm	3.650 microm	136.31 deg	0.01 de
5	12.85 mm														62.271 N m	-2.639 microm	2.521 microm	3.650 microm	136.31 deg	0.01 de
6	105.85 mm	-1045.292 N		-1045.292 N												2.904 microm	-5.504 microm	6.223 microm	297.82 deg	0.03 de
7	105.85 mm					22.211 N m	22.211 N m									2.904 microm	-5.504 microm	6.223 microm	297.82 deg	0.03 de
8	105.85 mm	0.000 N	3765.928 N	3765.928 N	90.00 deg											2.904 microm	-5.504 microm	6.223 microm	297.82 deg	0.03 de
9	105.85 mm														-62.271 N m	2.904 microm	-5.504 microm	6.223 microm	297.82 deg	0.03 de
10	105.85 mm													-1343.273 N		2.904 microm	-5.504 microm	6.223 microm	297.82 deg	0.03 de

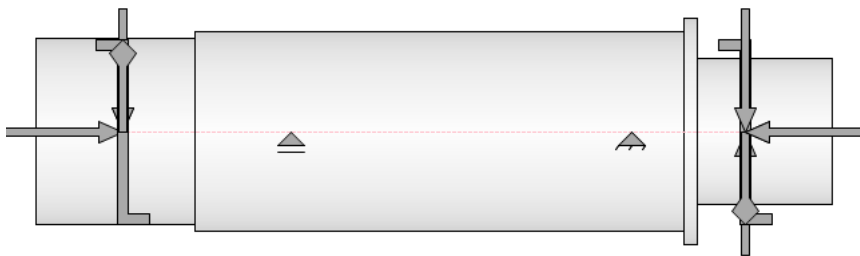
Supports

Index	Type	Location	Reaction Force					Yielding	Type	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	Axial Force			Y	X	Size	Direction	
1	Free	38 mm	1815.117 N	-3027.369 N	3529.818 N	300.95 deg			User	-0.000 microm	-0.000 microm	0.000 microm	231.05 deg	0.01 deg
2	Fixed	88.85 mm	-2391.534 N	5610.127 N	6098.603 N	113.09 deg	-1026.243 N		User	-0.000 microm	-0.000 microm	0.000 microm	202.43 deg	0.01 deg

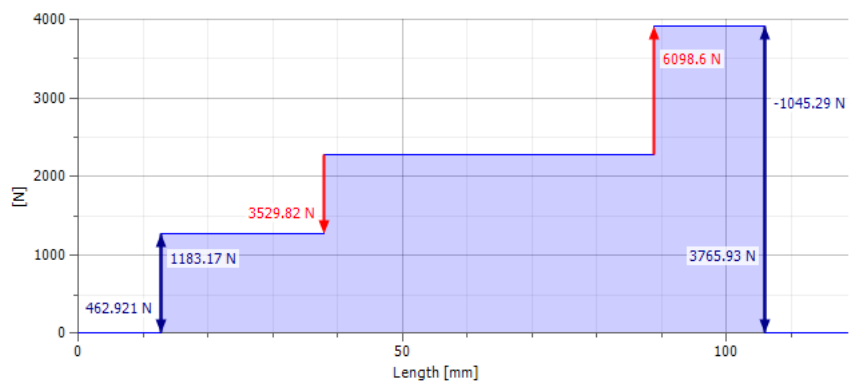
Results

Length	L	118.700 mm
Mass	Mass	0.607 kg
Maximal Bending Stress	σ_B	38.334 MPa
Maximal Shear Stress	τ_S	10.281 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	29.784 MPa
Maximal Tension Stress	σ_T	3.534 MPa
Maximal Reduced Stress	σ_{red}	68.785 MPa
Maximal Deflection	f_{max}	10.433 microm
Angle of Twist	φ	0.07 deg

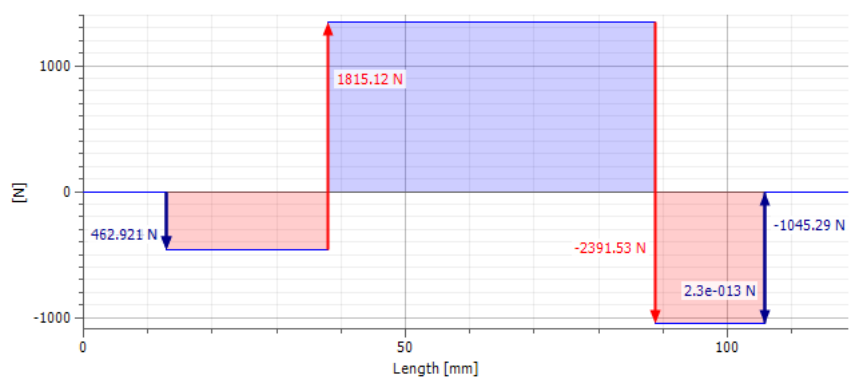
Preview



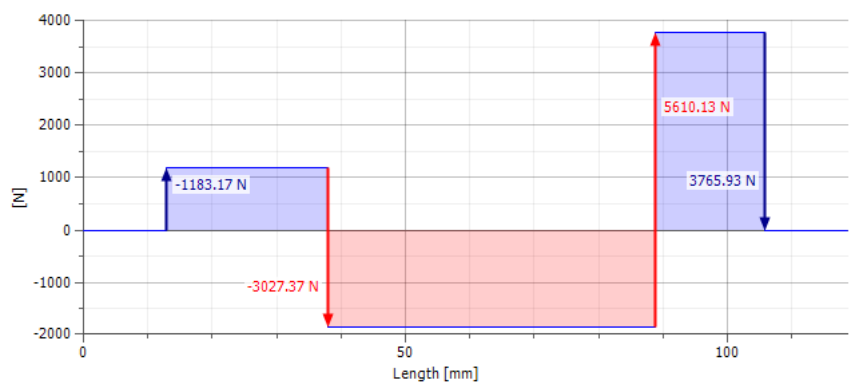
Shear Force



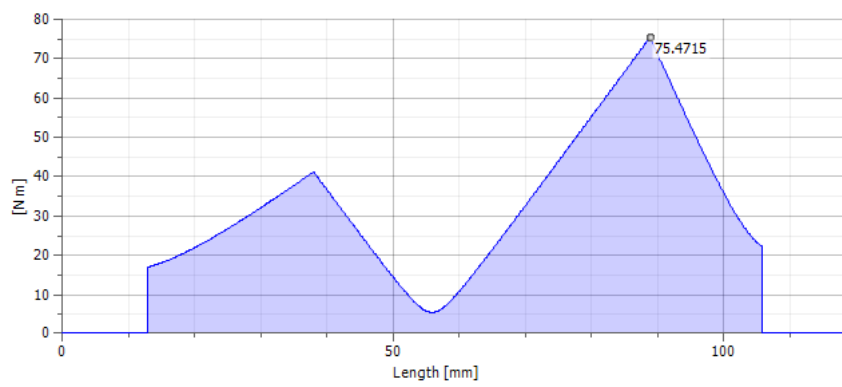
Shear Force, YZ Plane



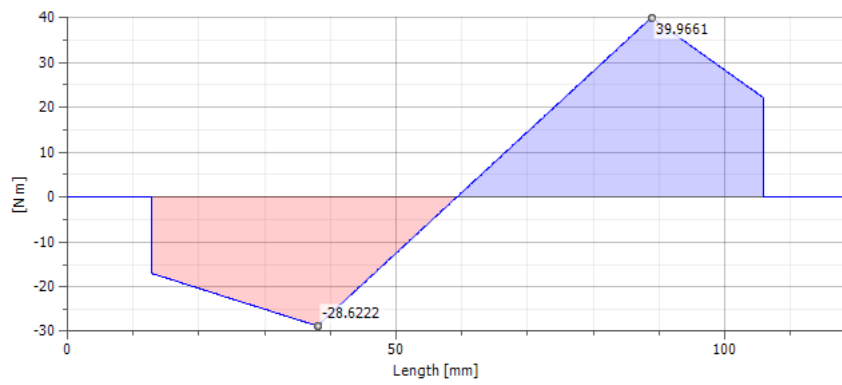
Shear Force, XZ Plane



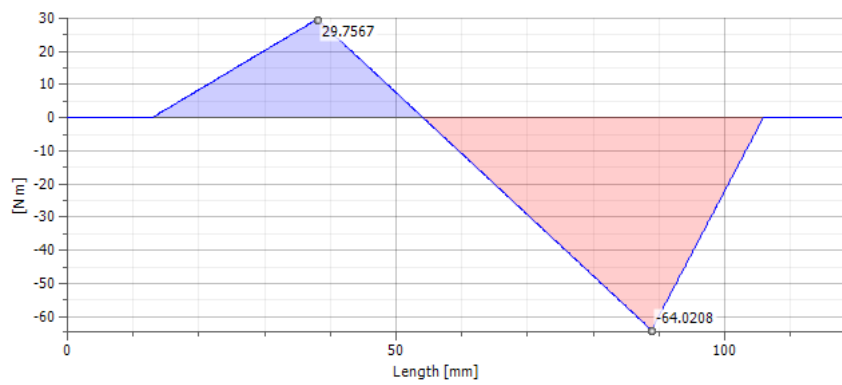
Bending Moment



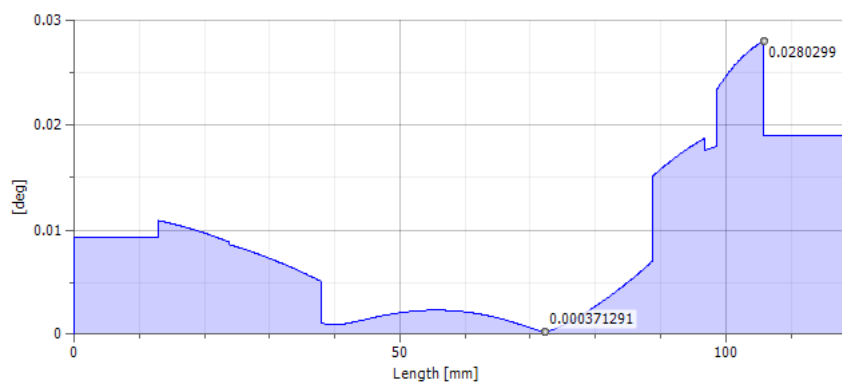
▣ Bending Moment, YZ Plane



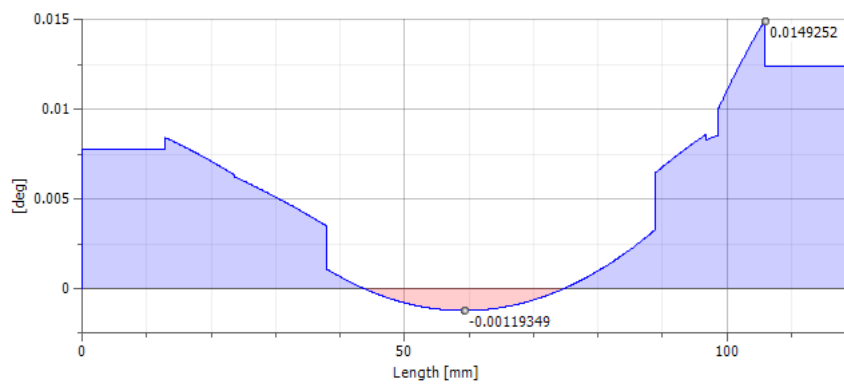
▣ Bending Moment, XZ Plane



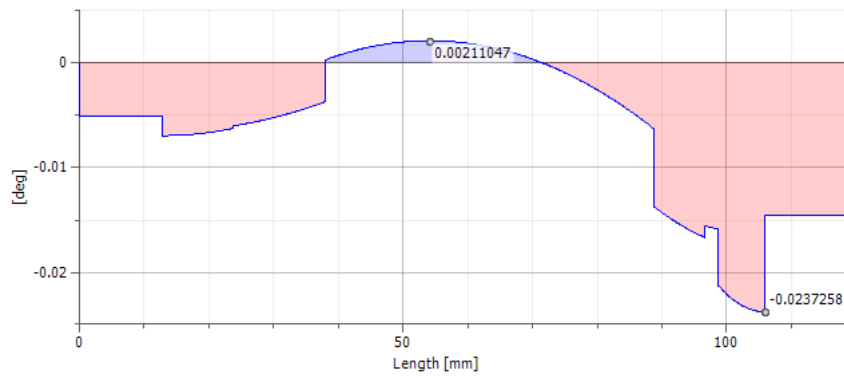
▣ Deflection Angle



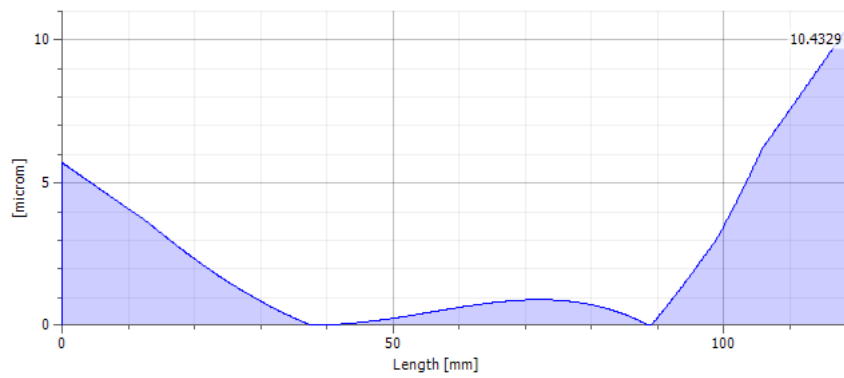
▣ Deflection Angle, YZ Plane



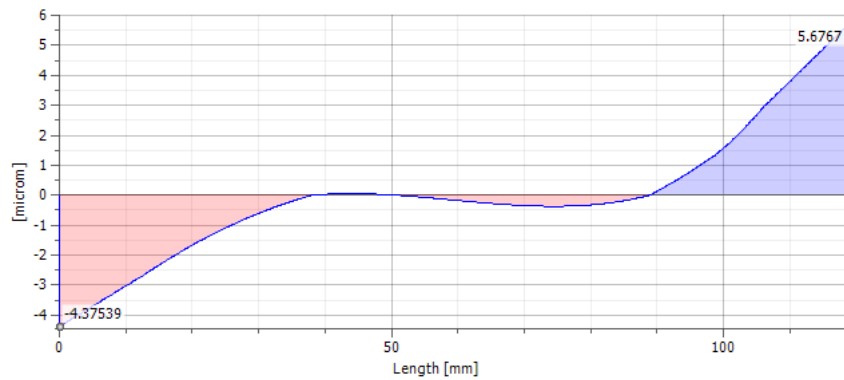
Deflection Angle, XZ Plane



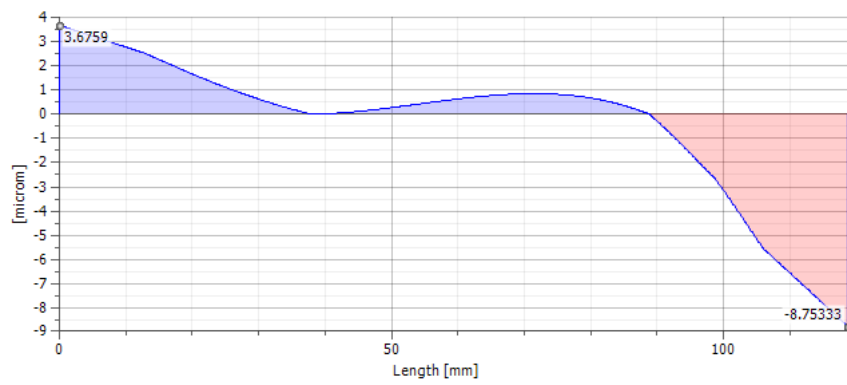
Deflection



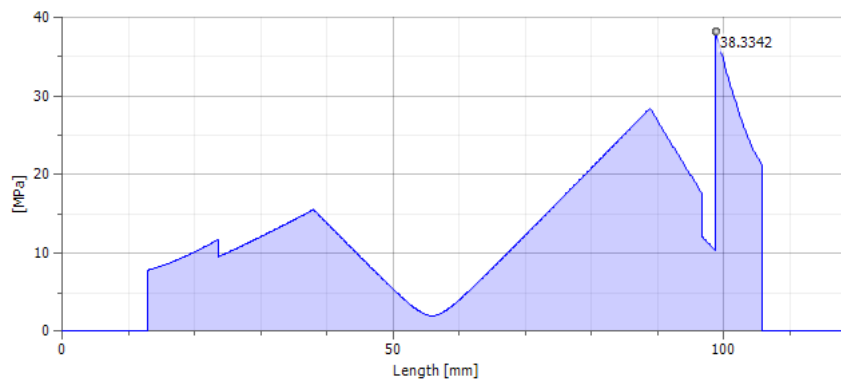
Deflection, YZ Plane



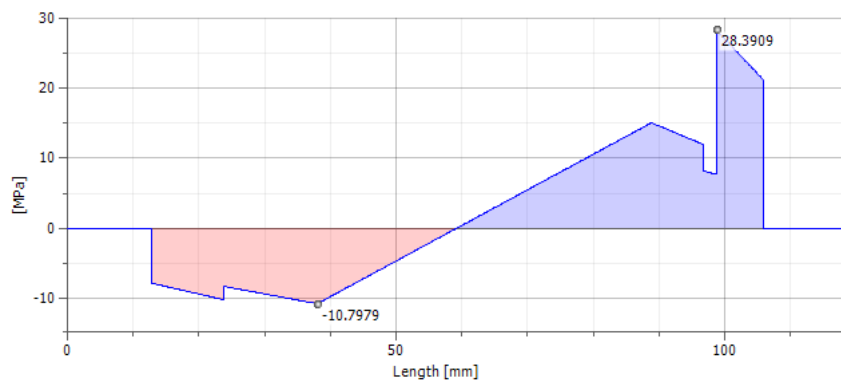
Deflection, XZ Plane



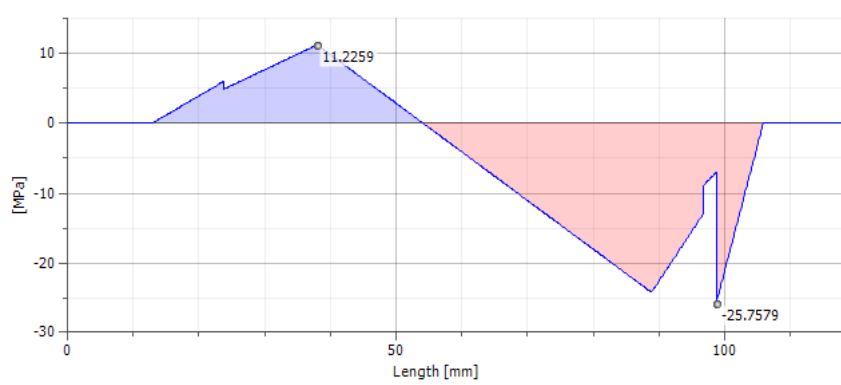
Bending Stress



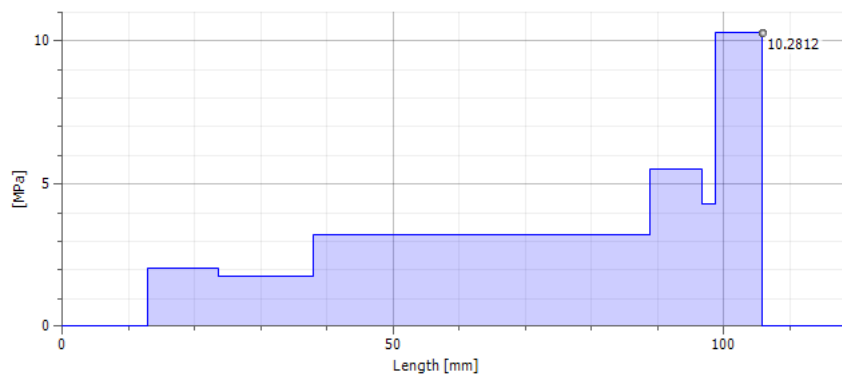
Bending Stress, YZ Plane



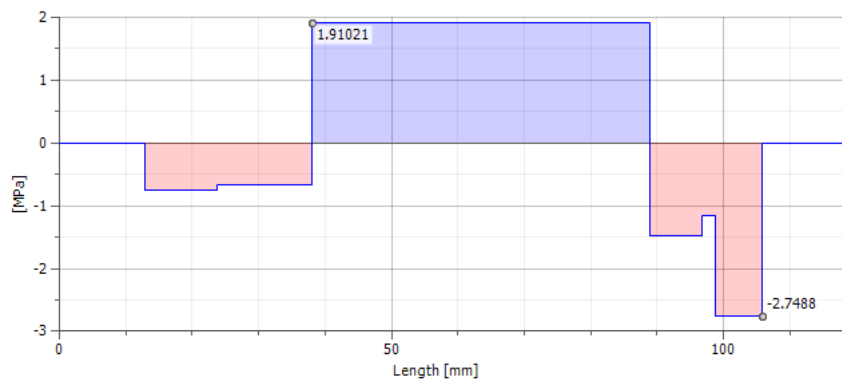
Bending Stress, XZ Plane



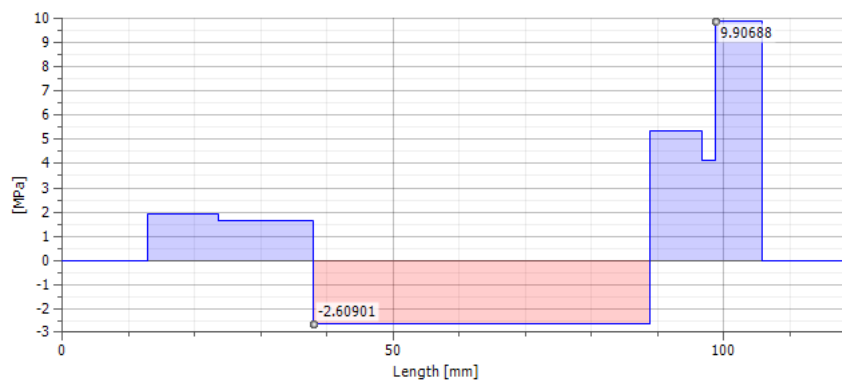
Shear Stress



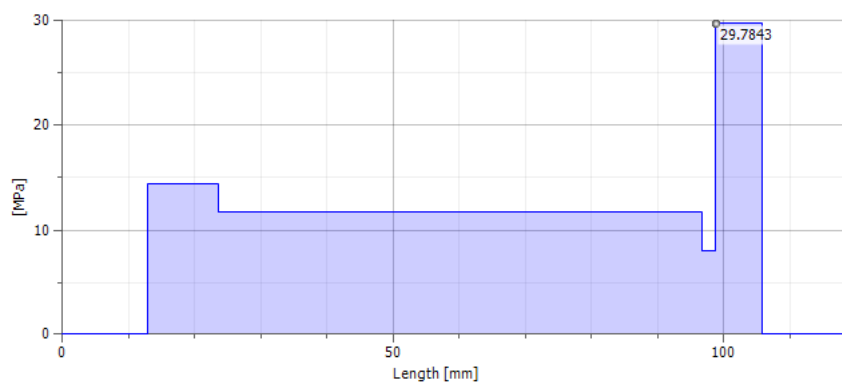
Shear Stress, YZ Plane



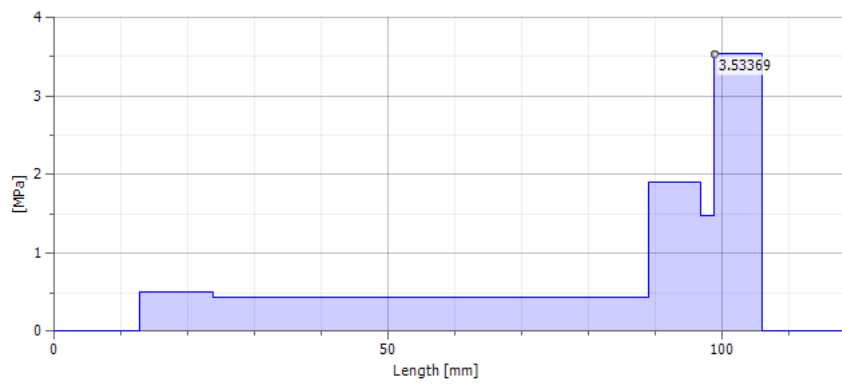
Shear Stress, XZ Plane



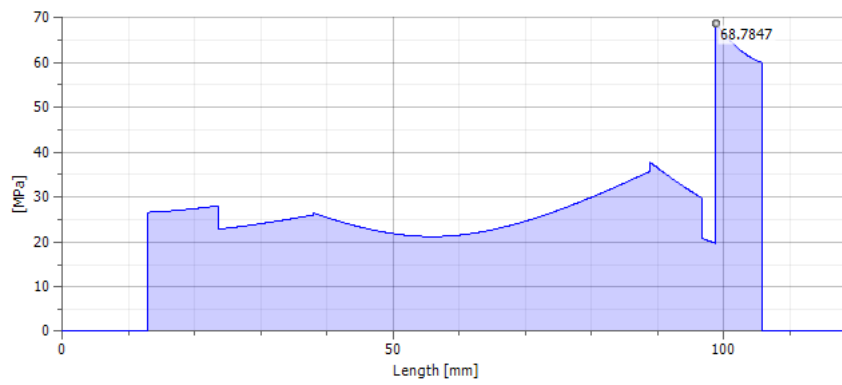
Torsional Stress



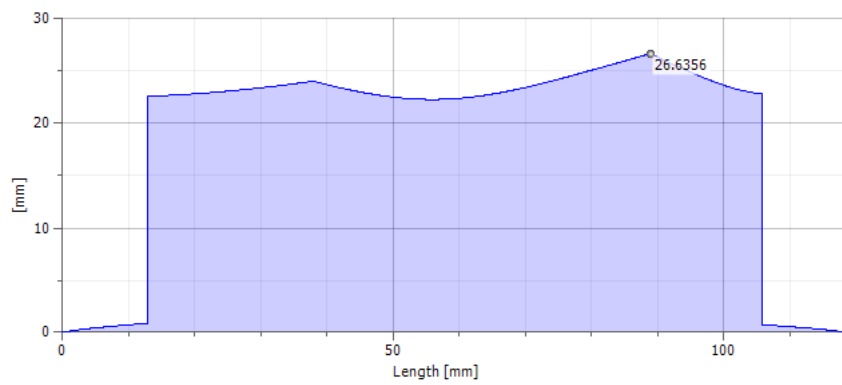
Tension Stress



☐ Reduced Stress



☐ Ideal Diameter



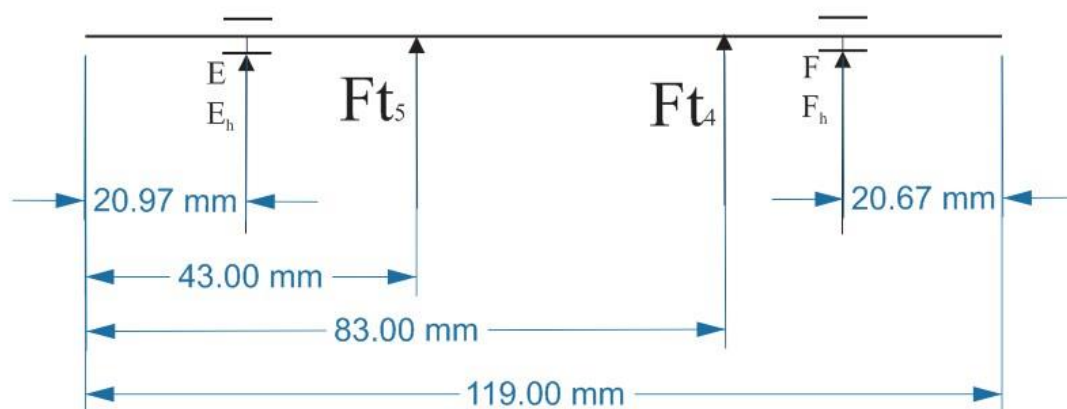
☐ Summary of Messages

1:50:39 PM Calculation: Calculated.

4.4.3. Прорачун вратила III

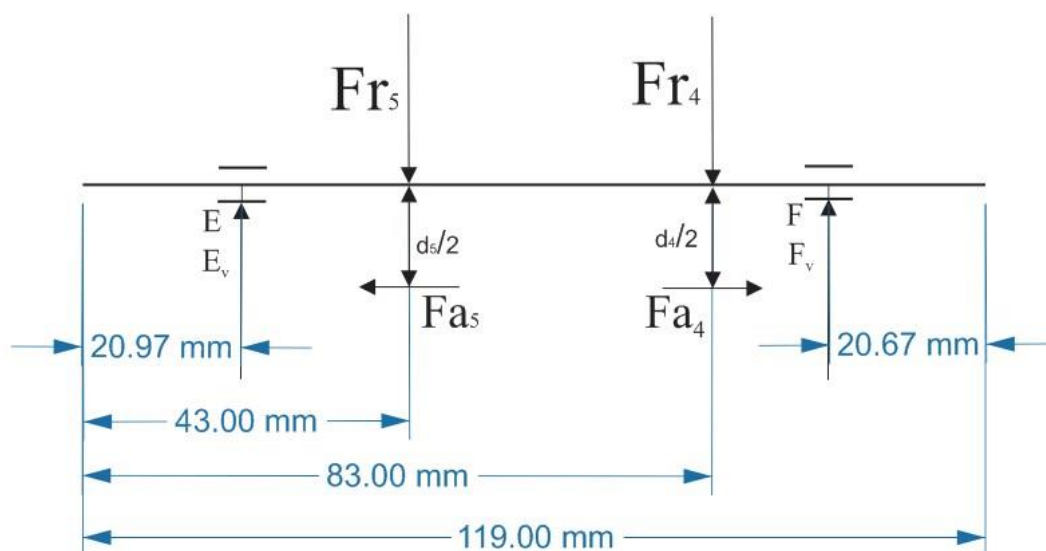
Као и на претходним вратилима тако и на овом вратилу делују аксијалне силе F_{a3} и F_{a4} , радијалне силе F_{r3} и F_{r4} , обимне силе F_{t3} и F_{t4} , моменти увијања и моменти савијања. Снага која долази на вратило III је $P_{III} = 2,881 \text{ kW}$, а број обртаја је $n_{III} = 127,16 \text{ min}^{-1}$.

Слика 30, представља распоред сила у хоризонталној равни на вратилу III. Може се уочити да у овој равни делују обимне силе зупчаника 3 и 4, као и отпори ослонаца у тачкама E и F, а то су ослонци E_h и F_h .



Слика 30. Вратило III "H" раван

У вертикалној равни (слика 31), делују аксијалне силе, радијалне силе, као и моменти савијања и увијања. Поред ових сила у ослонцима E и F делују отпори ослонаца E_v и F_v .



Слика 31. Вратило III "V" раван

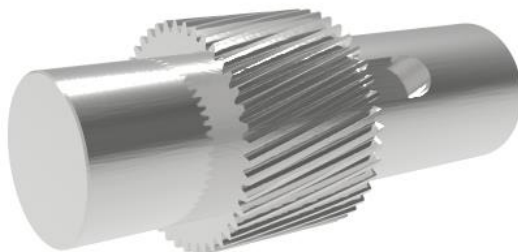
У табели 6, налазе се вредности сила и момената који делују на вратило III.

Табела 6. Вредности сила и момената за вратило III

Назив	Ознака	Мерна јединица	Вредност
Аксијална сила на зупчанику 4	F_{a4}	N	1045,292
Радијална сила на зупчанику 4	F_{r4}	N	1343,373
Обимна сила на зупчанику 4	F_{t4}	N	3765,928
Момент савијања на зупчанику 4	M_4	Nm	61,280
Момент увијања	T_4	Nm	216,354
Аксијална сила на зупчанику 5	F_{a5}	N	2128,141
Радијална сила на зупчанику 5	F_{r5}	N	3049,466
Обимна сила на зупчанику 5	F_{t5}	N	7942,331
Момент савијања на зупчанику 5	M_5	Nm	57,834
Момент увијања	T_5	Nm	216,354

У прилогу 6, налазе се сви релевантни подаци прорачуна за вратило III, као и вредности отпора ослонаца на дијаграму “*Shear force*”. Вредности отпора ослонаца у тачкама Е и F су $F_E = 4373,17 \text{ N}$ и $F_F = 7515,82 \text{ N}$. Вредности отпора ослонаца биће искоришћени за прорачун лежајева.

Завршетком прорачуна добија се модел вратила III, слика 32.



Слика 32. *Вратило III*

Због малог пречника зупчаника 5, вратило III је потребно израдити изједна са вратилом III (слика 32). Зато је материјал вратила III исти као материјал зупчаника 5, односно то је материјал 14NiCr18 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је челик ознаке Č5427.

Shaft Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Calculation

Material

Material		Stainless steel
Modulus of Elasticity	E	190000 MPa
Modulus of Rigidity	G	73000 MPa
Density	ρ	8030 kg/m^3

Calculation Properties

Include		
Yes	Density	ρ 8030 kg/m^3
Yes	Shear Displacement Ratio	β 1.188 ul
	Number of Divisions	1000 ul
	Mode of reduced stress	HMH

Loads

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load					Axial Force	Torque	Deflection				Deflection Angle
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Length			Y	X	Size	Direction	
1	0.4 mm															-216.364 N m	3.239 microm	0.562 microm	3.288 microm	9.85 deg	0.01 deg
2	55.4 mm														2128.141 N		-7.618 microm	-1.365 microm	7.740 microm	190.16 deg	0.01 deg
3	55.4 mm					57.834 N m	57.834 N m										-7.618 microm	-1.365 microm	7.740 microm	190.16 deg	0.01 deg
4	55.4 mm	0.000 N	3049.466 N	3049.466 N	90.00 deg												-7.618 microm	-1.365 microm	7.740 microm	190.16 deg	0.01 deg
5	55.4 mm	7942.331 N		7942.331 N													-7.618 microm	-1.365 microm	7.740 microm	190.16 deg	0.01 deg
6	90.4 mm	0.000 N	-1343.273 N	1343.273 N	-90.00 deg												-7.039 microm	-0.617 microm	7.066 microm	185.01 deg	0.01 deg
7	90.4 mm														1045.292 N		-7.039 microm	-0.617 microm	7.066 microm	185.01 deg	0.01 deg
8	90.4 mm	3765.928 N		3765.928 N													-7.039 microm	-0.617 microm	7.066 microm	185.01 deg	0.01 deg
9	90.4 mm					61.280 N m	61.280 N m										-7.039 microm	-0.617 microm	7.066 microm	185.01 deg	0.01 deg
10	138.4 mm															216.364 N m	3.794 microm	0.361 microm	3.811 microm	5.44 deg	0.01 deg

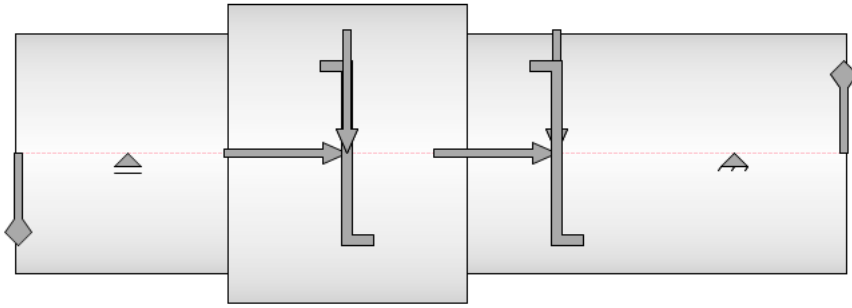
Supports

Index	Type	Location	Reaction Force					Yielding	Type	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	Axial Force			Y	X	Size	Direction	
1	Free	18.7 mm	7353.760 N	1552.320 N	7515.816 N	11.92 deg			User	-0.000 microm	-0.000 microm	0.000 microm	180.00 deg	0.01 deg
2	Fixed	120.1 mm	4370.460 N	153.873 N	4373.168 N	2.02 deg	3173.433 N		User	-0.000 microm	-0.000 microm	0.000 microm	195.19 deg	0.02 deg

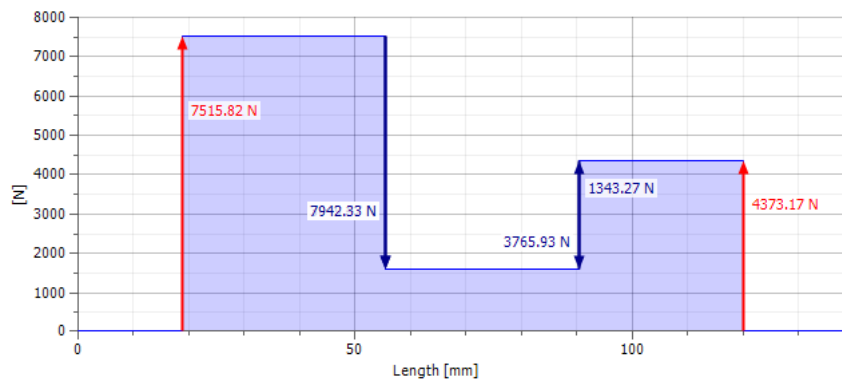
Results

Length	L	138.800 mm
Mass	Mass	1.628 kg
Maximal Bending Stress	σ _B	32.113 MPa
Maximal Shear Stress	τ _S	5.979 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	17.218 MPa
Maximal Tension Stress	σ _T	2.525 MPa
Maximal Reduced Stress	σ _{red}	45.135 MPa
Maximal Deflection	f _{max}	8.235 microm
Angle of Twist	φ	-0.08 deg

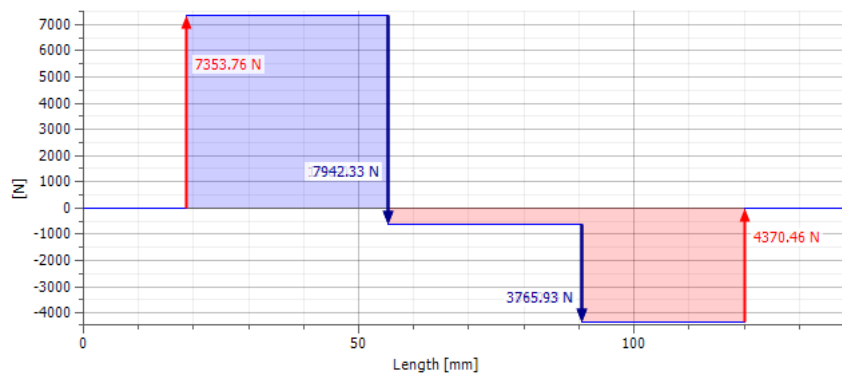
Preview



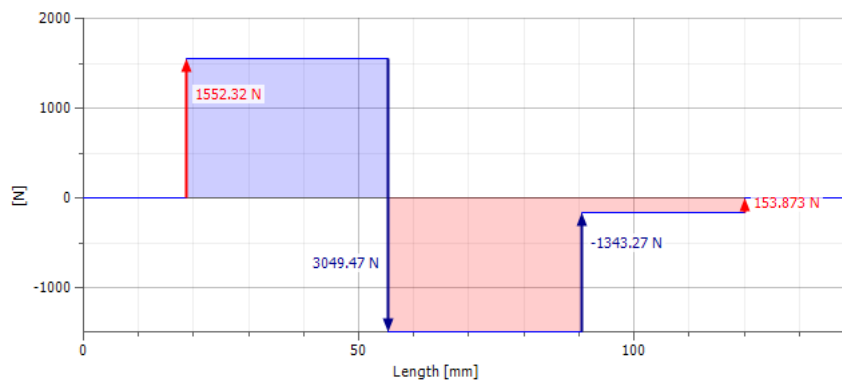
Shear Force



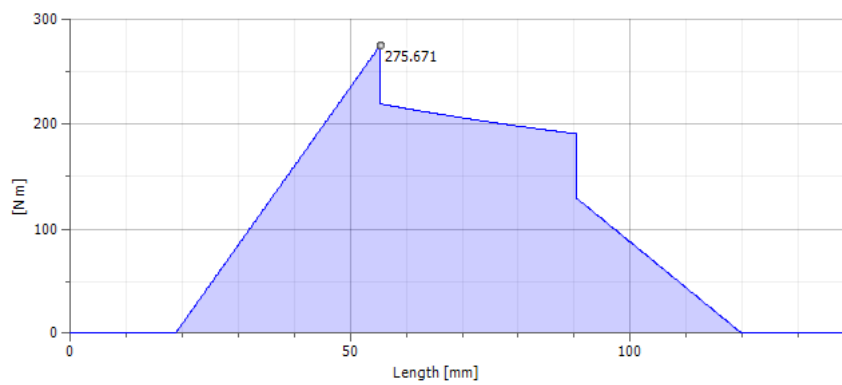
Shear Force, YZ Plane



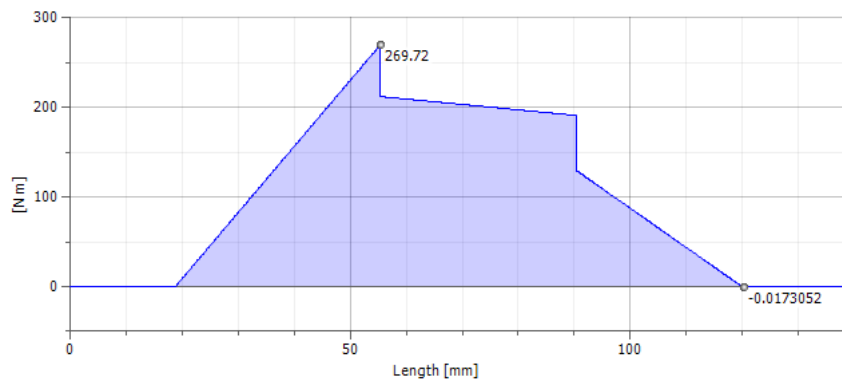
Shear Force, XZ Plane



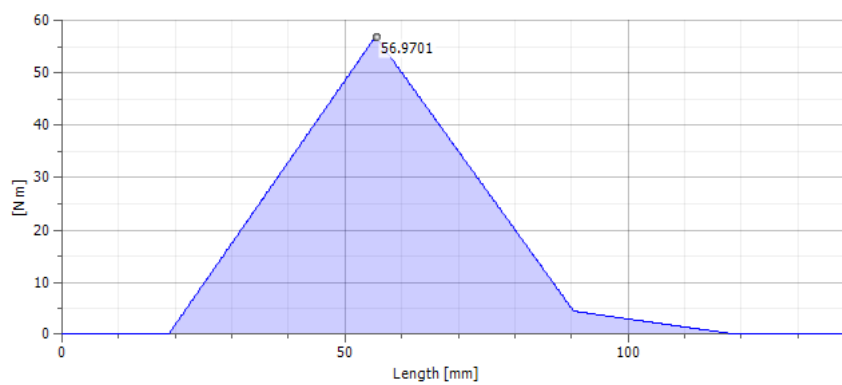
Bending Moment



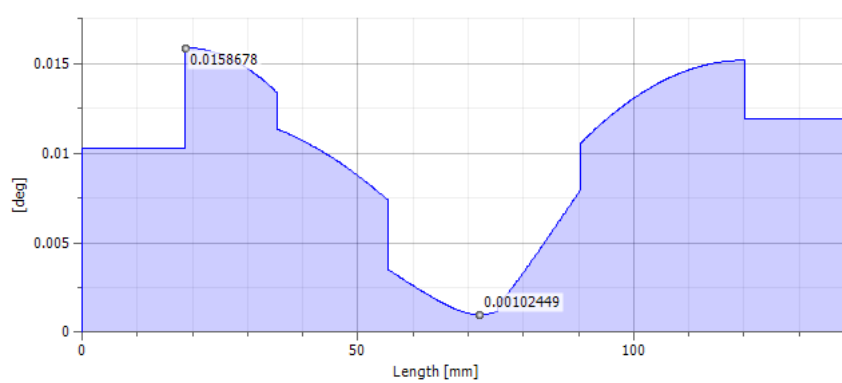
▣ Bending Moment, YZ Plane



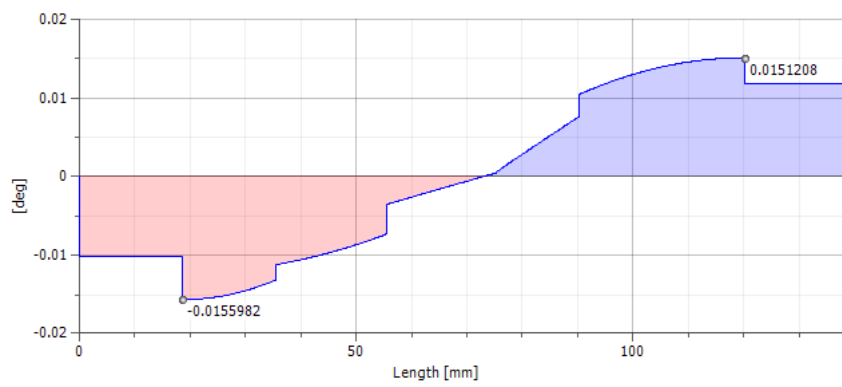
▣ Bending Moment, XZ Plane



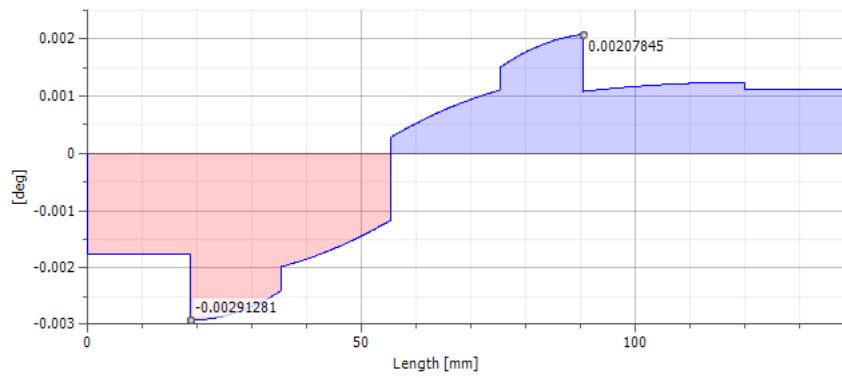
▣ Deflection Angle



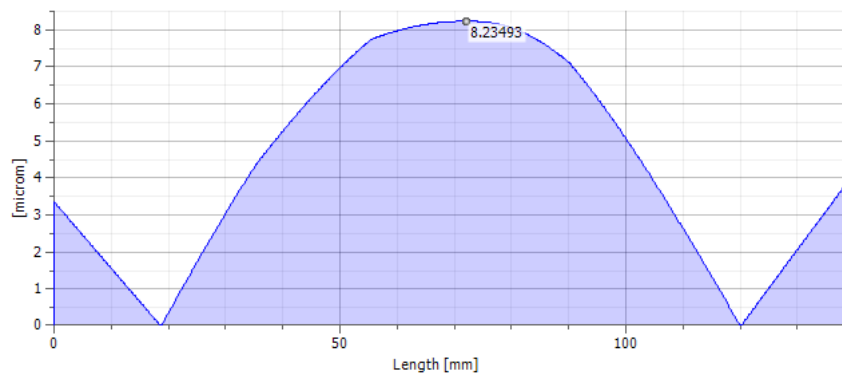
▣ Deflection Angle, YZ Plane



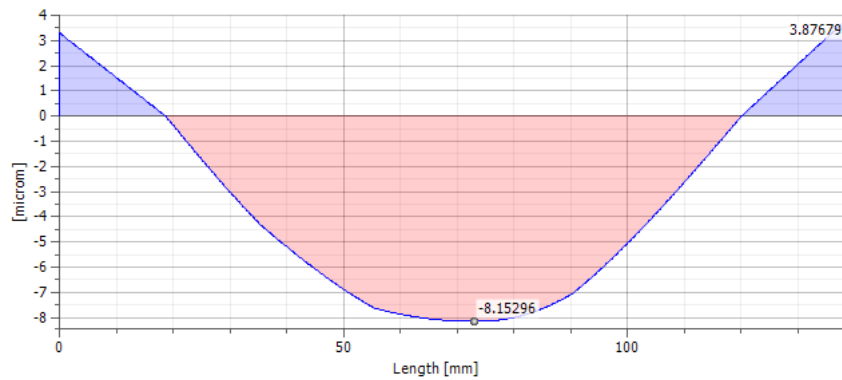
Deflection Angle, XZ Plane



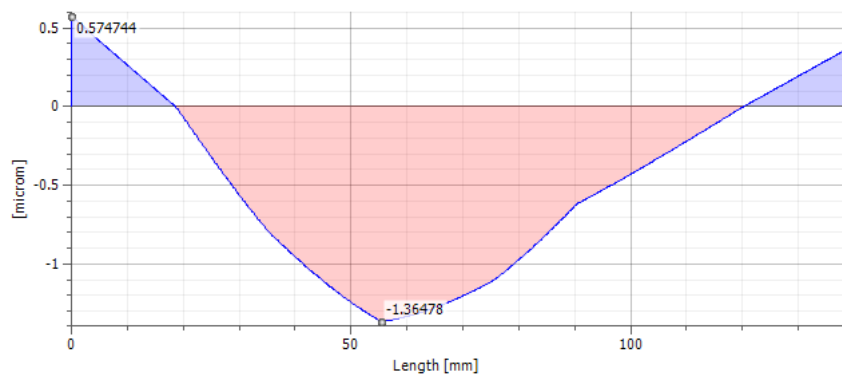
Deflection



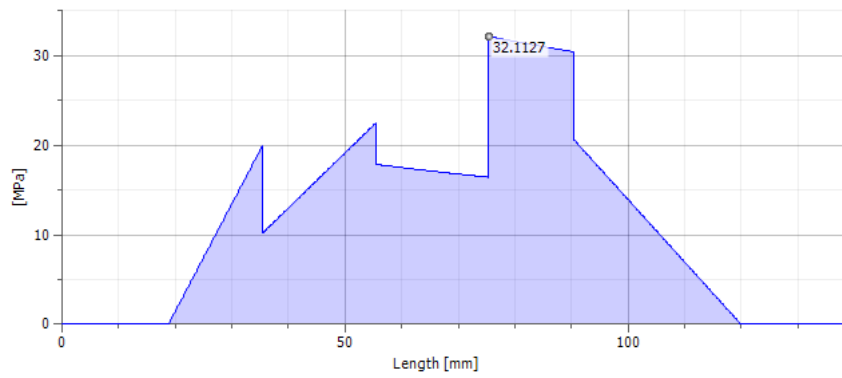
Deflection, YZ Plane



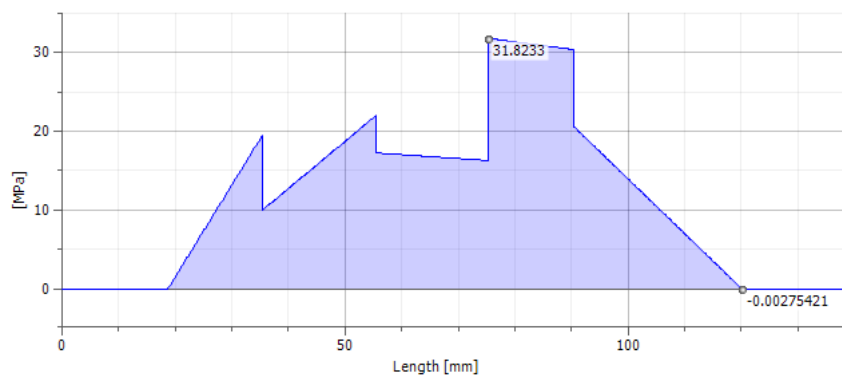
Deflection, XZ Plane



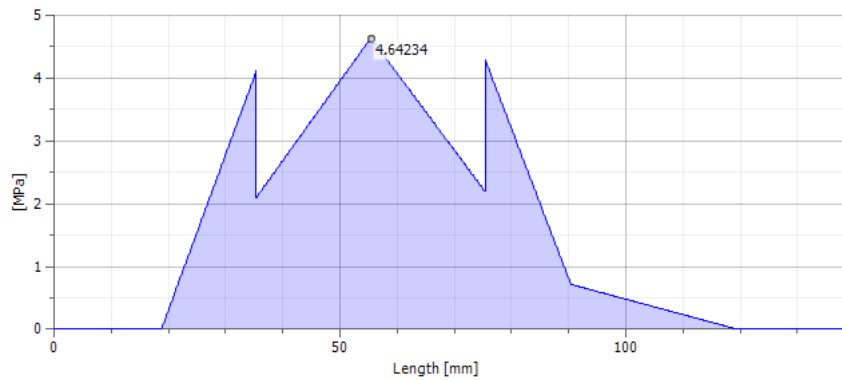
Bending Stress



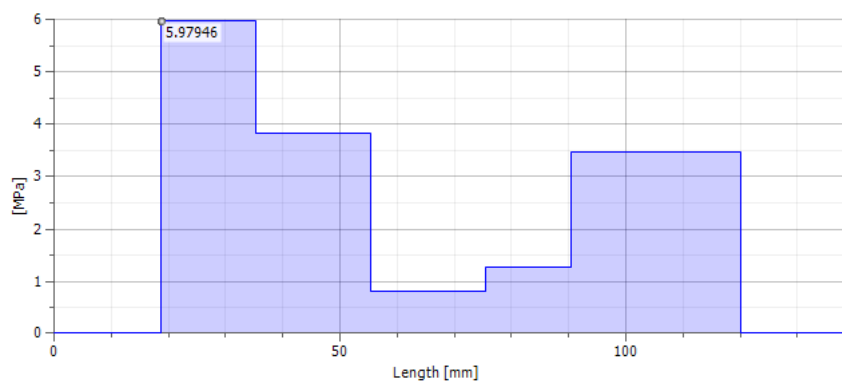
Bending Stress, YZ Plane



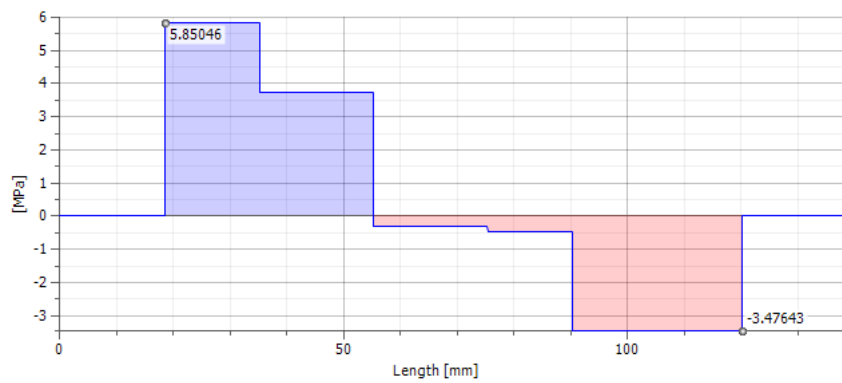
Bending Stress, XZ Plane



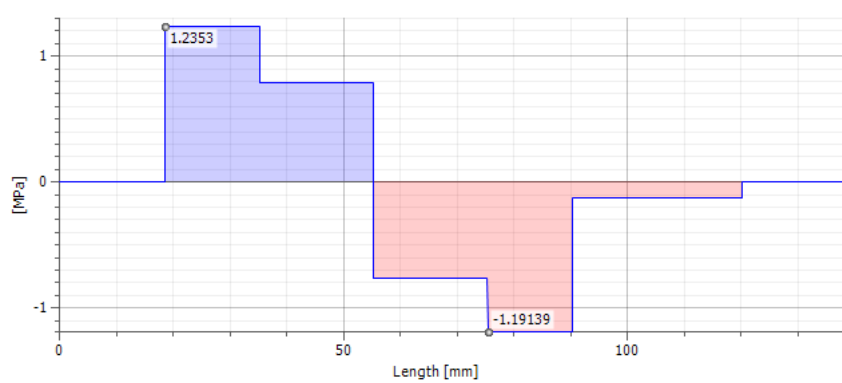
Shear Stress



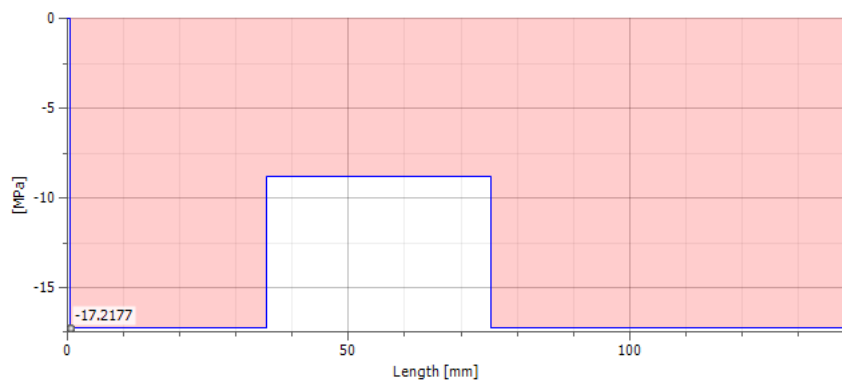
Shear Stress, YZ Plane



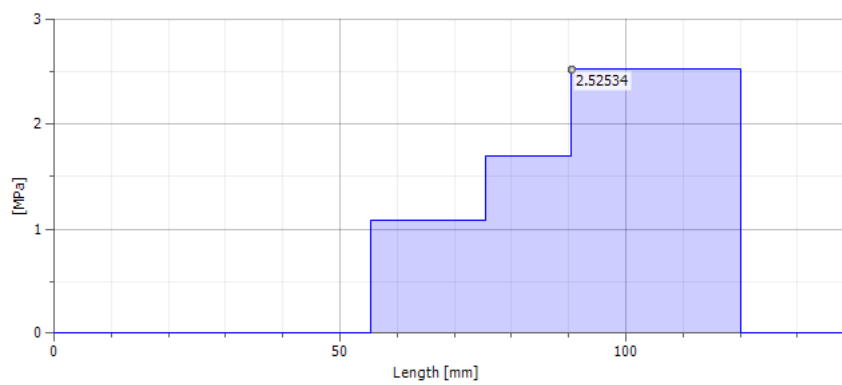
Shear Stress, XZ Plane



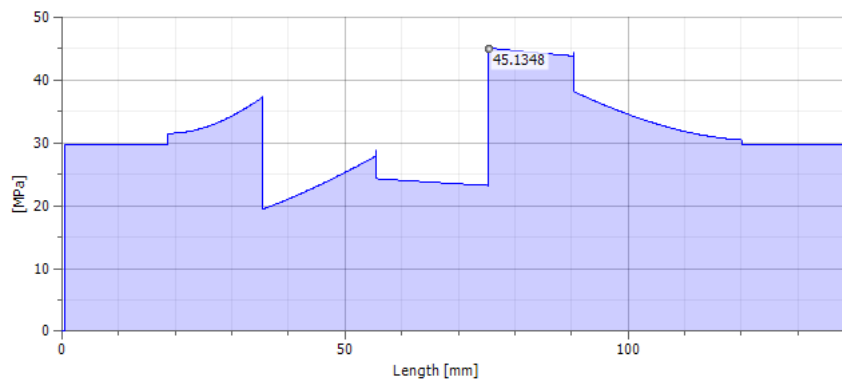
Torsional Stress



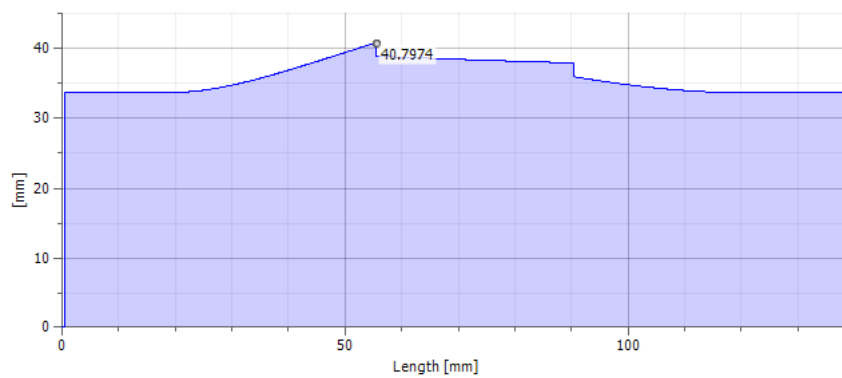
Tension Stress



Reduced Stress



Ideal Diameter



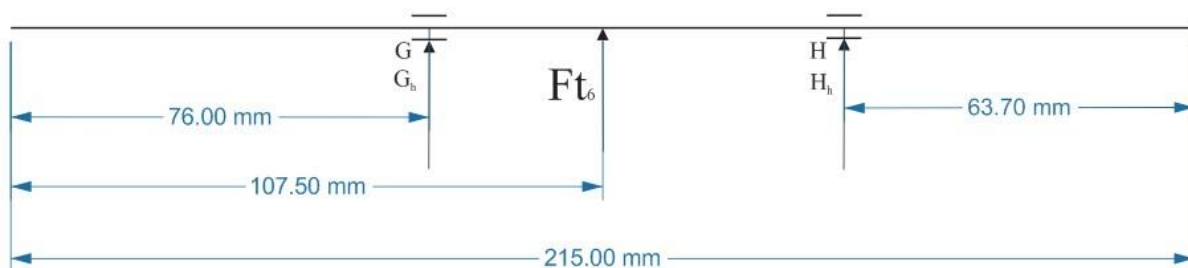
Summary of Messages

1:51:18 PM Calculation: Calculated.

4.4.4. Прорачун вратила IV

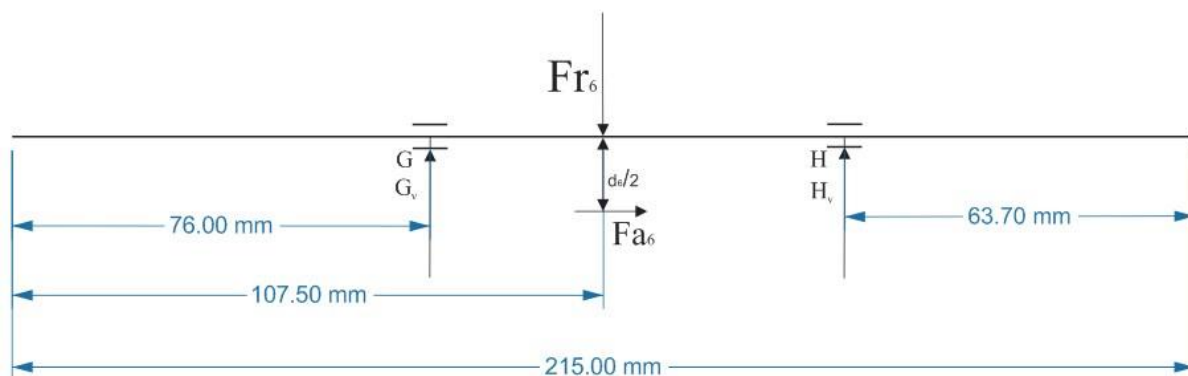
Вратило IV је излазно вратило редуктора. На ово вратило делују такође аксијална, радијална и обимна сила, момент савијања и увијања. Снага која долази на вратило IV је $P_{IV} = 2,823 \text{ kW}$, а број обртаја је $n_{IV} = 31,42 \text{ min}^{-1}$.

Сила која делује у хоризонталној равни на вратило IV је обимна сила F_{t6} , слика 33. У хоризонталној равни у ослоњцима G и H делују отпори G_h и H_h .



Слика 33. Вратило IV “H” раван

У вертикалној равни (слика 34), на вратило IV делују аксијална сила F_{a6} , радијална сила F_{r6} , момент савијања и увијања. На слици 34, може се уочити правац дејства ових сила.



Слика 34. Вратило IV “V” раван

У табели 7, налазе се вредности сила које делују на вратило IV.

Табела 7. Вредности сила и момената за вратило IV

Назив	Ознака	Мерна јединица	Вредност
Аксијална сила на зупчанику 6	F_{a6}	N	2128,141
Радијална сила на зупчанику 6	F_{r6}	N	3046,466
Обимна сила на зупчанику 6	F_{t6}	N	7942,331
Момент савијања на зупчанику 6	M_6	Nm	234,091
Момент увијања	T_6	Nm	858,203

Када се у софтвер Autodesk Inventor, модул Design Accelerator, прорачун вратила, унесу вредности сила из табеле 7, као и остали параметри, добија се прорачун вратила IV (прилог 7). У овом прилогу, налазе се сви релевантни подаци прорачуна за вратило IV, као и вредности отпора ослонаца на дијаграму “*Shear force*”. Вредности отпора ослонаца у тачкама G и H су $F_G = 2684,76$ N и $F_H = 5807,32$ N. Вредности отпора ослонаца биће искоришћени за прорачун лежајева.

Након прорачуна добија се модел вратила IV, које изгледа као на слици 35.



Слика 35. Вратило IV

На вратило IV поставља се зупчаник 6. Може се уочити да на вратилу постоји жлеб за клин где се поставља зупчаник. Како је у питању редуктор са гранањем снаге, десна и лева страна излаза вратила IV су исте и ту се такође налазе жлебови за клинове.

Shaft Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Calculation

Material

Material		User material
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa
Modulus of Rigidity	G	80000 MPa
Density	ρ	7860 kg/m^3

Calculation Properties

Include		
Yes	Density	ρ 7860 kg/m^3
Yes	Shear Displacement Ratio	β 1.188 ul
	Number of Divisions	1000 ul
	Mode of reduced stress	HMH

Loads

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load				Axial Force	Torque	Deflection				Deflection Angle
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction			Y	X	Size	Direction	
1	21.75 mm														858.203 N m	-4.353 microm	-1.640 microm	4.652 microm	200.64 deg	0.0
2	229.75 mm	-7942.331 N		-7942.331 N												2.589 microm	1.001 microm	2.776 microm	21.14 deg	0.0
3	229.75 mm													-2128.141 N		2.589 microm	1.001 microm	2.776 microm	21.14 deg	0.0
4	229.75 mm					234.091 N m	234.091 N m									2.589 microm	1.001 microm	2.776 microm	21.14 deg	0.0
5	229.75 mm	0.000 N	-3049.466 N	3049.466 N	-90.00 deg											2.589 microm	1.001 microm	2.776 microm	21.14 deg	0.0
6	407.75 mm														-858.203 N m	-3.517 microm	-1.359 microm	3.770 microm	201.12 deg	0.0

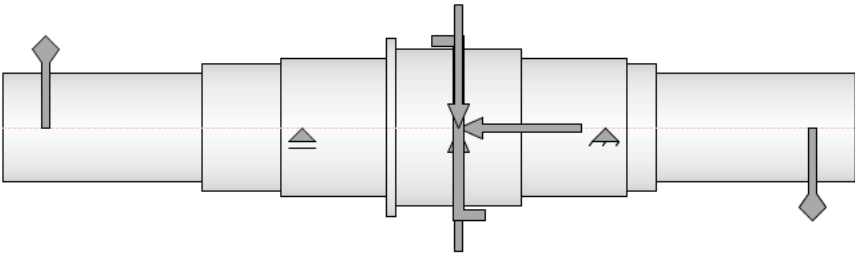
Supports

Index	Type	Location	Reaction Force					Yielding	Type	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	Axial Force			Y	X	Size	Direction	
1	Free	151 mm	-2243.447 N	-1474.742 N	2684.757 N	213.32 deg			User	-0.000 microm	-0.000 microm	0.000 microm	180.00 deg	0.00 deg
2	Fixed	303.5 mm	-5589.737 N	-1574.724 N	5807.316 N	195.73 deg	-2128.141 N		User	-0.000 microm	0.000 microm	0.000 microm	174.22 deg	0.00 deg

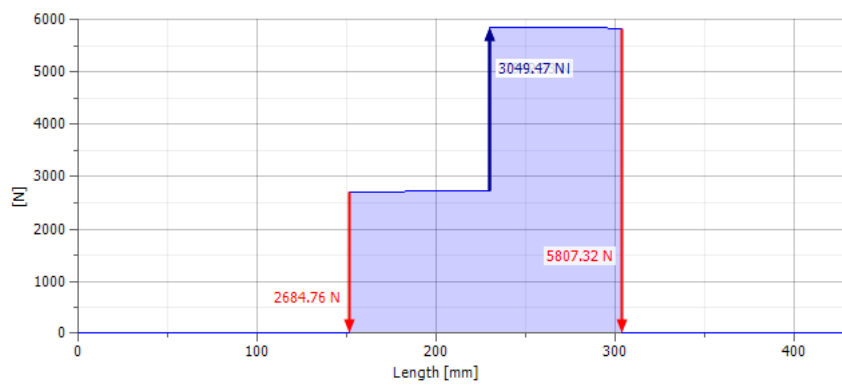
Results

Length	L	429.500 mm
Mass	Mass	11.130 kg
Maximal Bending Stress	σ_B	8.601 MPa
Maximal Shear Stress	τ_S	1.518 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	26.271 MPa
Maximal Tension Stress	σ_T	0.553 MPa
Maximal Reduced Stress	σ_{red}	45.502 MPa
Maximal Deflection	f_{max}	5.438 microm
Angle of Twist	φ	0.16 deg

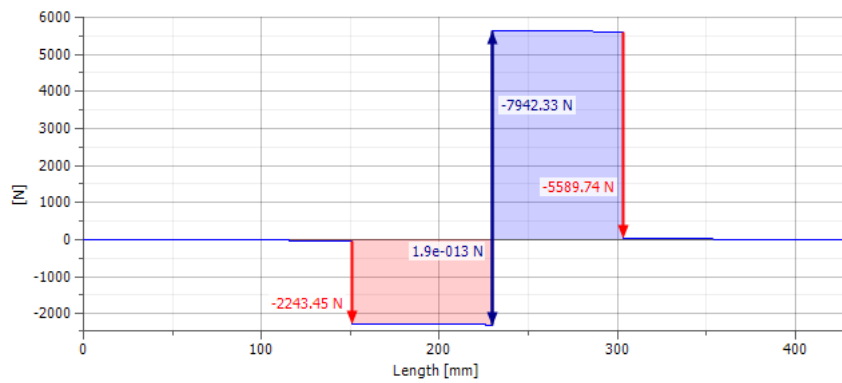
Preview



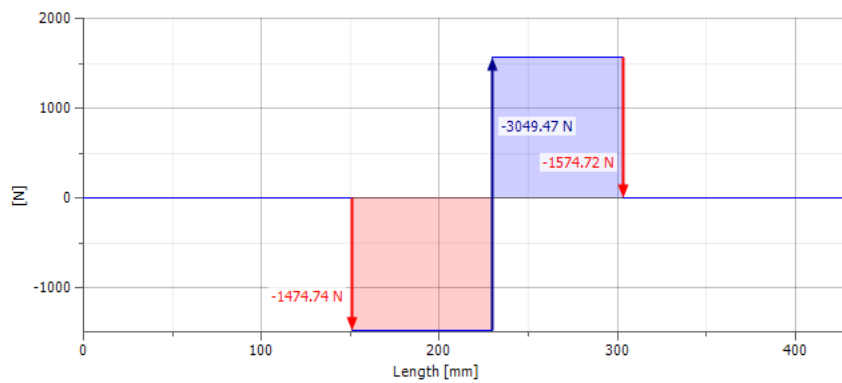
Shear Force



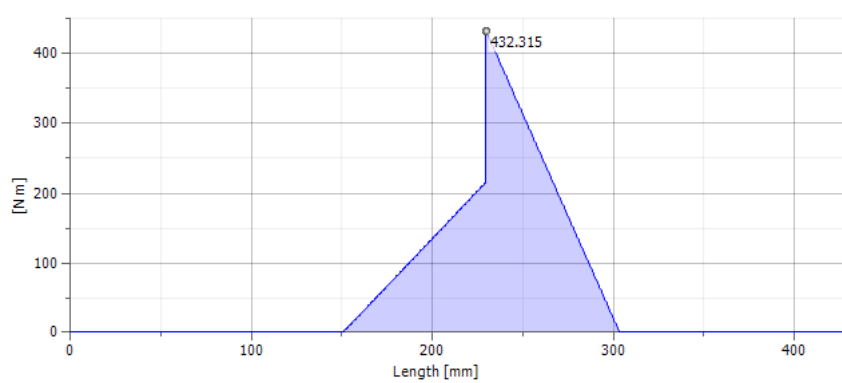
Shear Force, YZ Plane



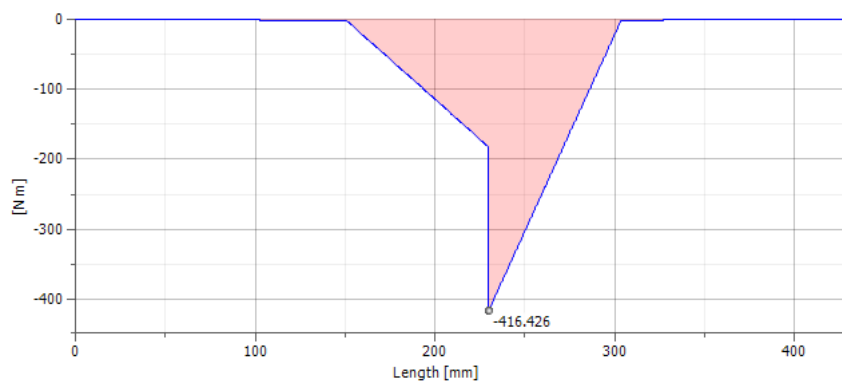
Shear Force, XZ Plane



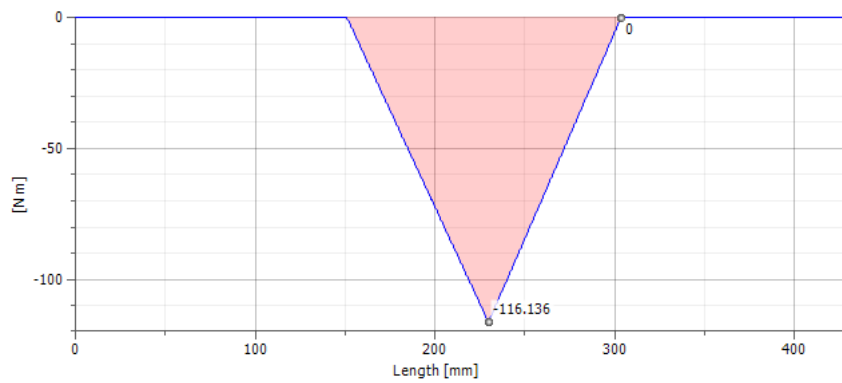
Bending Moment



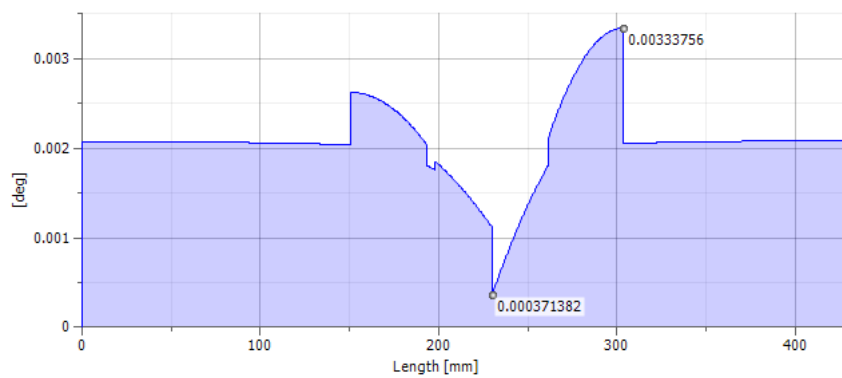
Bending Moment, YZ Plane



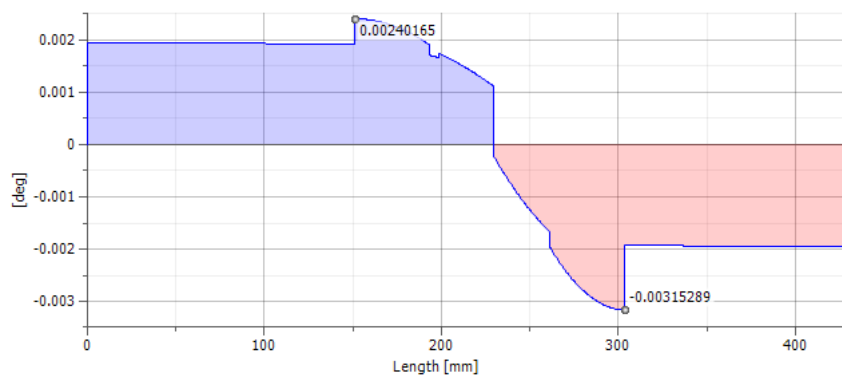
Bending Moment, XZ Plane



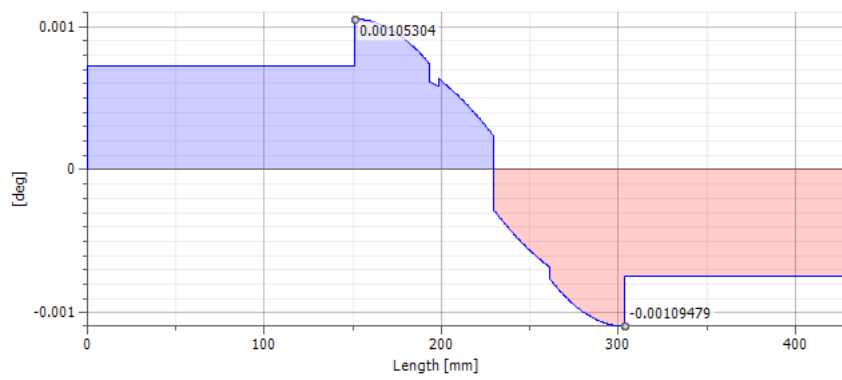
Deflection Angle



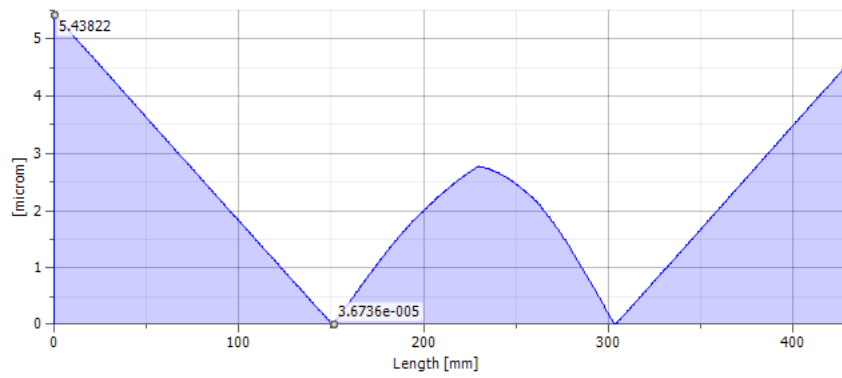
Deflection Angle, YZ Plane



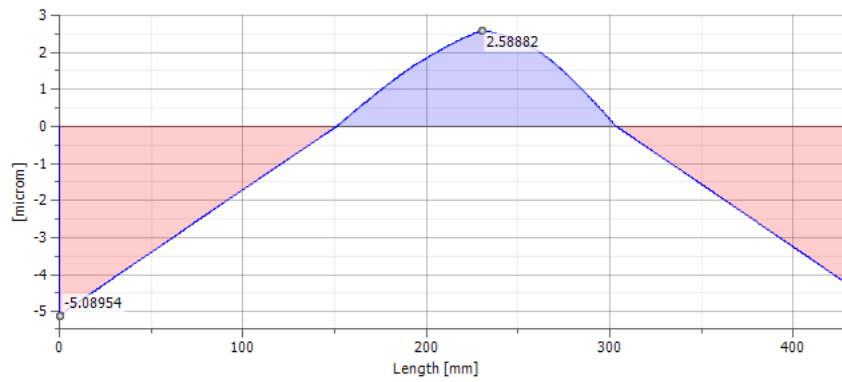
Deflection Angle, XZ Plane



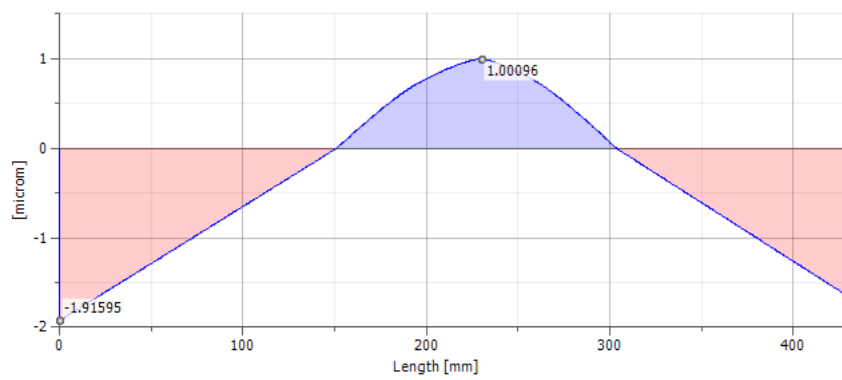
Deflection



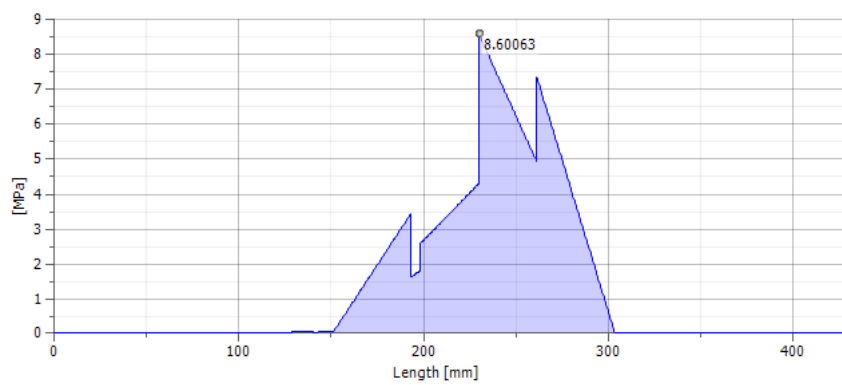
Deflection, YZ Plane



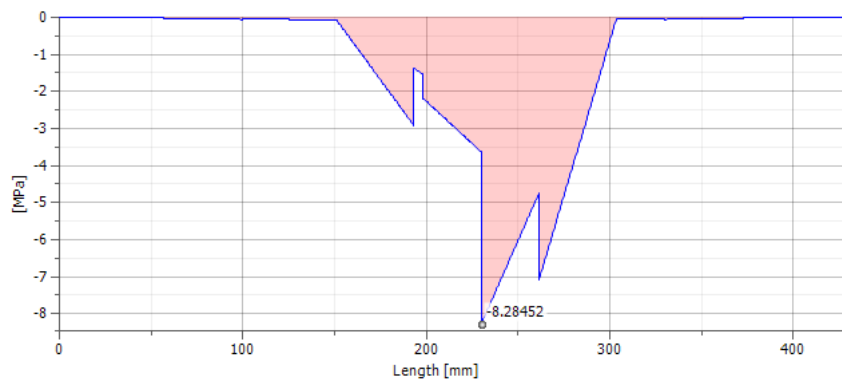
Deflection, XZ Plane



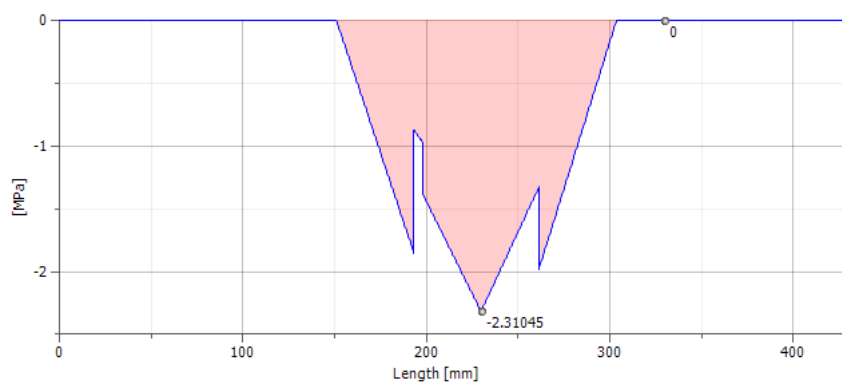
Bending Stress



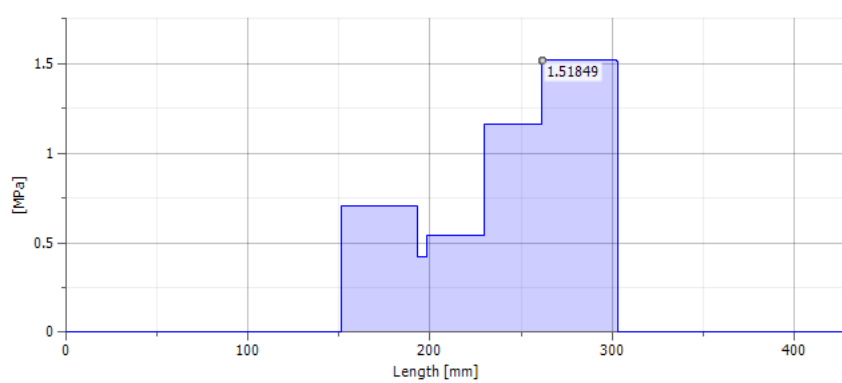
☒ Bending Stress, YZ Plane



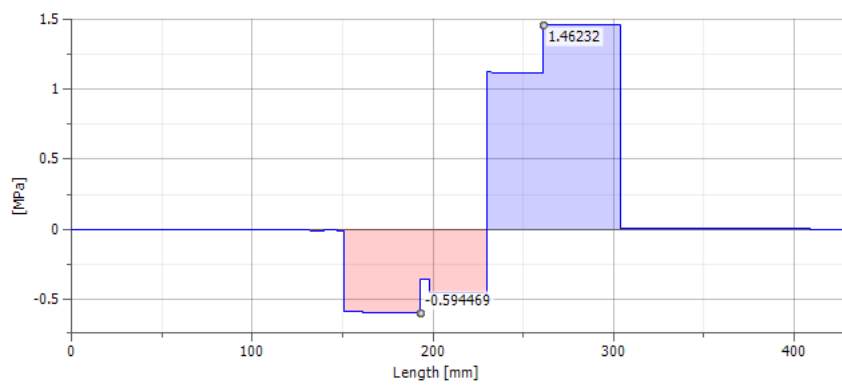
☒ Bending Stress, XZ Plane



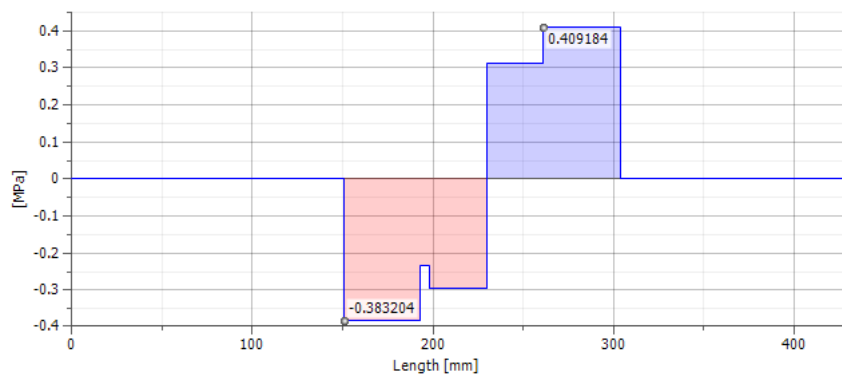
☒ Shear Stress



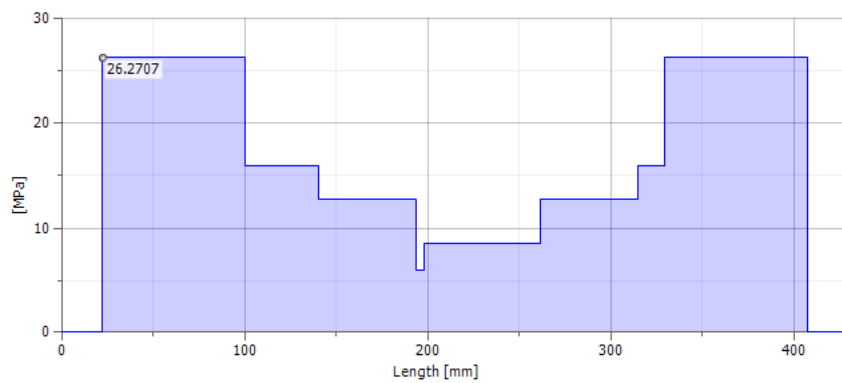
☒ Shear Stress, YZ Plane



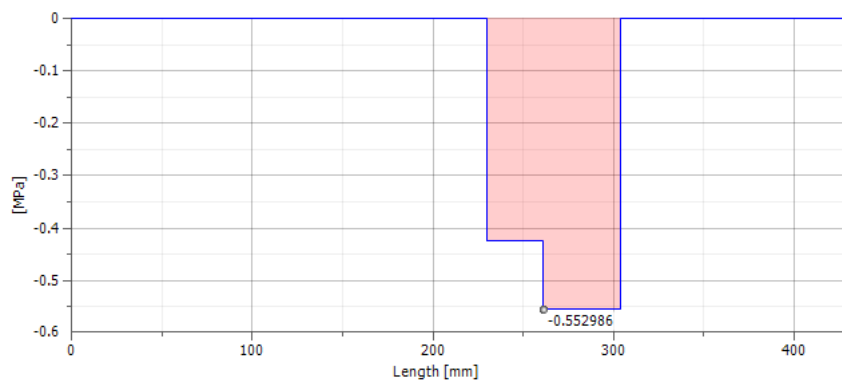
Shear Stress, XZ Plane



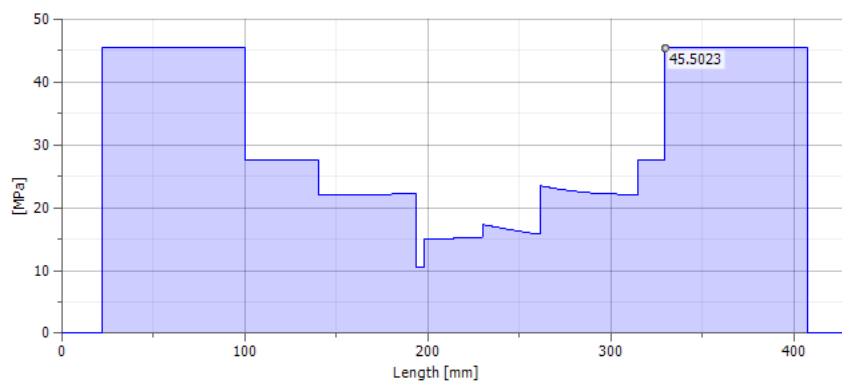
Torsional Stress



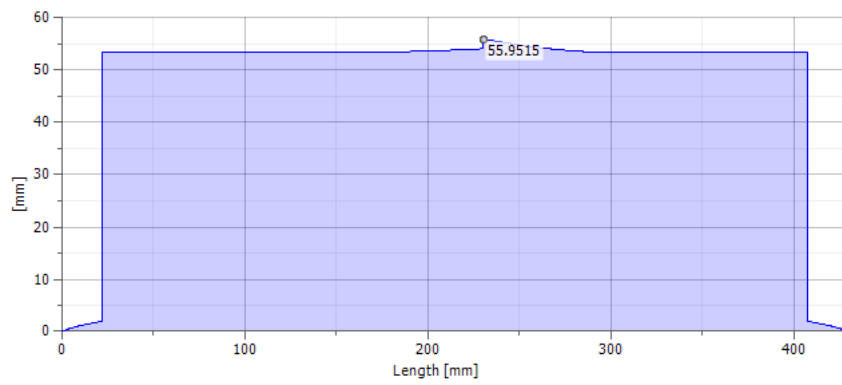
Tension Stress



Reduced Stress



▣ Ideal Diameter



▣ Summary of Messages

1:51:44 PM Calculation: Calculated.

4.5. Прорачун лежаја

4.5.1. Прорачун лежаја на месту А и В

Вратило I оптерећено је отпорима ослонаца у тачкама А и В. За ове две тачке потребно је прорачунати лежаје.

Лежаји у тачкама А и В прорачунавају се у софтверу *Autodesk Inventor* у оквиру модула *Design Accelerator*, прорачун лежаја.

За ослонац А потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки А: $F_{rA} = 435 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки А: $F_{aA} = 317 \text{ N}$
- Број обртаја вратила I: $n_I = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

Након уношења потребних података за прорачун, потребно је извршити избор серије лежаја, за вратило I то је серија 63. Конкретно на месту А то је лежај 6309. Уношењем података за прорачун добија се комплетан прорачун лежаја на месту А, прилог 8. Прилог 8, показује све потребне податке за лежај на месту А. Такође, може се видети у оквиру прилога 8, да изабрана серија лежаја задовољава све услове прорачуна.

За ослонац В потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки В: $F_{rB} = 1690 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки В: $F_{aB} = 317 \text{ N}$
- Број обртаја вратила I: $n_I = 1400 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

На месту В користи се иста серија лежаја, односно серија 63, конкретно на месту В то је лежај 6310. Такође, као и за место А и за место В добија се комплетан прорачун, прилог 9. У прилогу 9, може се видети да и овај лежај задовољава све услове прорачуна.

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	435 N
Bearing axial load	F_a	317 N
Speed	n	1400 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 625 - T1 (6309 - 45 x 100 x 25)
Bearing inside diameter	d	45.000 mm
Bearing outside diameter	D	100.000 mm
Bearing width	B	25.000 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	0 deg
Basic dynamic load rating	C	55300 N
Basic static load rating	C_0	31500 N
Dynamic radial load Factor	X	0.60 ul / 0.60 ul
Dynamic axial load Factor	Y	1.45 ul / 1.45 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.40 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0015 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	5371862 hr
Adjusted rating life	L_{na}	5371862 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	72.33414 ul
Power lost by friction	P_z	3.56742 W
Necessary minimum load	F_{min}	315 N
Static equivalent load	P_0	435 N
Dynamic equivalent load	P	721 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	1400 rpm
Minimum speed	n_{min}	1400 rpm
Maximum speed	n_{max}	1400 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:52:11 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:52:11 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	1690 N
Bearing axial load	F_a	317 N
Speed	n	1400 rpm
Required static safety factor	S_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 625 - T1 (6310 - 50 x 110 x 27)
Bearing inside diameter	d	50.000 mm
Bearing outside diameter	D	110.000 mm
Bearing width	B	27.000 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	0 deg
Basic dynamic load rating	C	65000 N
Basic static load rating	C_0	38000 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.40 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0015 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	677475 hr
Adjusted rating life	L_{na}	677475 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	22.48680 ul
Power lost by friction	P_z	9.29060 W
Necessary minimum load	F_{min}	380 N
Static equivalent load	P_0	1690 N
Dynamic equivalent load	P	1690 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	1400 rpm
Minimum speed	n_{min}	1400 rpm
Maximum speed	n_{max}	1400 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:52:42 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:52:42 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

4.5.2. Прорачун лежаја на месту С и D

Као и вратило I, вратило II је оптерећено на два места, а то су места С и D. Прорачун се врши у поменутом софтверу.

За ослонац С потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки С: $F_{rA} = 3530 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки С: $F_{aA} = 1343 \text{ N}$
- Број обртаја вратила II: $n_{II} = 451 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

На месту С изабрана је серија лежаја 322, конкретно то је лежај 32206. Прилог 10, представља детаљан прорачун лежаја на месту С, где се могу уочити сви потребни подаци, један од потребних података јесте да овај лежај задовољава све услове које је потребно да овај лежај испуни.

За ослонац D потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки D: $F_{rD} = 6099 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки D: $F_{aD} = 1343 \text{ N}$
- Број обртаја вратила II: $n_{II} = 451 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

На месту D, као и на месту С изабрана је иста серија лежаја 322. За место D то је лежај 32206 исти лежај као и на месту С. Разлика између ова два лежаја је да на месту С делује мања радијална сила него на месту D па је због тога потребно поновити прорачун и на месту D. Након уношења потребних података добија се прорачун лежаја за поменуто место, прилог 11. Може се уочити у прилогу 11 да изабрани лежај задовољава.

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	3530 N
Bearing axial load	F_a	1343 N
Speed	n	451 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32206 - 30 x 62 x 21.25)
Bearing inside diameter	d	30.000 mm
Bearing outside diameter	D	62.000 mm
Bearing width	B	21.250 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	14 deg
Basic dynamic load rating	C	50100 N
Basic static load rating	C_0	57000 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.37 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	255918 hr
Adjusted rating life	L_{na}	255918 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	16.14813 ul
Power lost by friction	P_z	4.49963 W
Necessary minimum load	F_{min}	1140 N
Static equivalent load	P_0	3530 N
Dynamic equivalent load	P	3530 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	451 rpm
Minimum speed	n_{min}	451 rpm
Maximum speed	n_{max}	451 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:53:38 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:53:38 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	6099 N
Bearing axial load	F_a	1343 N
Speed	n	451 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32206 - 30 x 62 x 21.25)
Bearing inside diameter	d	30.000 mm
Bearing outside diameter	D	62.000 mm
Bearing width	B	21.250 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	14 deg
Basic dynamic load rating	C	50100 N
Basic static load rating	C_0	57000 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.37 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	41353 hr
Adjusted rating life	L_{na}	41353 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	9.34641 ul
Power lost by friction	P_z	7.77418 W
Necessary minimum load	F_{min}	1140 N
Static equivalent load	P_0	6099 N
Dynamic equivalent load	P	6099 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	451 rpm
Minimum speed	n_{min}	451 rpm
Maximum speed	n_{max}	451 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:53:15 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:53:15 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

4.5.3. Прорачун лежаја на месту Е и F

Вратило III ослања се на месту Е и F. За места Е и F потребно је извршити одабир серије лежаја као и прорачун лежаја.

Серија лежаја која је изабрана за ова два места је 322 серија лежаја. На месту Е то је лежај 32208.

За ослонац Е потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки Е: $F_{rE} = 4373 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки Е: $F_{aE} = 2128 \text{ N}$
- Број обртаја вратила III: $n_{III} = 127 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

Прорачуном у софтверу *Autodesk Inventor* у оквиру модула *Design Accelerator*, прорачун лежаја, добија се прорачун лежаја за место Е, прилог 12. Из прилога 12, може се видети да изабрана серија лежаја задовољава.

Као и место Е, тако је и за место F изабрана иста ознака и серија лежаја. За ослонац F потребни су следећи подаци за прорачун:

- Радијална сила у тачки F: $F_{rF} = 7516 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки F: $F_{aF} = 2128 \text{ N}$
- Број обртаја вратила III: $n_{III} = 127 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

Разлика између ова два лежаја је мања радијална сила на месту Е него на месту F. Прилог 13, показује све потребне податке за лежај на месту F. Може се видети у прилогу да изабрани лежај задовољава.

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	4373 N
Bearing axial load	F_a	2128 N
Speed	n	127 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32208 - 40 x 80 x 24.75)
Bearing inside diameter	d	40.000 mm
Bearing outside diameter	D	80.000 mm
Bearing width	B	24.750 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	14 deg
Basic dynamic load rating	C	74800 N
Basic static load rating	C_0	86500 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.37 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	1689852 hr
Adjusted rating life	L_{na}	1689852 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	19.77970 ul
Power lost by friction	P_z	2.09642 W
Necessary minimum load	F_{min}	1730 N
Static equivalent load	P_0	4373 N
Dynamic equivalent load	P	4373 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	127 rpm
Minimum speed	n_{min}	127 rpm
Maximum speed	n_{max}	127 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:54:13 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:54:13 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	7516 N
Bearing axial load	F_a	2128 N
Speed	n	127 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32208 - 40 x 80 x 24.75)
Bearing inside diameter	d	40.000 mm
Bearing outside diameter	D	80.000 mm
Bearing width	B	24.750 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	14 deg
Basic dynamic load rating	C	74800 N
Basic static load rating	C_0	86500 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.37 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	277917 hr
Adjusted rating life	L_{na}	277917 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	11.50906 ul
Power lost by friction	P_z	3.60295 W
Necessary minimum load	F_{min}	1730 N
Static equivalent load	P_0	7516 N
Dynamic equivalent load	P	7516 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	127 rpm
Minimum speed	n_{min}	127 rpm
Maximum speed	n_{max}	127 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:54:36 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:54:36 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

4.5.4. Прорачун лежаја на месту G и H

Вратило IV ослања се на местима G и H. Места G и H представљају ослонце за које је потребно прорачунати лежаје.

Серија лежаја која је изабрана за вратило IV је 320. На месту G то је лежај 32014X.

Подаци који су потребни за прорачун лежаја на месту G су:

- Радијална сила у тачки G: $F_{rG} = 4373 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки G: $F_{aG} = 2128 \text{ N}$
- Број обртаја вратила IV: $n_{IV} = 31 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

Прорачун се врши у софтверу *Autodesk Inventor* у оквиру модула *Design Accelerator*, прорачун лежаја, где се добија прорачун лежаја на месту G, прилог 14. Прилог 14, показује да изабрана серија лежаја задовољава.

За место H изабрана је такође серија лежаја 320, односно лежај 32014X. Подаци који су потребни за прорачун лежаја су:

- Радијална сила у тачки H: $F_{rH} = 5807 \text{ N}$
- Аксијална сила у тачки H: $F_{aH} = 2128 \text{ N}$
- Број обртаја вратила IV: $n_{IV} = 31 \text{ min}^{-1}$
- Радни век лежаја: $L_h = 20000 \text{ h}$

Лежај на месту H се разликује од лежаја на месту G, јер је радијална сила на месту G мања. Прилог 15, показује прорачун лежаја на месту H где се може уочити да изабрана серија лежаја задовољава.

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	2665 N
Bearing axial load	F_a	2128 N
Speed	n	31 rpm
Required static safety factor	s_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32014X - 70 x 110 x 25)
Bearing inside diameter	d	70.000 mm
Bearing outside diameter	D	110.000 mm
Bearing width	B	25.000 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	16 deg
Basic dynamic load rating	C	101000 N
Basic static load rating	C_0	153000 N
Dynamic radial load Factor	X	0.40 ul / 0.40 ul
Dynamic axial load Factor	Y	1.50 ul / 1.50 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.40 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	20338703 hr
Adjusted rating life	L_{na}	20338703 hr

Calculated static safety factor	s_{0c}	57.41627 ul
Power lost by friction	P_z	0.88266 W
Necessary minimum load	F_{min}	3060 N
Static equivalent load	P_0	2665 N
Dynamic equivalent load	P	4258 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	31 rpm
Minimum speed	n_{min}	31 rpm
Maximum speed	n_{max}	31 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:55:00 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:55:00 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

Bearing Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

6/9/2018

Project Info

Guide

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Loads

Bearing radial load	F_r	5807 N
Bearing axial load	F_a	2128 N
Speed	n	31 rpm
Required static safety factor	S_0	2.0 ul

Bearing

Designation		DIN 720 (32014X - 70 x 110 x 25)
Bearing inside diameter	d	70.000 mm
Bearing outside diameter	D	110.000 mm
Bearing width	B	25.000 mm
Nominal contact angle of the bearing	α	16 deg
Basic dynamic load rating	C	101000 N
Basic static load rating	C_0	153000 N
Dynamic radial load Factor	X	1.00 ul / 1.00 ul
Dynamic axial load Factor	Y	0.00 ul / 0.00 ul
Limit value of F_a/F_r	e	0.40 ul
Static radial load Factor	X_0	0.60 ul
Static axial load Factor	Y_0	0.50 ul
Limiting speed lubrication grease	n_{Lim1}	0 rpm
Limiting speed lubrication oil	n_{Lim2}	0 rpm

Bearing Life Calculation

Calculation Method		ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990)
Required rating life	L_{req}	20000 hr
Required reliability	R_{req}	90 ul
Life adjustment factor for special bearing properties	a_2	1.00 ul
Life adjustment factor for operating conditions	a_3	1.00 ul
Working temperature	T	100 c
Factor of Additional Forces	f_d	1.00 ul

Lubrication

Friction factor μ	0.0018 ul
Lubrication	Grease

Results

Basic rating life	L_{10}	7229821 hr
Adjusted rating life	L_{na}	7229821 hr

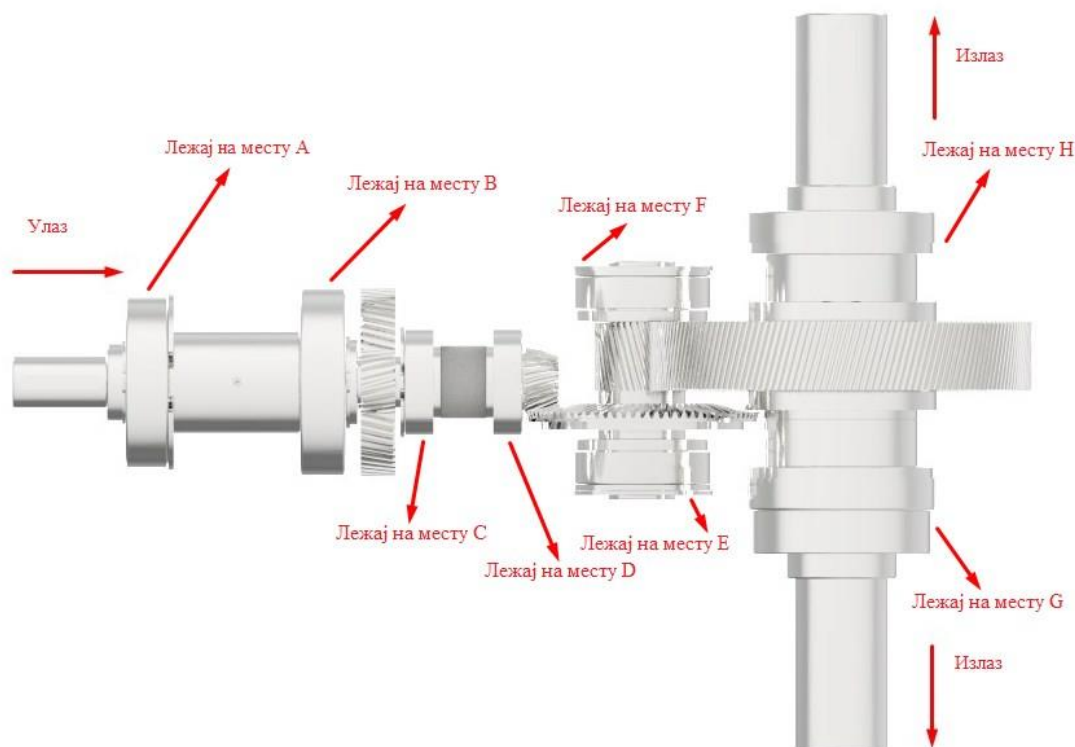
Calculated static safety factor	s_{0c}	26.34606 ul
Power lost by friction	P_z	1.20379 W
Necessary minimum load	F_{min}	3060 N
Static equivalent load	P_0	5807 N
Dynamic equivalent load	P	5807 N
Over-revolving factor	k_n	0.000 ul
Life adjustment factor for reliability	a_1	1.00 ul
Temperature factor	f_t	1.00 ul
Equivalent speed	n_e	31 rpm
Minimum speed	n_{min}	31 rpm
Maximum speed	n_{max}	31 rpm
Strength Check	Positive	

☐ Summary of Messages

1:55:25 PM : Limiting speed lubrication oil value not found, over-revolving factor can't be calculated.
1:55:25 PM Calculation: Calculation indicates design compliance!

5. Конструкција редуктора

Након прорачуна свих стандардних елемената редуктора потребно је извршити њихово склапање, као и конструисати нестандартне делове редуктора.



Слика 36. Шема редуктора

На слици 36 могу се уочити прорачунати елементи редуктора као што су зупчаници, вратила и лежаји. Поред тога, може се видети и распоред поменутих елемената. На самом улазу редуктора налази се вратило које је ослоњено, као што је поменуто на местима А и В. На завршетку вратила налази се зупчаник 1. На вратилу II се налази зупчаник 2 као и зупчаник 3, израђен изједна са вратилом. Ово вратило ослоњено је у ослоњцима С и D што се може видети на слици 36. Зупчаник 4 који је у спрези са зупчаником 3 и са њим чини конични зупчасти пар са косим зупцима, налази се на вратилу III које је израђено изједна са зупчаником 5. Ослоњци вратила III су на местима Е и F. Зупчаник 6 који је спрегнут са зупчаником 5 и заједно чине цилиндрични зупчасти пар са косим зупцима налази се на вратилу IV. Вратило IV ослоњено је у тачкама G и H где су постављени лежаји. Вратило IV представља и излазно вратило редуктора. Ово вратило се симетрично поставља у кућиште редуктора. Уз помоћ вратила IV извршено је гранање снаге на обе стране редуктора.

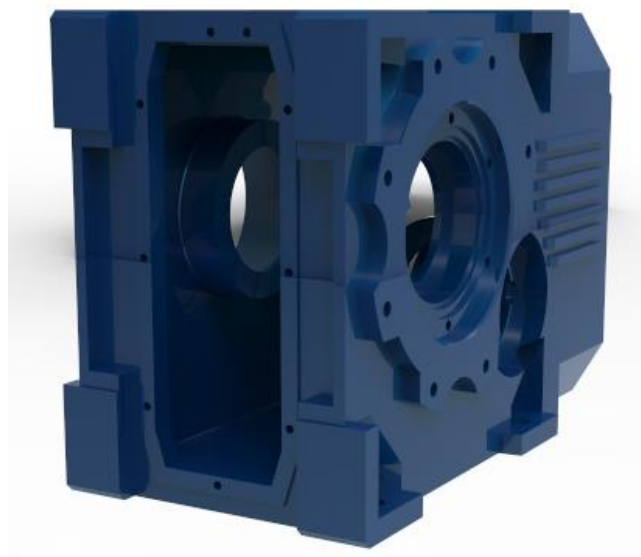
На слици 37, може се видети кућиште редуктора.

Димензије кућишта редуктора су: ширина 237 mm, дужина 438 mm и висина кућишта 325 mm. Тежина кућишта је 80,4 килограма. Материјал од кога је израђено кућиште је EN – GJL-200 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је сиви лив ознаке SL200.



Слика 37. *Кућиште редуктора*

На кућишту редуктора (слика 37), могу се уочити отвори за прирубнице са леве и десне стране, као и рупе за њихово причвршћивање. На предњој страни кућишта налази се 10 рупа са навојем М10 који служе за причвршћивање поклопца редуктора. Кућиште редуктора ослања се на стопице. Унутар кућишта налазе се места на која се постављају лежајеви за вратила II, III и IV. Дебљина зидова кућишта креће се од 10 до 15 mm.



Слика 38. *Изглед задњег дела кућишта*

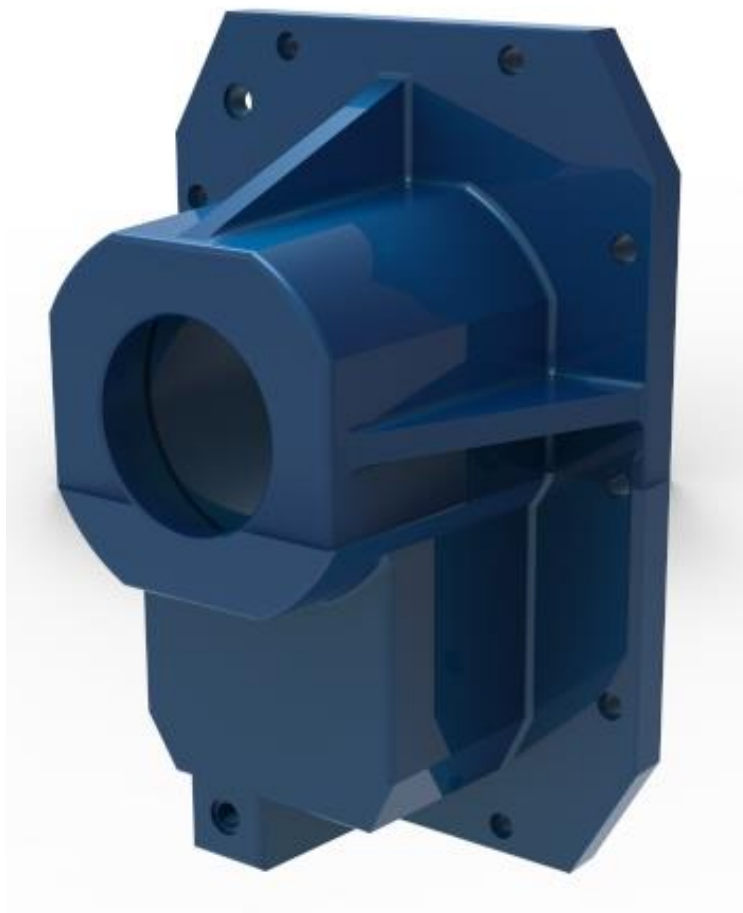
Са задње стране кућишта налази се отвор помоћу кога се врши монтирање лежаја, као и зупчаника на вратила. Изглед задње стране кућишта приказан је на слици 38. Овај отвор може служити за контролу и преглед елемената редуктора. Овај отвор затвара се помоћу поклопца задњег дела.



Слика 39. Изглед задњег поклопца: а) са задње стране; б) са предње стране

Слика 39, показује изглед задњег поклопца. Димензије задњег поклопца су: ширина 124 mm, дужина 14 mm и висина задњег поклопца 304 mm. Тежина задњег поклопца је 1,609 килограма. Материјал од кога је израђен задњи поклопац је EN – GJL-200 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је сиви лив ознаке SL200. Задњи поклопац се везује за кућиште редуктора помоћу М6 завртњева. Такође, на поклопцу се налази се и отвор пречника 6 милиметара где се уграђује чивија која служи за правилно монтирање задњег поклопца.

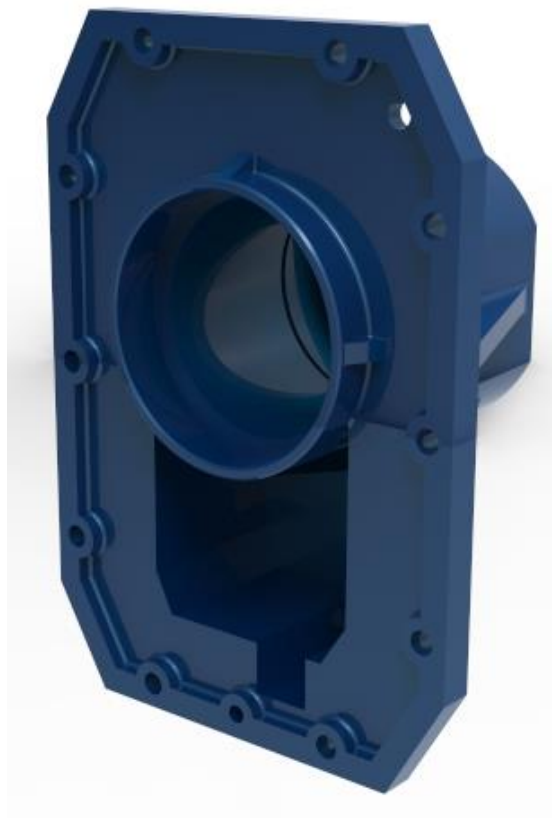
Предњи поклопац редуктора приказан је на слици 40. Димензије поклопца су: ширина 207 mm, дужина 141 mm и висина поклопца 298 mm. Тежина поклопца је 11,077 килограма. Материјал од кога је израђено кућиште је EN – GJL-200 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је сиви лив ознаке SL200.



Слика 40. *Предња страна поклопца редуктора*

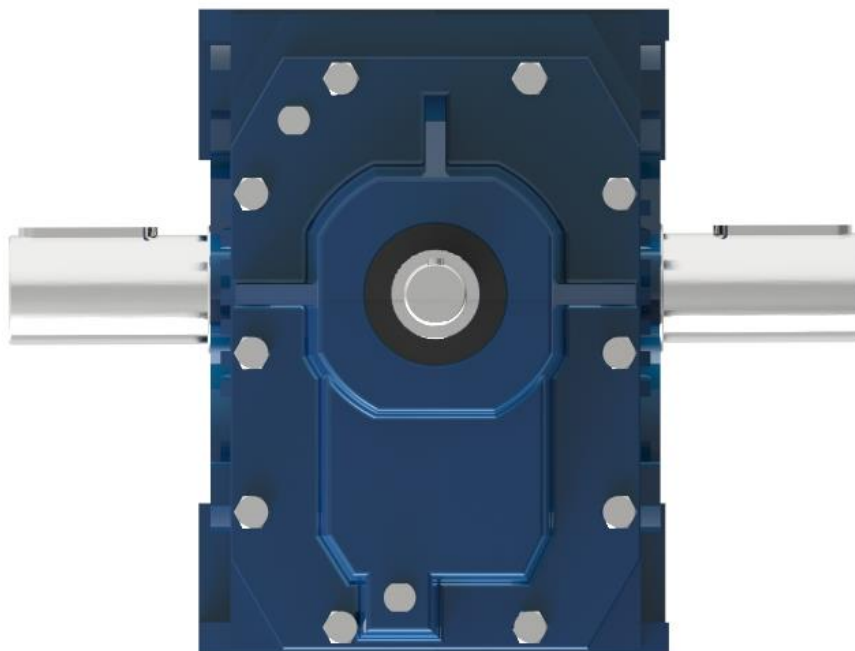
На слици 40, види се предњи део поклопца редуктора. Могу се уочити три ребра која ојачавају део где је постављено вратило I. Такође, могу се уочити и отвори кроз које се постављају завртњеве за везивање поклопца за кућиште редуктора. Поред ових отвора налази се и отвор за испуштање редукторског уља. Кроз централни отвор поставља се вратило I.

Задња страна поклопца редуктора приказана је на слици 41. На овој слици може се видети отвор где се поставља вратило I као и четири ребра која ојачавају отвор где се поставља вратило I са лежајима.



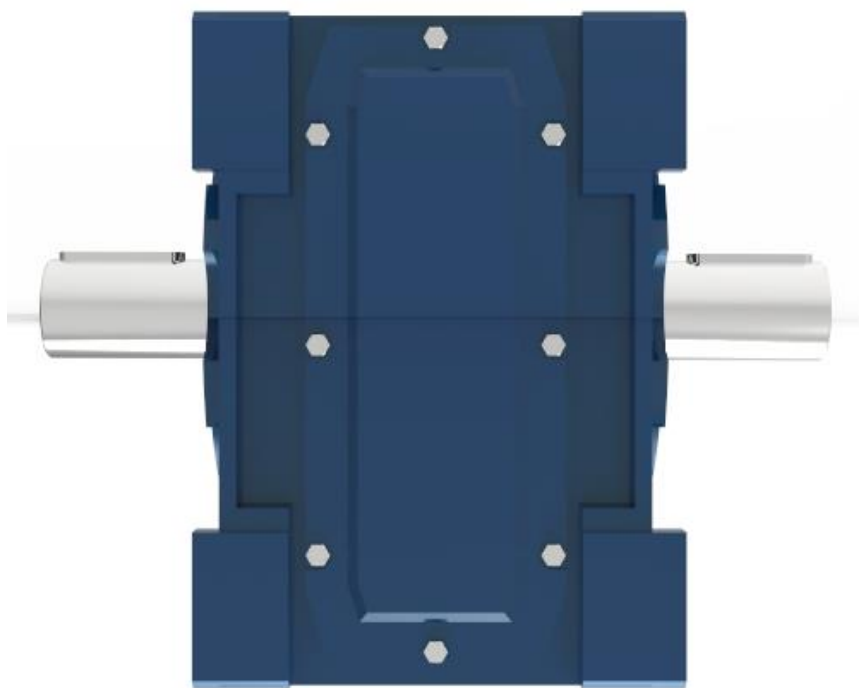
Слика 41. *Задња страна поклопца редуктора*

На слици 42, може се видети предњи део редуктора.



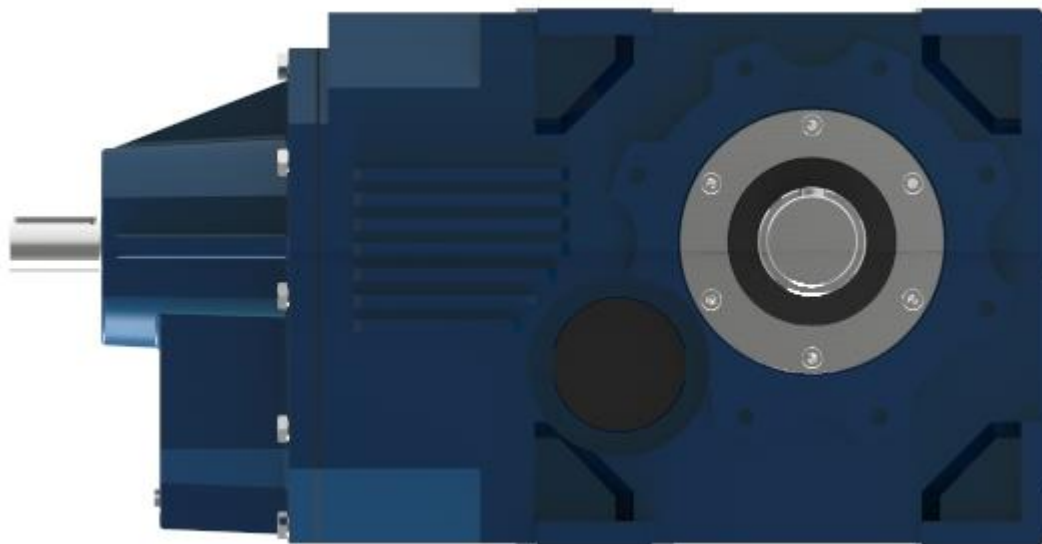
Слика 42. *Предњи део редуктора*

Задњи део редуктора приказан је на слици 43.



Слика 43. *Задњи део редуктора*

Слика 44, показује бочну страну редуктора. Обе бочне стране редуктора су симетричне. На бочној страни редуктора може се уочити прирубница која служи да затвори простор између вратила и кућишта, као и да обезбеди да се вратило IV не креће аксијално. Између прирубнице и кућишта налази се заптивни елемент.



Слика 44. *Бочна страна редуктора*

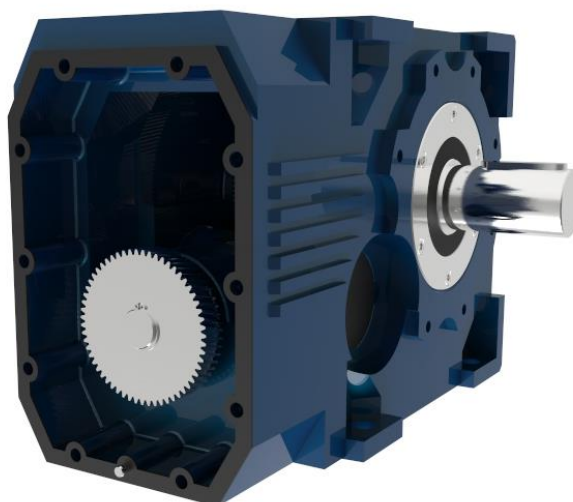
Изглед редуктора у изометрији приказан је на слици 45. Габаритне димензије редуктора су: ширина 237 mm, дужина 626 mm и висина 325 mm. Тежина редуктора је 136,638 килограма. Редуктор има три степена преноса, стварни преносни однос редуктора је $i = 44,41$, улазни број обртаја је $n_{ul} = 1400 \text{ min}^{-1}$, а излазни број обртаја $n_{iz} = 31,42 \text{ min}^{-1}$. Обртни момент на улазу је $T_{ul} = 20,463 \text{ N}$, док је обртни момент на излазу $T_{iz} = 858,203 \text{ N}$.

Овакав модел редуктора је веома применљив у индустрији с тога се све више користи и производи. Конструкција је тако урађена да је редуктор веома лако расклопљив и склопљив.



Слика 45. *Изглед редуктора у изометрији*

Остали елементи редуктора, као и димензије свих елемената редуктора могу се видети у техничкој документацији. На слици 46, можемо видети редуктор без поклопца.



Слика 46. *Редуктор без поклопца*

6. Структурна анализа

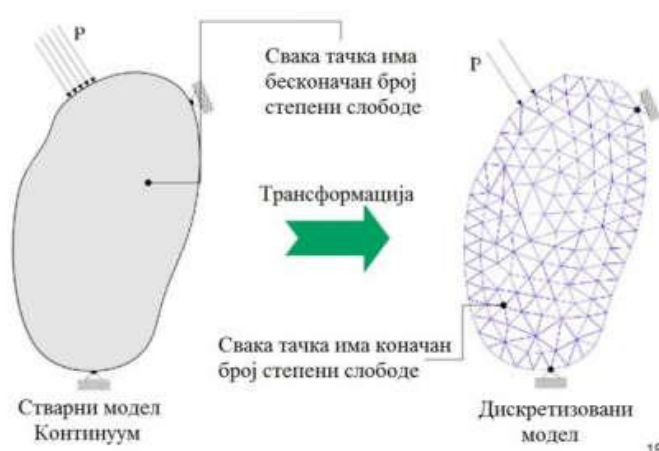
Структурном анализом оцењују се се маханичке и функционалне карактеристике анализиране конструкције на бази критеријума које треба да задовољи. Методе структурне анализе деле се на аналитичке и нумеричке. За разлику од аналитичких метода, чија је примена ограничена на једноставне проблеме, нумеричке методе налазе примену код реалних структура у пракси.

У овој глави биће изложене основне поставке методе коначних елемената, нумеричке методе структурне анализе примењене у раду за анализу кућишта редуктора, као и поклопца редуктора.

6.1. Метод коначних елемената

Метод коначних елемената (МКЕ) представља најопштији нумерички метод примењен у готово свим наукама, те и у инжењерским областима. Предност ове методе у односу на остале је пре свега њена општост примене на линеарне и нелинеарне проблеме, релативна једноставност у основним поставкама, као и погодност у погледу примене рачунара. Ова метода је применљива на област солида, флуида, провођења топлоте, као и на уопштене проблеме поља физичких величина и спрегнуте проблеме. Разлог примене нумеричких метода, те и коришћење МКЕ, везан је директно за сложеност проблема који се анализира. Наиме, у случајевима када анализирана структура има сложену геометрију, или је изложена сложенем оптерећењу, није могуће наћи решење у аналитичком облику, с обзиром да је реч о решавању диференцијалних и парцијалних диференцијалних једначина. Практична примена ове методе подразумева решавање великих система алгебарских једначина. Број ових једначина може ићи и до неколико десетина хиљада, те се може закључити да је сам развој МКЕ директно везан за појаву рачунара, [3,4].

Концепт методе коначних елемената састоји се у дискретизацији континуума елементима коначних димензија-коначним елементима, слика 47.



Слика 47. Приказ континуума дискретизованог коначким елементима

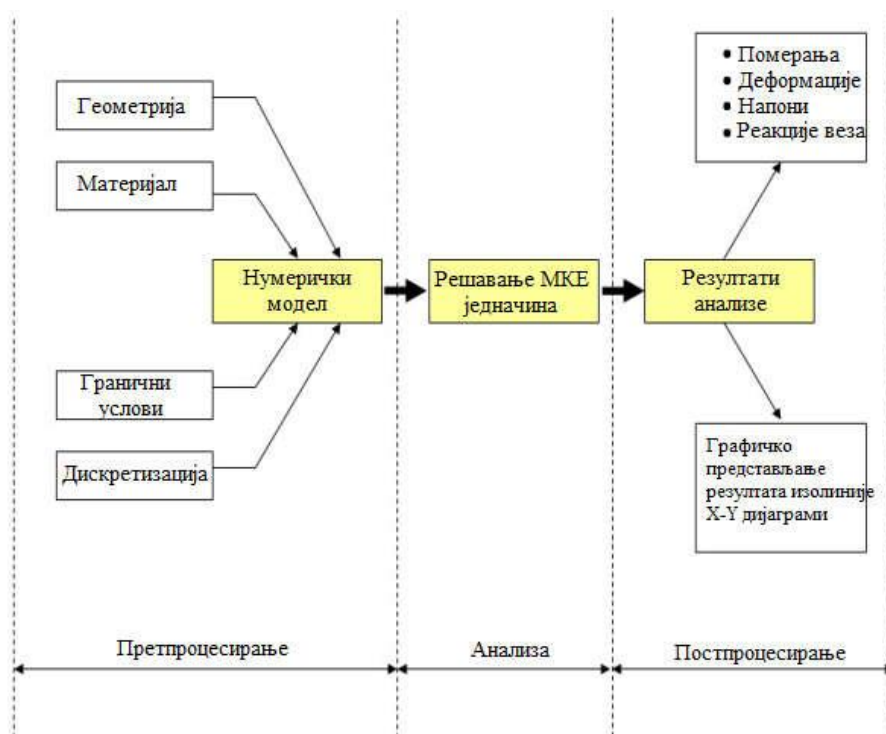
Анализа овом методом подразумева избор коначних елемената који адекватно описују понашање конструкције про спољашњем утицају. Сваки од елемената дефинисан је својим обликом, бројем чворова и међучворова, као и интерполационим функцијама којима се апроксимира поље непознатих у елементу (то може бити скалар – температурко поље, или вектор – нпр. хоризонтално или вертикално померање), [3].

МКЕ заснована је на:

- подели комплексног облика на мале елементе,
- формирању једначина равнотеже сваког елемента,
- формирању система једначина,
- решавању система једначина добијајући апроксимативно нумеричко решење за модел, [5].

6.2. Програмски пакети за анализу МКЕ

Принцип рада софтвера за методу коначних елемената представљен је сликом 48.



Слика 48. Принцип рада софтвера за МКЕ, [5]

Дакле, софтвери за анализу МКЕ се састоје из три целине: предпроцесора, солвера и постпроцесора.

Предпроцесор врши дефинисање типа коначних елемената, као и генерисање мреже коначних елемената које се може извршити аутоматски или ручно.

Осим тога, у оквиру предпроцесирања врши се додељивање карактеристика материјала, задавања спољашњих оптерећења, као и постављање граничних услова.

Солвер учитава модел креиран у предпроцесору и врши математичку репрезентацију модела у облику система једначина, а затим и њихово израчунавање. На овај начин се израчунавају вредности напона, деформација, брзина итд., за сваки чвор коначних елемената континуума. Тако добијени резултати шаљу се постпроцесору који може аутоматски да их чита.

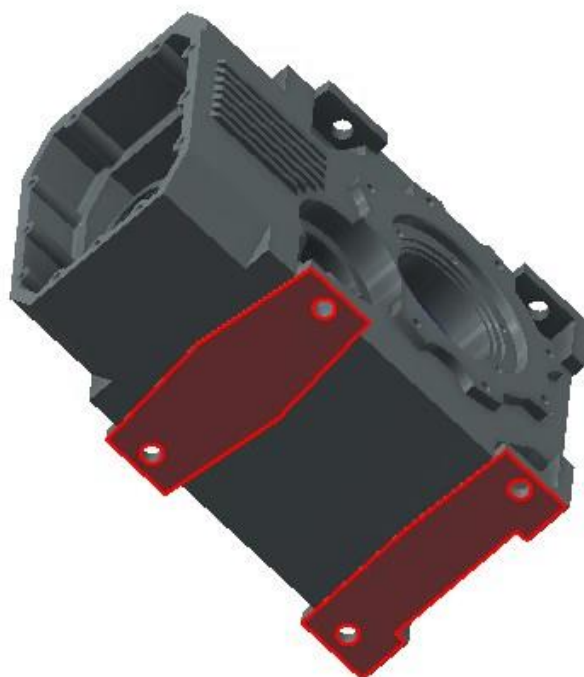
Постпроцесор врши читање резултата анализе, као и њихово приказивање у виду дијаграма, табела, облика модова природних учестаности и осталих облика графичког приказа.

7. Нумеричка анализа кућишта и поклопца редуктора методом коначних елемената

Структурна анализа кућишта и поклопца редуктора урађена је у програмском пакету *Autodesk Inventor*. Извршена је и симулација оптерећења које преносе лежаји на кућиште и поклопац, у оквиру модула *Simulations*. На тај начин, добијени су резултати највећих напона и померања.

7.1. МКЕ анализа кућишта редуктора

Пре почетка симулације неопходно је извршити избор материјала. Материјал кућишта, као што је већ поменуто у предходним главама је EN-GJL-200 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је сиви лив ознаке SL200. Након избора материјала, врши се задавање ограничења. Стопице кућишта су фиксиране, што се може видети на слици 49.



Слика 49. Постављање ограничења на кућиште

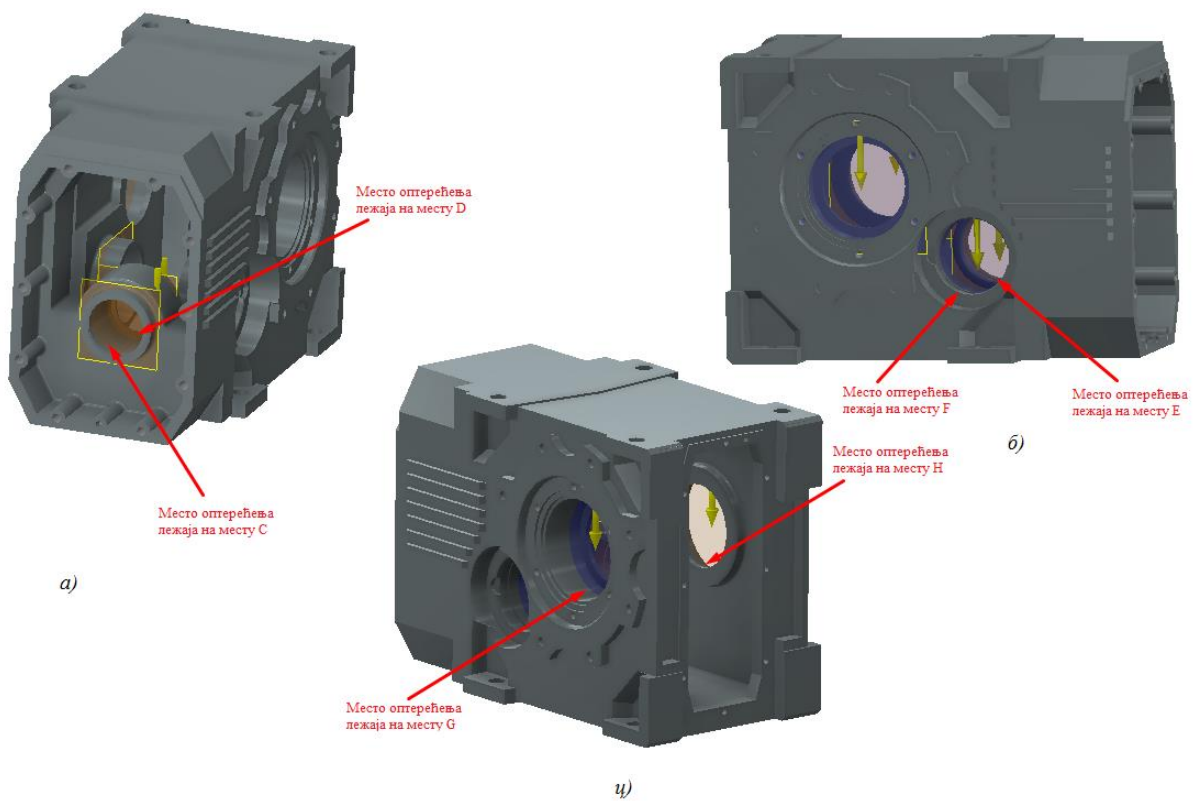
Оптерећење *Bearing loads*, поставља се на места где се налазе лежаји. Код кућишта то су места C, D, E, F, H и G, јер се у кућишту редуктора налази шест лежаја.

Вредности ових оптерећења приказани су у табели 8.

Табела 8. Приказ вредности оптерећења лежаја у кућишту

Р.б.	Назив	Вредност
1.	Место С	3529,82 N
2.	Место D	6098,6 N
3.	Место E	4373,17 N
4.	Место F	7515,82 N
5.	Место G	2664,75 N
6.	Место H	5807,32 N

На слици 50 приказана су места где се постављају оптерећења. На овој слици могу се уочити места E и F, која се налазе на вратилу III, као G и H, која се налазе на вратилу IV. Такође, могу се уочити места C и D где се преносе оптерећења са вратила II.



Слика 50. Задавање оптерећења 'Bearing loads' на кућиште: а) Оптерећење C и D; б) Оптерећење E и F; в) Оптерећење G и H

Изглед генерисане мреже коначних елемената кућишта редуктора приказан је на слици 51.

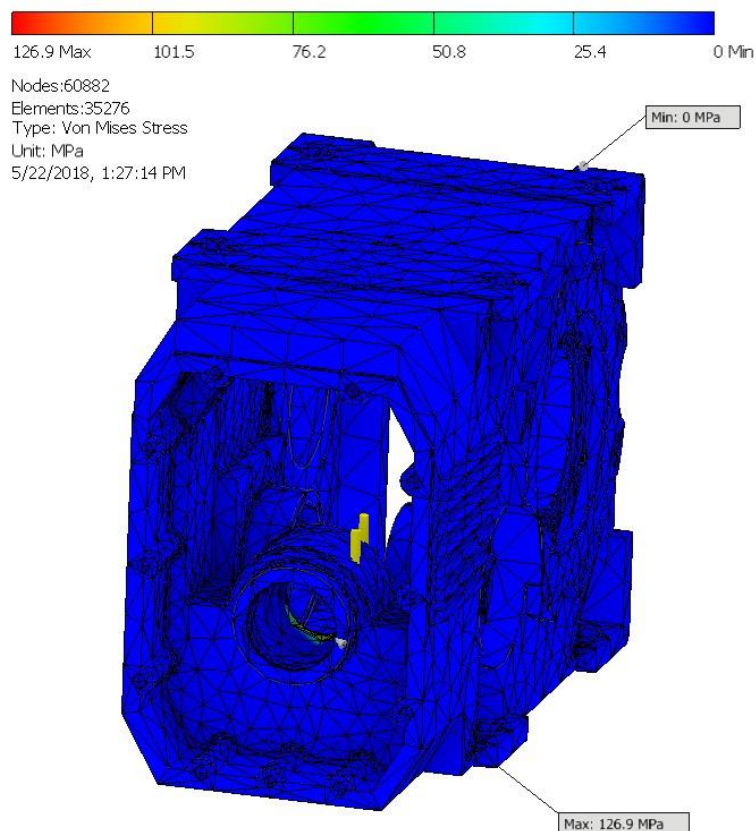
Nodes:60882
Elements:35276



Слика 51. Изглед генерисане мреже коначних елемената кућишта редуктора

На слици 51, у горњем левом углу може се уочити број чворова који износи 60882 и број коначних елемената 35276.

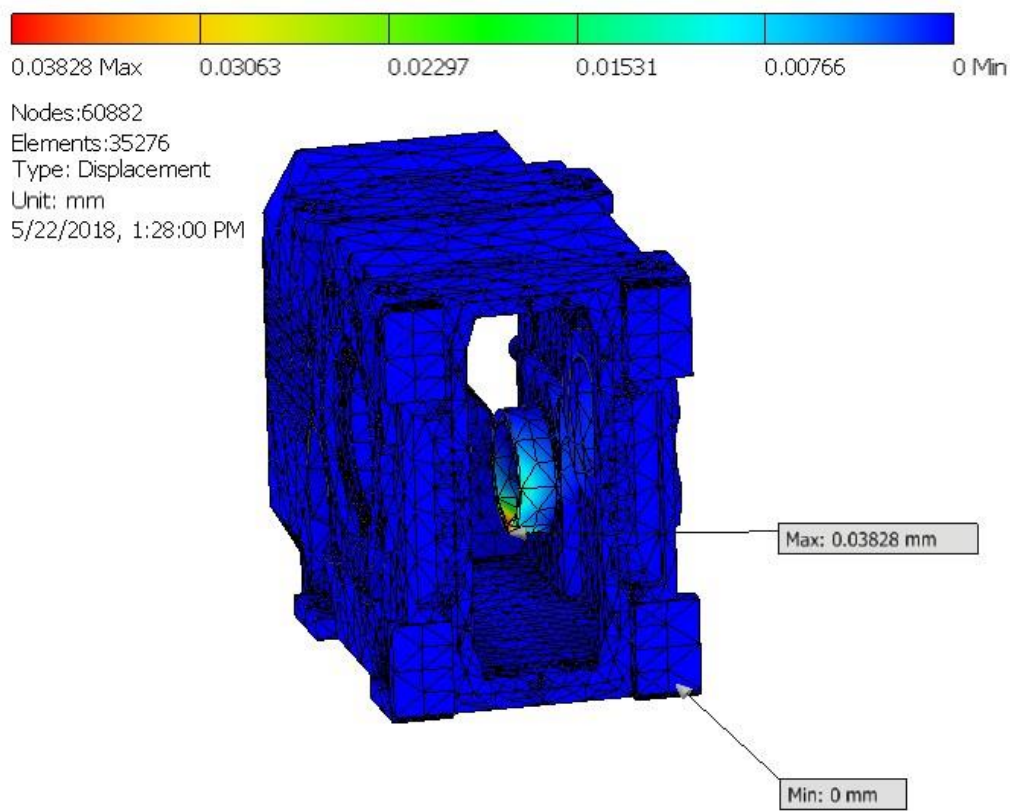
Расподела *Von-Misses*-ових напона приказана је на слици 52.



Слика 52. Расподела *Von-Misses*-ових напона

Максимална вредност *Von-Misses* –ових напона износи $\sigma_{\max} = 126,9$ МПа и ова вредност, као што се може видети на слици 52, смештена је у зони отвора за вратило II.

Расподела померања може се видети на слици 53.



Слика 53. Расподела померања кућишта редуктора

Максимална вредност померања за кућиште редуктора износи 0,03828 mm, а место максималног померања налази се у отвору где се поставља лежај на месту ослоња F, слика 53.

7.1.1. Дискусија добијених резултата за кућиште редуктора

На основу добијених резултата, након симулације у софтверу *Autodesk Inventor*, закључује се да је добијена вредност напона $\sigma_{\max} = 126,9$ МПа у границама за изабрани материјал кућишта. Вредност померања је такође у дозвољеним границама.

7.2. МКЕ анализа поклопца редуктора

Материјал поклопца редуктора је исти као и материјал кућишта, односно то је материјал EN-GJL-200 према стандарду EN 10027-2 или по SRPS стандарду то је сиви лив ознаке SL200.

Задавање ограничења приказано је на слици 54.



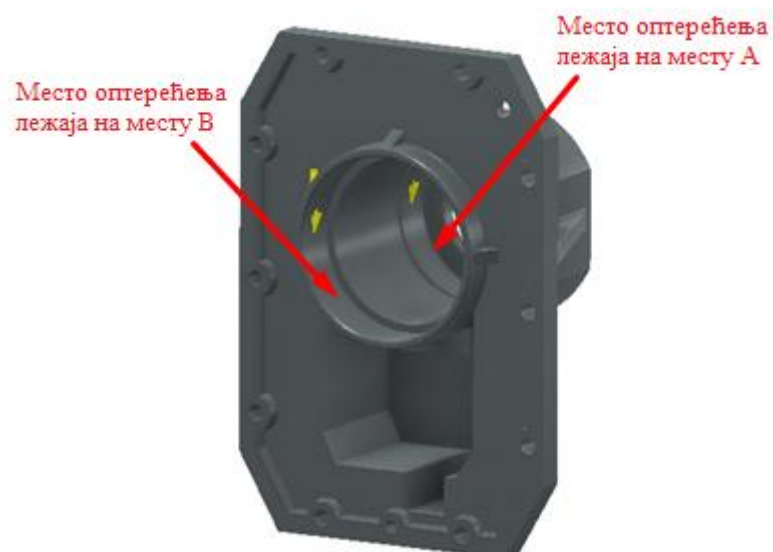
Слика 54. Задавање ограничења код поклопца редуктора

Оптерећење *Bearing loads* поставља се на места где се налазе лежаји у поклопцу, то су места А и В. Вредности ових оптерећења налазе се у табели 9.

Табела 9. Приказ вредности оптерећења за поклопац редуктора

Р.б.	Назив	Вредност
1.	Место	435 N
2.	Место	1690 N

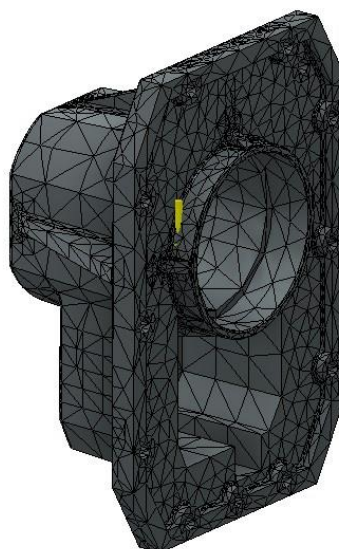
На слици 55 су приказана места где се задају оптерећења на поклопцу редуктора. То су места А и В.



Слика 55. Задавање оптерећења на поклопац редуктора

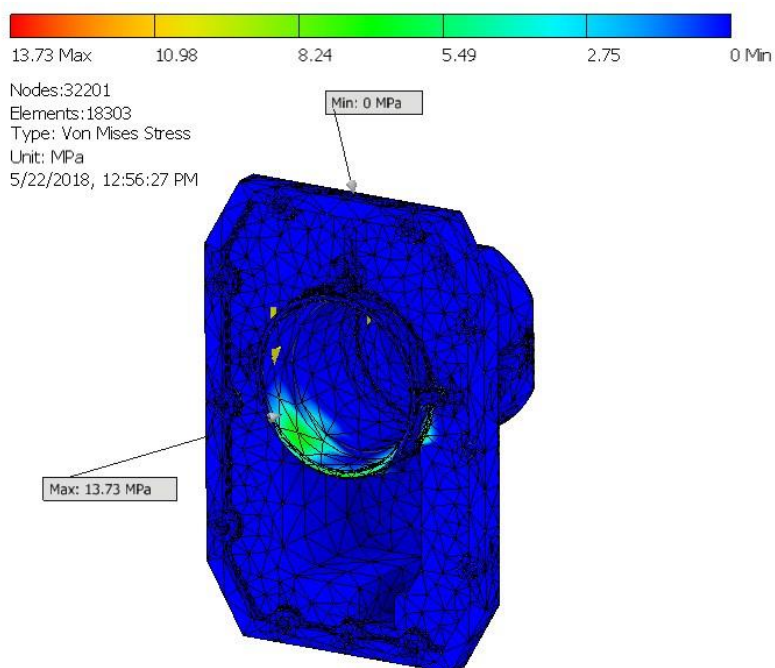
Након задавања оптерећења, у софтверу се врши генерисање мреже коначних елемената. Генерисана мрежа поклопца редуктора приказана је сликом 56.

Nodes:32201
Elements:18303



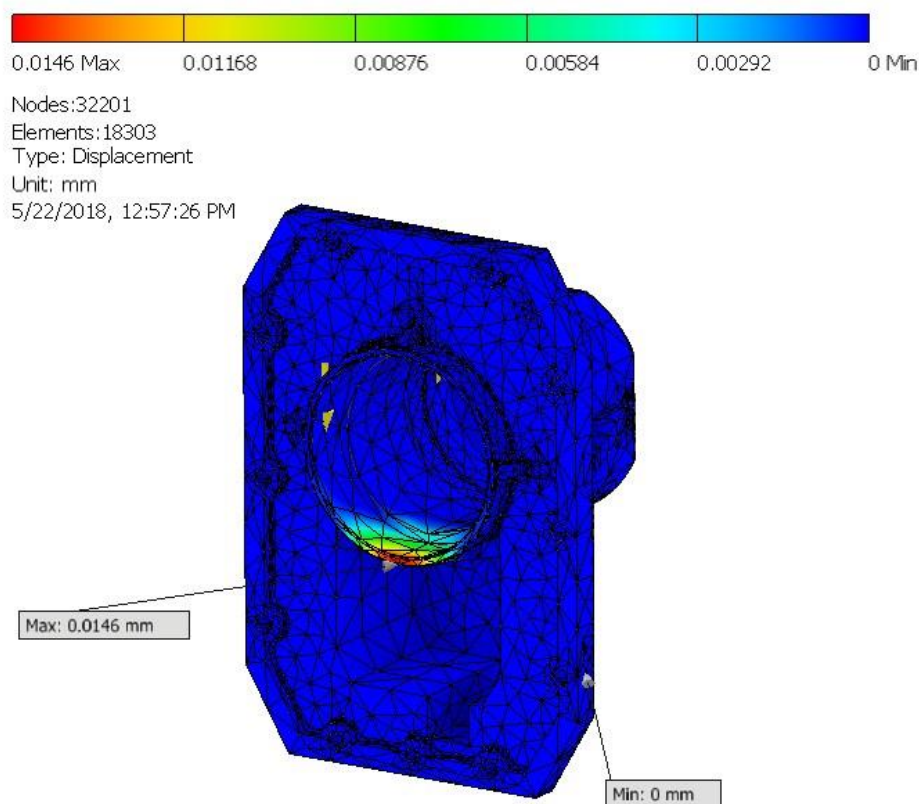
Слика 56. Генерисана мрежа коначних елемената поклопца редуктора

На слици 56, у горњем левом углу може се видети број чворова који износи 32201, као и број коначних елемената 18303. Након генерисања мреже, симулацијом се добијају вредности напона и померања за поклопац редуктора. Расподела *Von-Misses* – ових напона приказана је на слици 57.



Слика 57. Расподела *Von-Misses* –ових напона за поклопац редуктора

Максимална вредност *Von-Misses* –ових напона износи $\sigma_{\max} = 13,73$ МПа, и та вредност се налази у зони отвора где се монтирају лежаји и вратило I. Вредности померања за поклопац редуктора приказане су на слици 58.



Слика 58. *Расподела померања поклопца редуктора*

Максимална вредност померања износи 0,0146 mm.

7.2.1. Дискусија добијених резултата поклопца редуктора

Добијени резултати за поклопац редуктора показује да је конструкција поклопца веома добро урађена. Максимална вредност *Von-Misses* –овог напона је $\sigma_{\max} = 13,73$ МПа, а померања 0,0146 mm. Обе вредности се налазе у допуштеном опсегу.

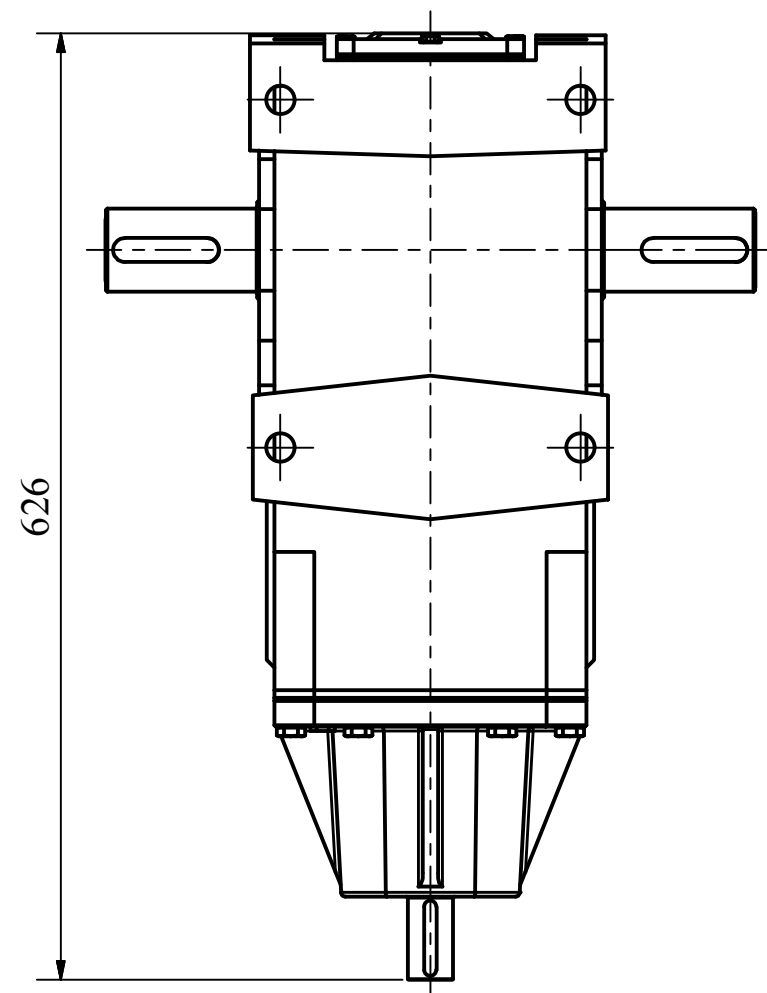
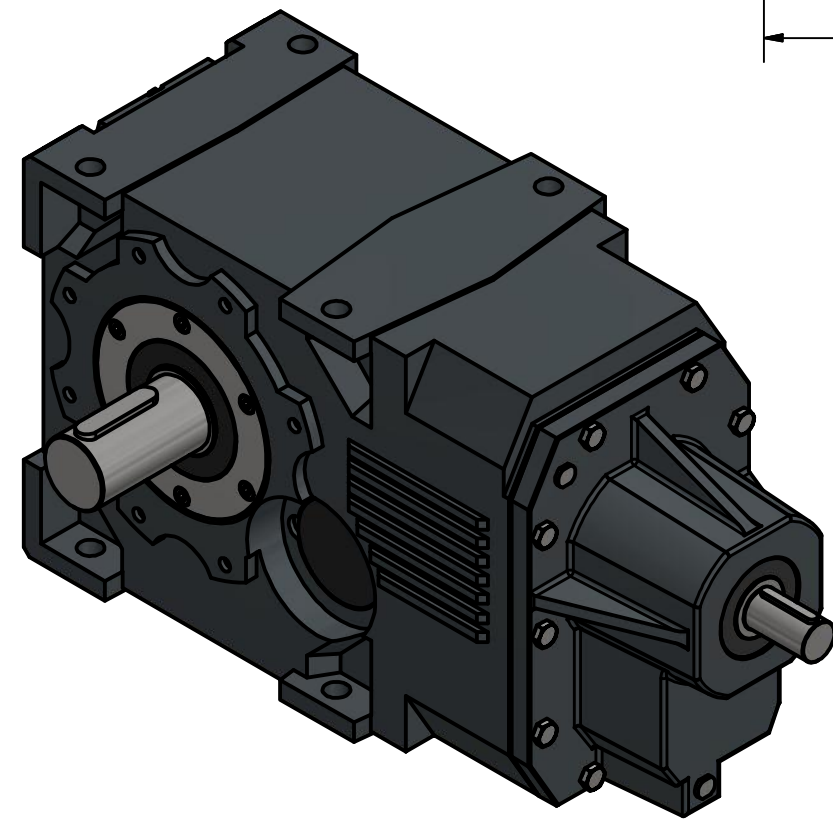
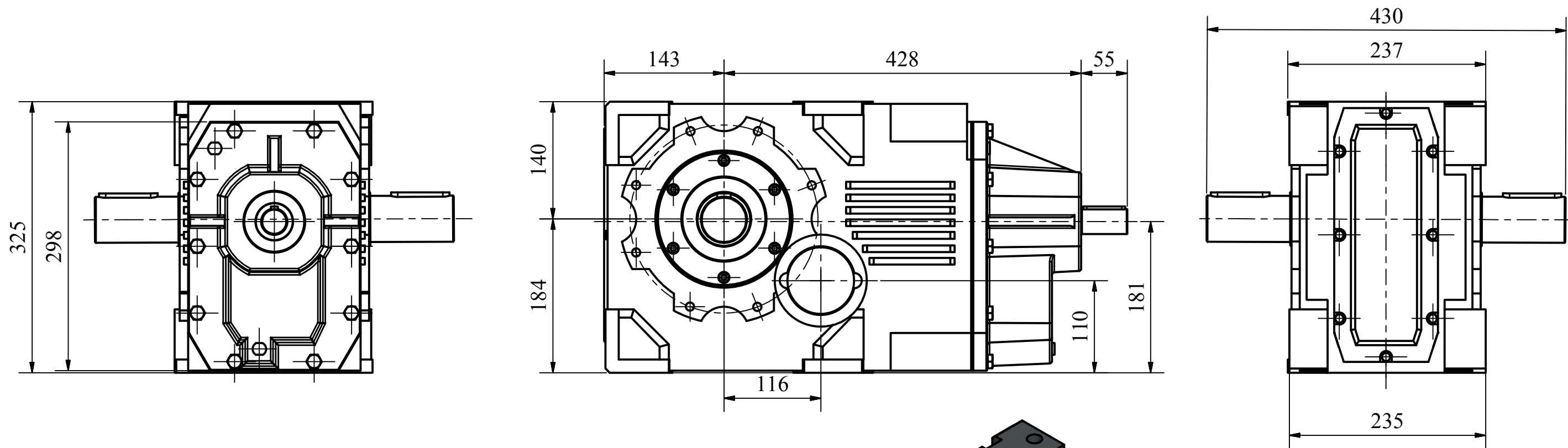
8. Техничка документација

У оквиру ове главе биће представљена техничка документација редуктора. Овде се могу видети све потребне димензије како за израду тако и за склапање редуктора. У табели 10, приказан је попис свих цртежа.

Табела 10. Преглед цртежа

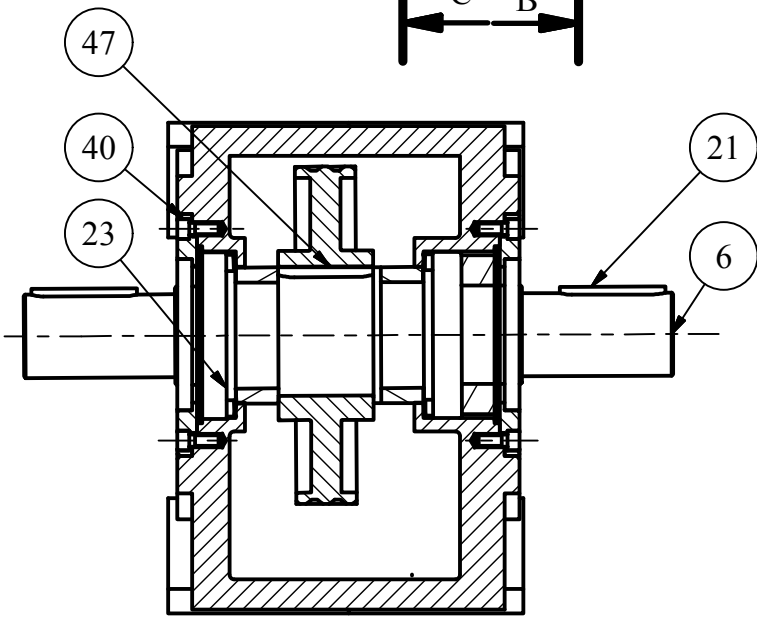
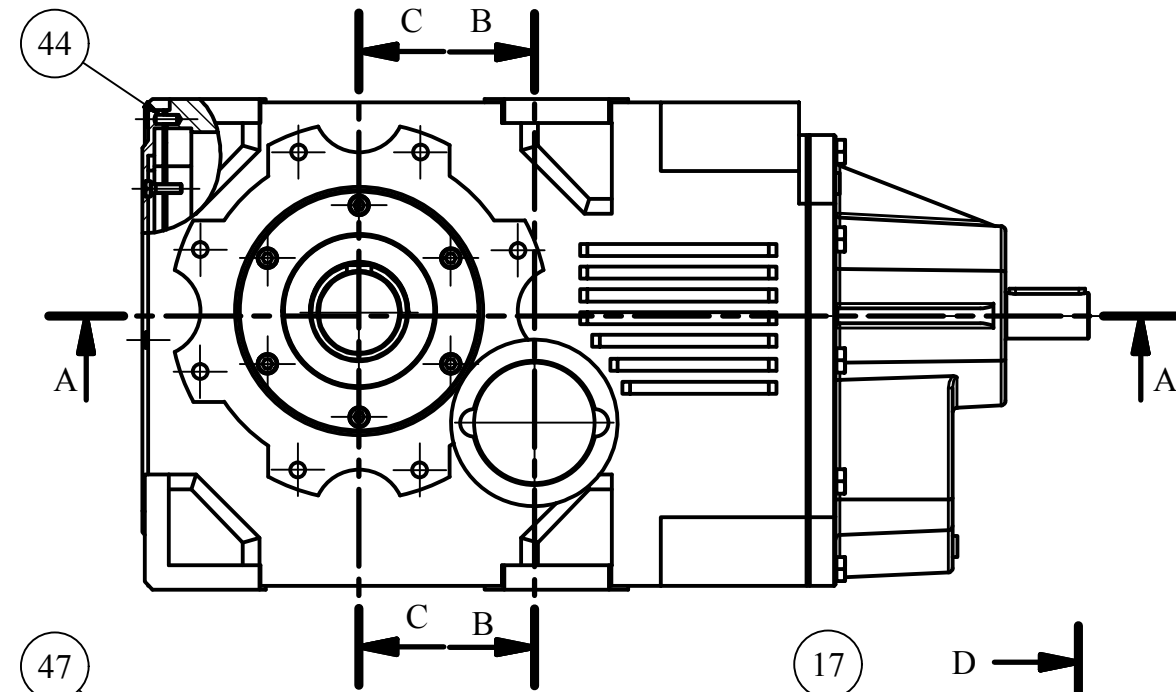
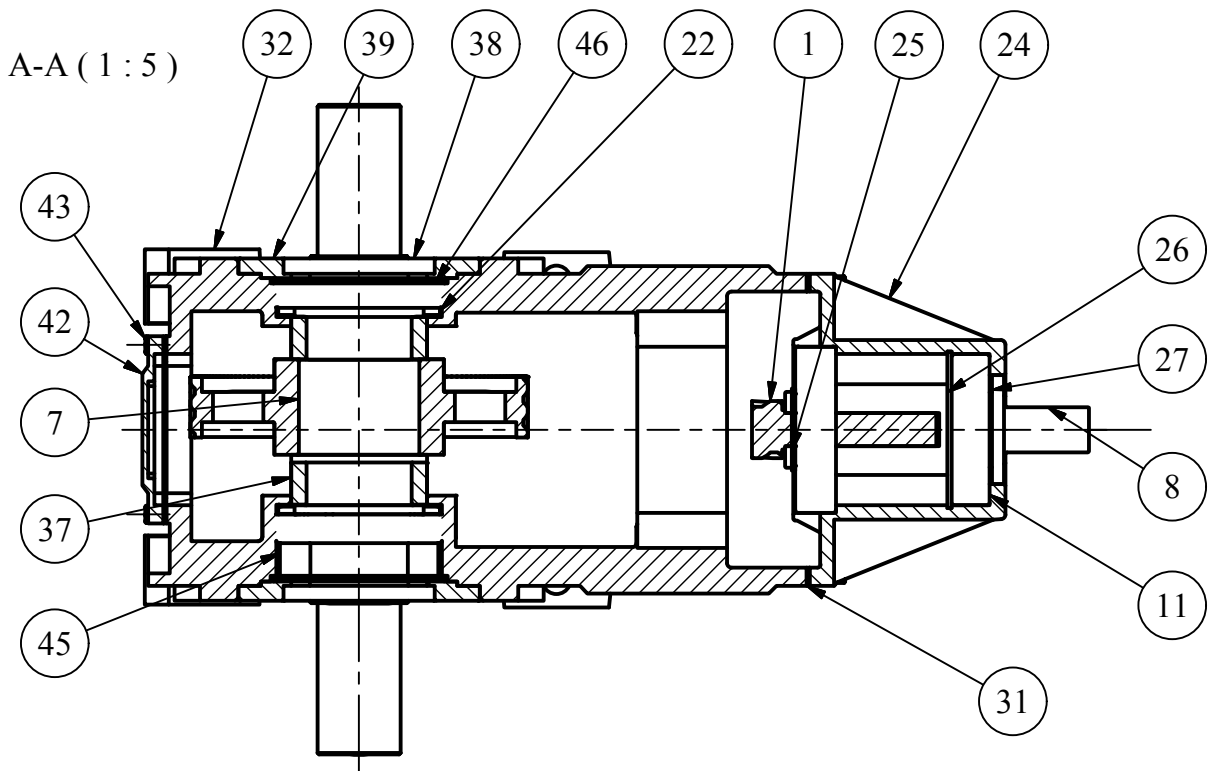
Редни број цртежа	Назив цртежа	Ознака цртежа
1.	Тростепени редуктор са осама вратила која се секу	ТР А3.00
2.	Тростепени редуктор са осама вратила која се секу (пресек)	ТР А3.00
3.	Тростепени редуктор са осама вратила која се секу (пресек, наставак)	ТР А3.00
4.	Тростепени редуктор са осама вратила која се секу Улаз - монтажа	ТР А3.00.01
5.	Тростепени редуктор са осама вратила која се секу Излаз - монтажа	ТР А3.00.02
6.	Поклопац редуктора	ТР А3.00.01.01
7.	Вратило I	ТР А3.00.01.02
8.	Зупчаник 1	ТР А3.00.01.03
9.	Завртањ за заптивање	ТР А3.00.01.04
10.	Заптивач - поклопац	ТР А3.00.01.05
11.	Кућиште	ТР А3.00.02.06
12.	Задњи поклопац	ТР А3.00.02.07
13.	Зупчаник 2	ТР А3.00.02.08
14.	Вратило II – Зупчаник 3	ТР А3.00.02.09
15.	Зупчаник 4	ТР А3.00.02.10
16.	Вратило III – Зупчаник 5	ТР А3.00.02.11
17.	Вратило IV	ТР А3.00.02.12
18.	Зупчаник 6	ТР А3.00.02.13
19.	Прирубница	ТР А3.00.02.14
20.	Чаура 42 x 30 x 26,6	ТР А3.00.02.15
21.	Чаура 105 x 65 x 25	ТР А3.00.02.16
22.	Чаура 90 x 70 x 28	ТР А3.00.02.17
23.	Прстен 80 x 68 x 3	ТР А3.00.02.18
24.	Заптивач – задњи поклопац	ТР А3.00.02.19
25.	Заптивач 80 x 8	ТР А3.00.02.20

Технички цртежи налазе се у прилогу.

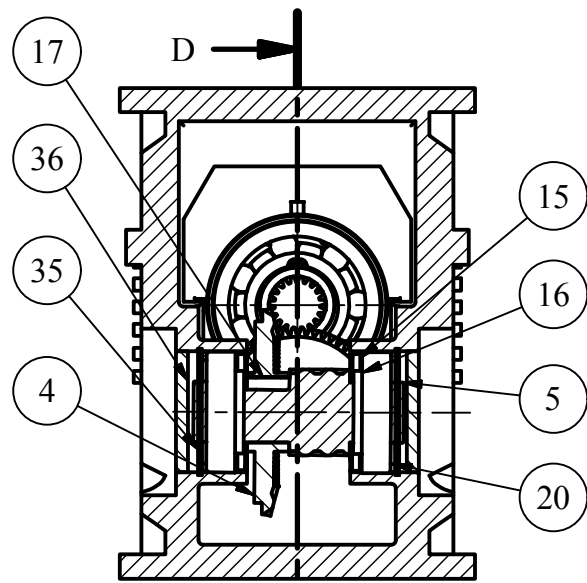


Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:							
Материјал:								Термичка обрада							
												Маса 134.638 kg		Размера 1:5	
				Датум	јун.2018			Назив: Тростепени редуктор са осама вратила која се секу							
				Обрад.	Александар	Миливојевић									
				Станд.											
				Одобр.	др М. Благојевић,	ван.проф.									
				Факултет инжењерских наука Крагујевац											
							Ознака: ТР А3.00				Лист: 1 Л 25				
Ст. и	Измене		Датум	Име	Изм. под.				Замена за:						

Пресек A-A (1 : 5)

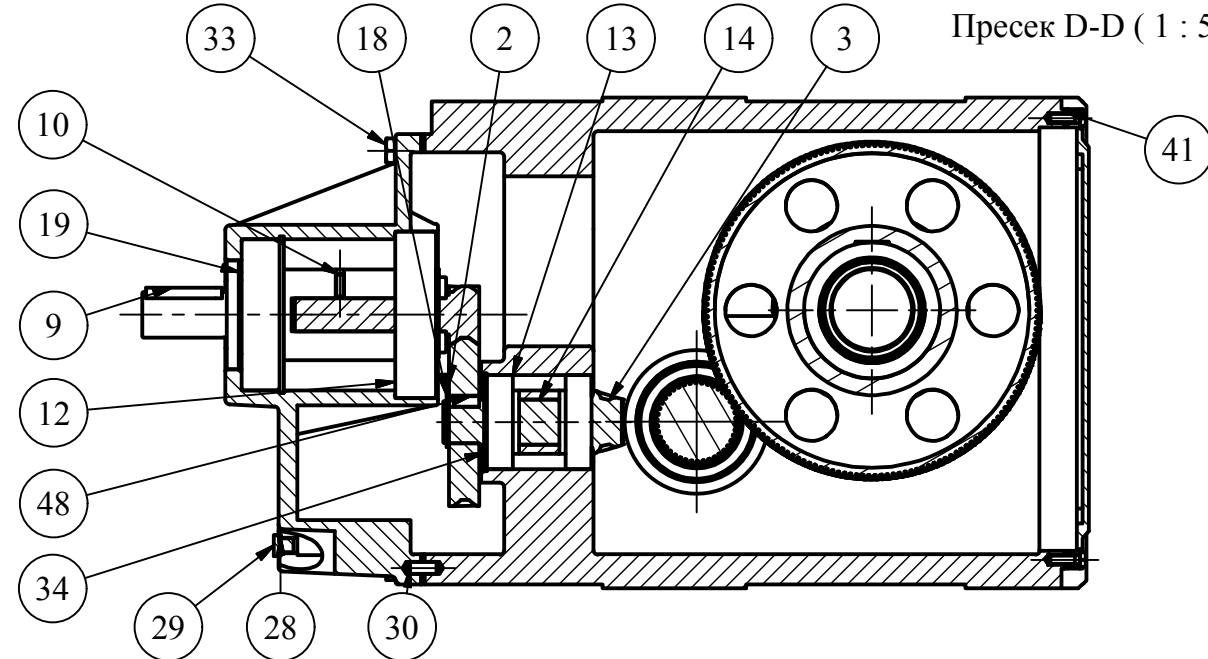


Пресек C-C (1 : 5)



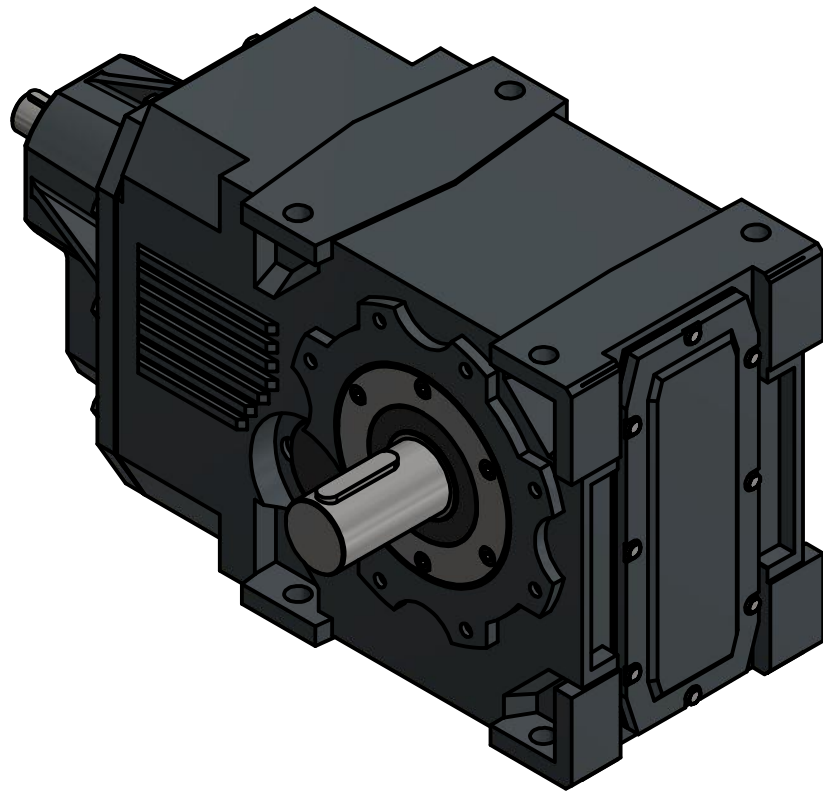
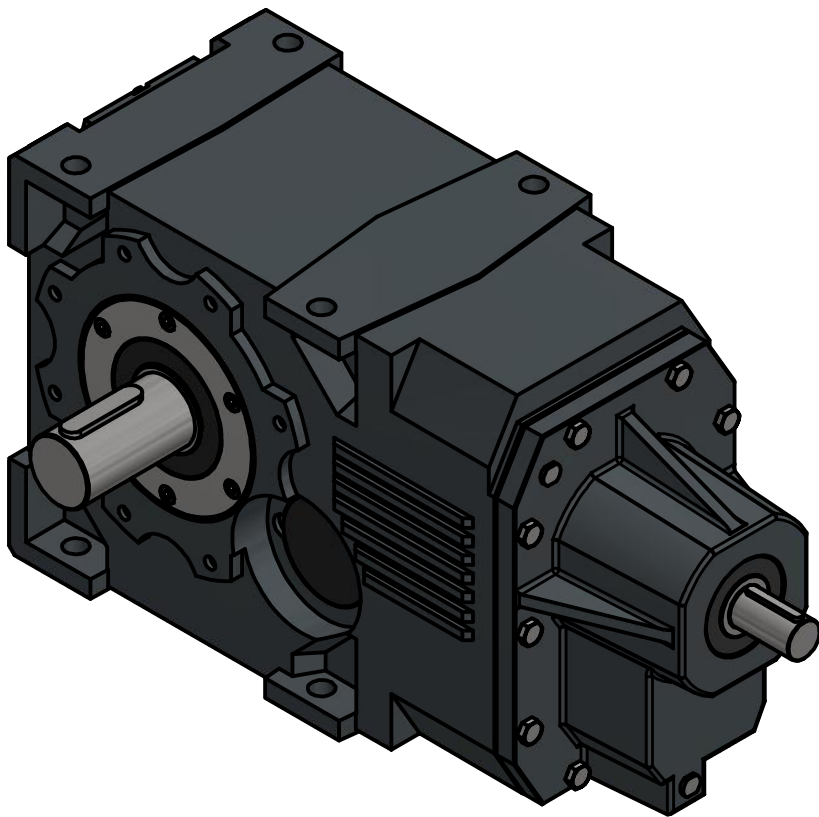
Пресек B-B (1 : 5)

Пресек D-D (1 : 5)

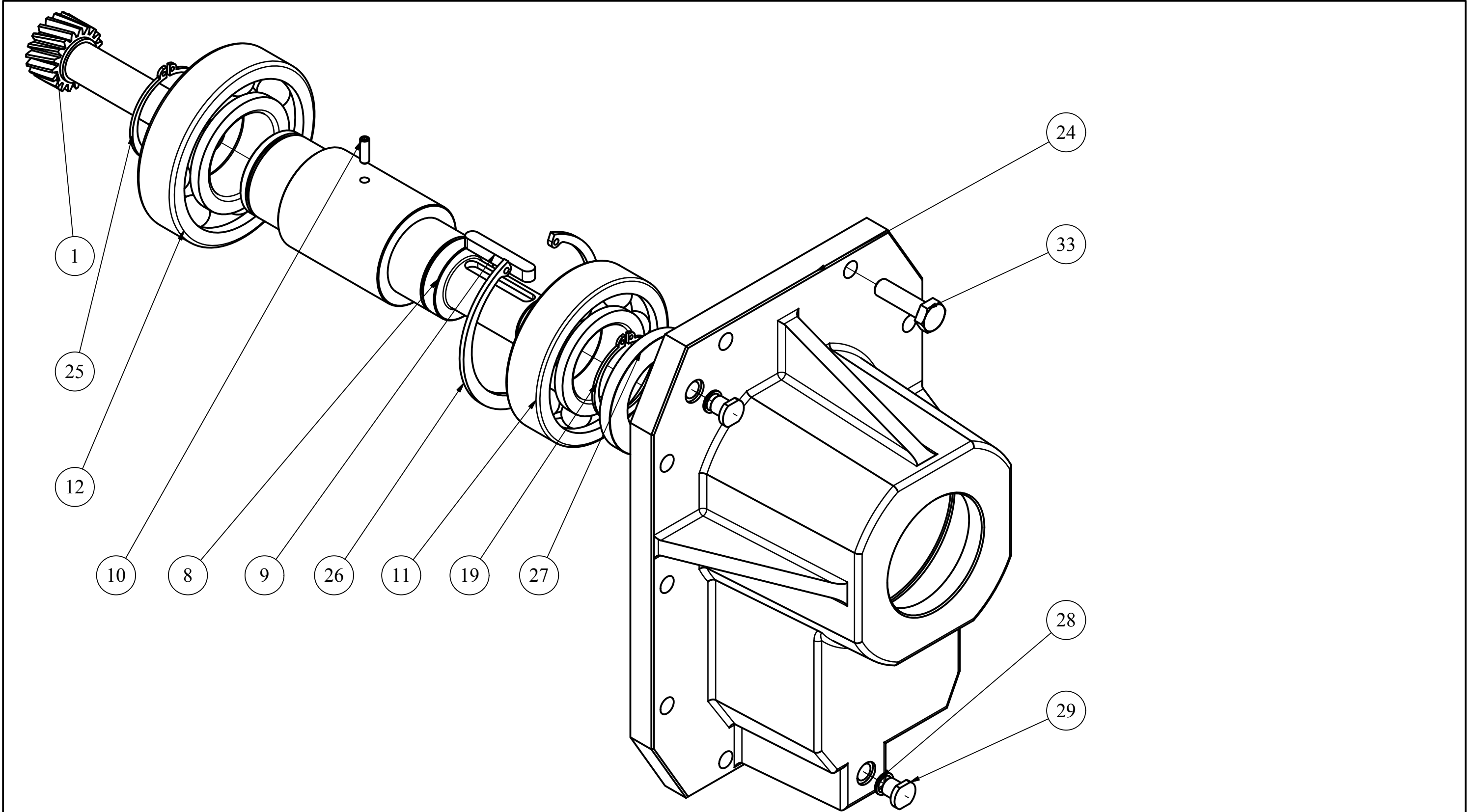


16	2	Лежај 32208		DIN 720
15	2	Заштита лежаја 32208 av		
14	1	Чаура 42 x 30 x 26.6	TP A4.00.02.15	
13	2	Лежај 32206		DIN 720
12	1	Лежај 6310		DIN 625
11	1	Лежај 6309		DIN 625
10	1	Завртањ M5 x 16		DIN EN ISO 4029
9	1	Клин A 8 x 7 x 50		DIN 6885
8	1	Вратило I	TP A3.00.01.02	
7	3	Зупчаник 6	TP A3.00.02.13	
6	1	Вратило IV	TP A3.00.02.12	
5	1	Вратило III - Зупчаник 5	TP A3.00.02.11	
4	1	Зупчаник 4	TP A3.00.02.10	
3	1	Вратило II - Зупчаник 3	TP A3.00.02.09	
2	1	Зупчаник 2	TP A3.00.02.08	
1	1	Зупчаник 1	TP A3.00.01.03	

Поз.	Ком.	Назив			Ознака	Стандард		
Толеранције слободних мера		Површинска храпавост			Површинска заштита:			
Материјал:					Термичка обрада			
					Маса	Размера	1:5	
				Датум	јун.2018			
				Обрад.	Александар Миливојевић			
				Станд.				
				Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.			
				Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака:		Лист:
						ТР А3.00		2
								Л 25
Ст. и		Измене		Датум	Име	Изд. под.		Замена за:



48	1	Клин 8 x 7 x 20		DIN 6885 A	
47	1	Клин 22 x 14 x 63		DIN 6885 A	
46	2	Гумица за запривање 112 x 3.55		DIN 3771	
45	1	Чаура 105x65x25	TP A4.00.02.16		
44	1	Чивија 6 x 16		ISO 2338	
43	8	Завртањ M6 x 20		ISO 4017	
42	1	Задњи поклопац	TP A3.00.02.07		
41	1	Гума за заптивање задњи поклопац	TP A4.00.02.19		
40	12	Завртањ M8 x 20		ISO 4762	
39	2	Прирубница	TP A3.00.02.14		
38	2	Заптивка вратила 100 x 65 x 10		DIN 3760 - AS	
37	2	Чаура 90 x 70 x 28	TP A4.00.02.17		
36	2	Гума 80 x 8	TP A4.00.02.20		
35	2	Прстенасти ускочник 80 x 2.5		DIN 472	
34	1	Прстенасти ускочник 62 x 2		DIN 472	
33	10	Завртањ M10 x 35		ISO 4017	
32	1	Кућиште	TP A3.00.02.06		
31	1	Гума за запривање-поклопац	TP A4.00.01.05		
30	1	Чивија 6 x 20		ISO 2338	
29	2	Завртањ за заптивање	TP A4.00.01.04		
28	2	Гумица за запривање 10 x 1.8		DIN 3771	
27	1	Заптивка вратила 75 x 45 x 8		DIN 3760 - AS	
26	1	Прстенасти ускочник 100 x 3		DIN 472	
25	1	Прстенасти ускочник 50 x 2		DIN 471	
24	1	Поклопац редуктора	TP A3.00.01.01		
23	2	Лежај 32014X		DIN 720	
22	2	Заштита лежаја 32014 x av			
21	2	Клин 16 x 10 x 70		DIN 6885 A	
20	2	Прстен 80 x 68 x 3	TP A4.00.02.18		
19	1	Прстенасти ускочник 45 x 1.75		DIN 471	
18	1	Прстенасти ускочник 28 x 1.5		DIN 471	
17	1	Клин 8 x 7 x 28		DIN 6885 A	
Поз.	Ком.	Назив	Ознака	Стандард	
Толеранције слободних мера		Површинска храпавост	Површинска заштита:		
Материјал:			Термичка обрада		
			Маса 134.638 kg	Размера 1:5	
		Датум јун.2018	Назив: Тростепени редуктор са осама вратила која се секу		
		Обрад. Александар Миливојевић			
		Станд. 			
		Одобр. др М.Благојевић, ван.проф.			
		Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака: TP A3.00	Лист: 3
				Л 25	
Ст. и	Измене			Датум	Име



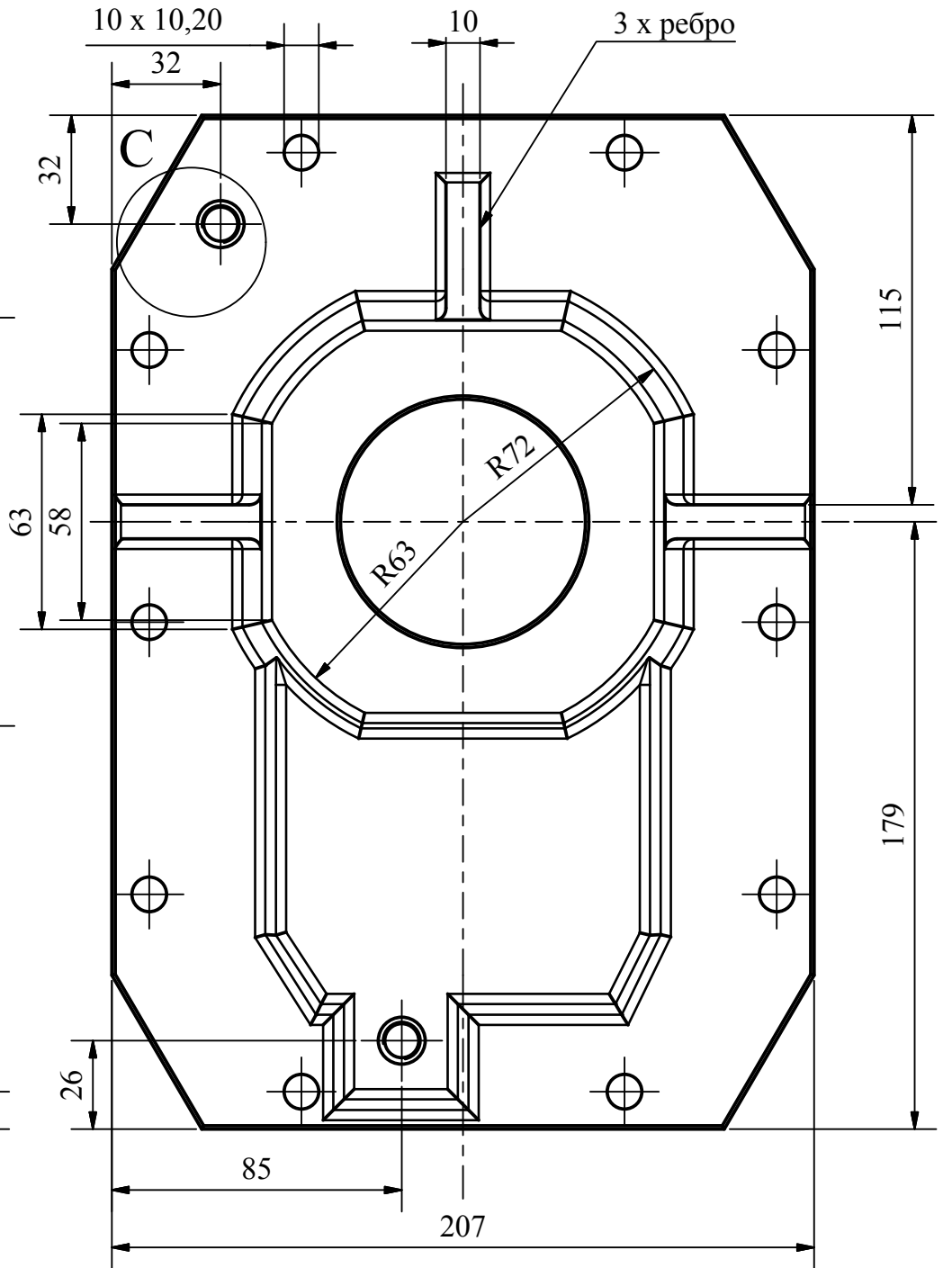
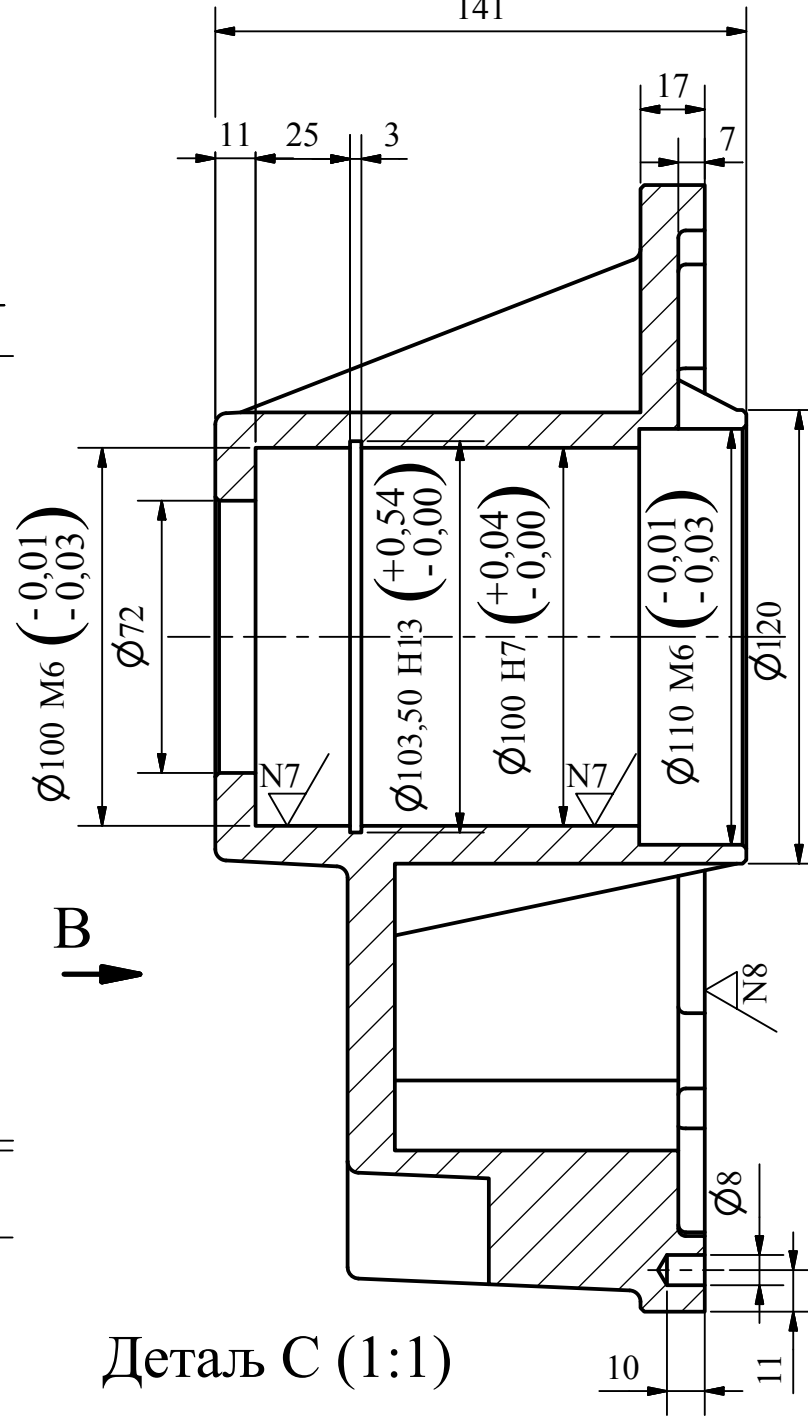
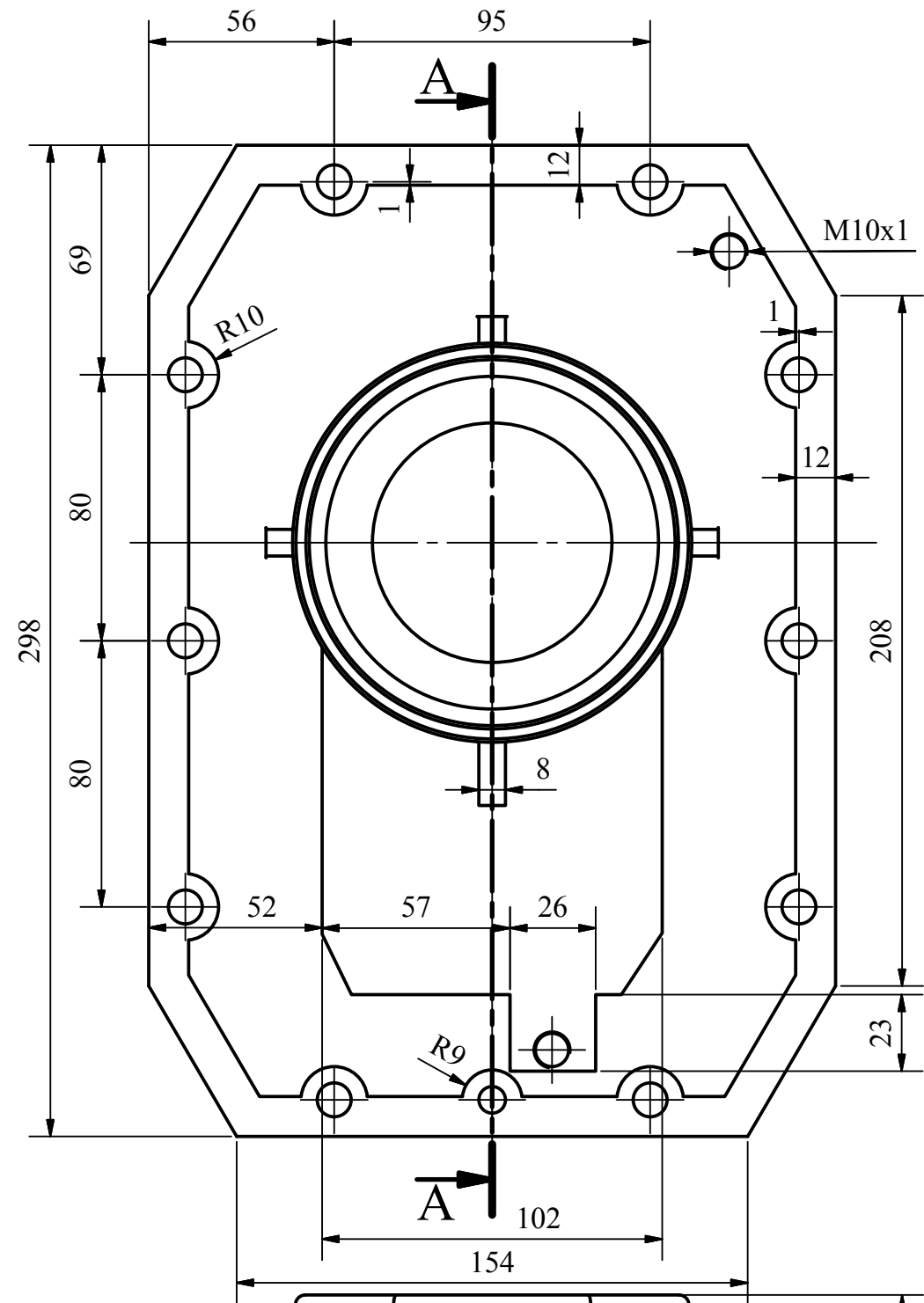
Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:			
Материјал:								Термичка обрада			
								Маса 16,086 kg		Размера 1:10	
				Датум	јун.2018			Назив: Тростепени редуктор са осама вратила која се секу Улаз - монтажа			
				Обрад.	Александар Миливојевић						
				Станд.							
				Одобр.	др М. Благојевић, ван.проф.						
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака: ТР А3.00.01		Лист: 4	
Ст. и	Измене	Датум	Име							Л 25	
								Изв. под.			

Пресек А-А (1:2)

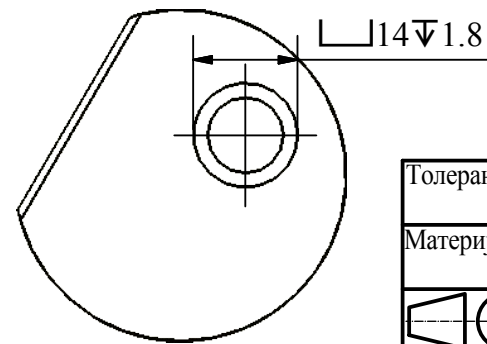
141

Поглед В (1:2)

N9//N7//N8//



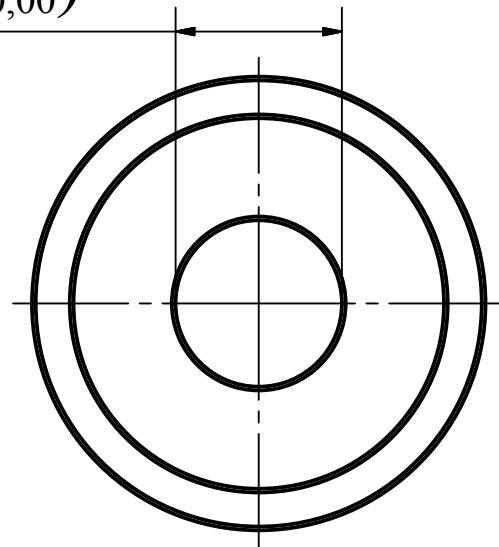
Деталь С (1:1)



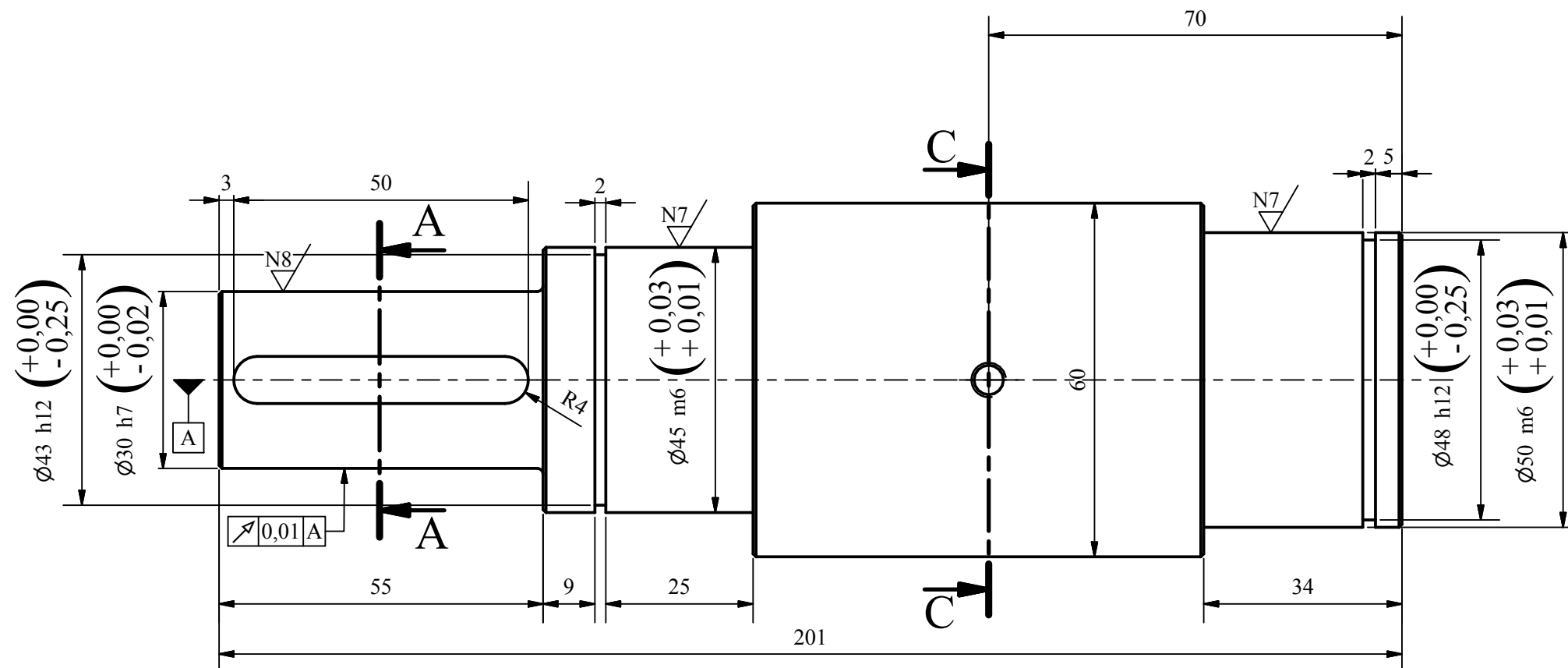
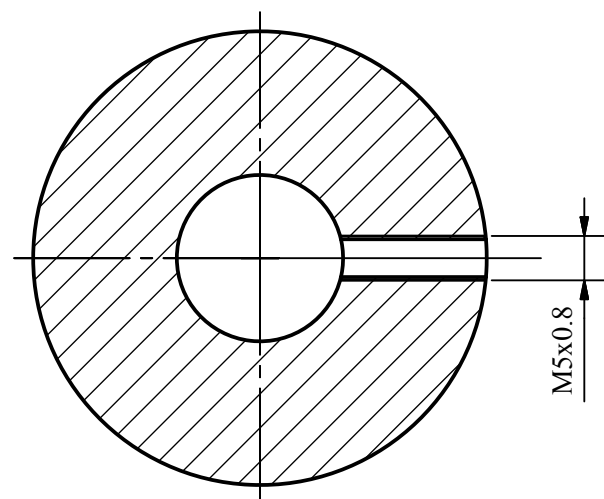
Напомена: Некотирари радијуси су R3.
Ивице оборити на 1/45.

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:								
Материјал:								Термичка обрада								
EN-GJL-200 (SL 200)																
								Маса				Размера				
								11.077 kg				1:2				
				Датум	јун.2018			Назив: Поклопац редуктора								
				Обрад.	Александар	Миливојевић										
				Станд.												
				Одобр.	др М.Благојевић,	ван.проф.										
				Факултет инжењерских наука Крагујевац			Ознака:						Лист:			
													TP A3.00.01.01		6	
													Л		25	
Ст. и	Измене		Датум	Име					Изм. под.				Замена за:			

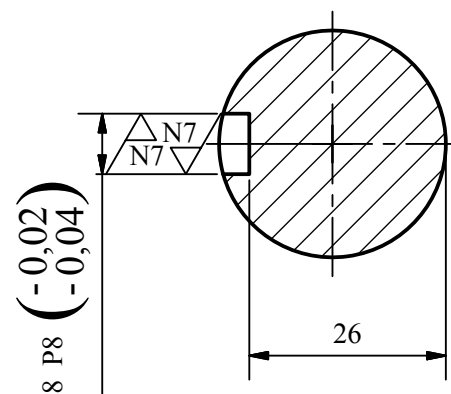
22 H7 $\left(\begin{smallmatrix} +0,02 \\ -0,00 \end{smallmatrix} \right) \nabla_{102}$



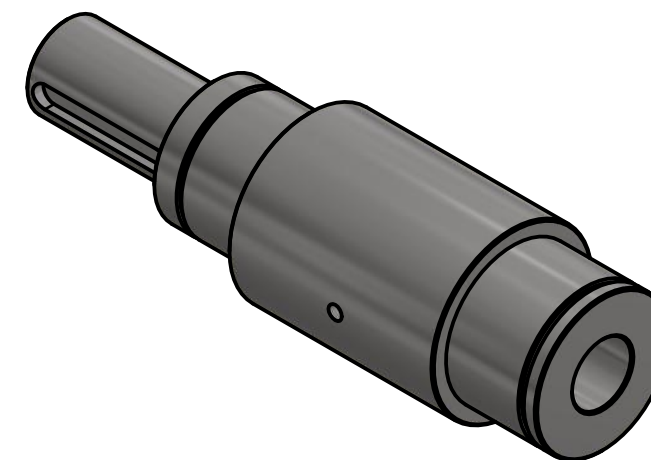
Пресек С-С (1 : 1)

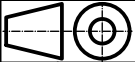


Пресек А-А (1 : 1)

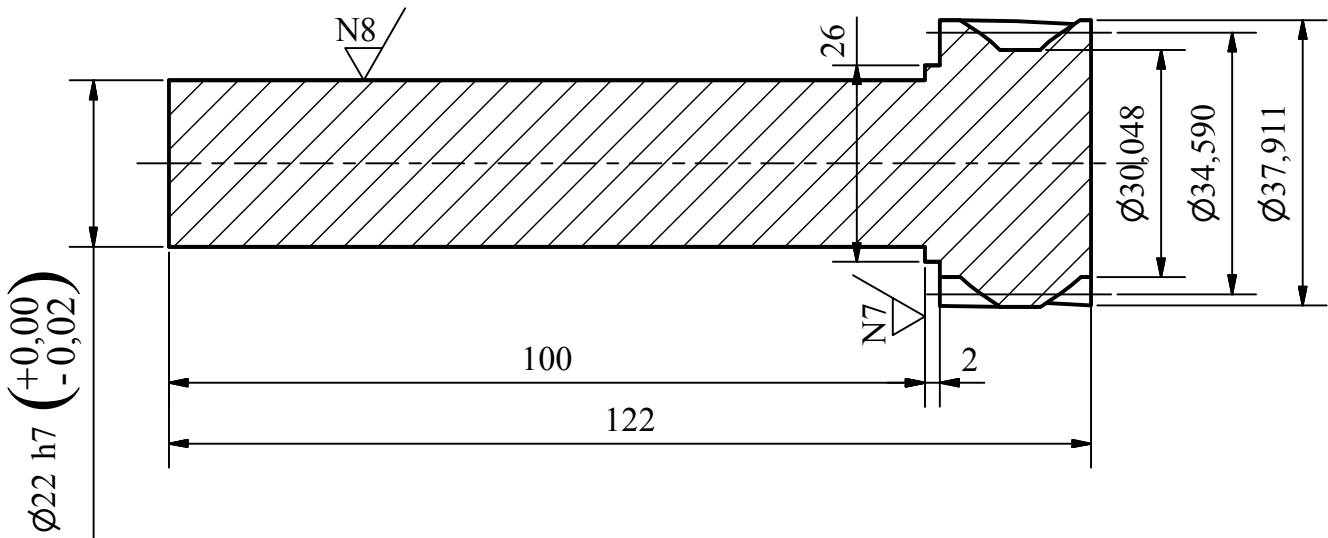
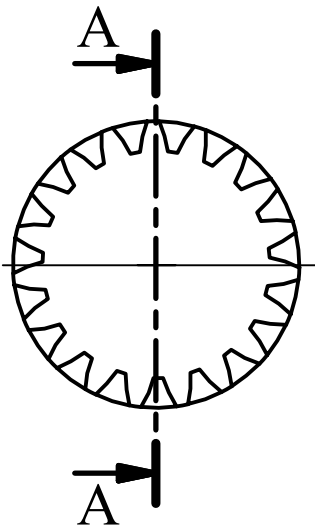


Напомена: Некотирани радијуси су R2.
Ивице оборити на 0,5/45.



Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:											
Материјал:								E335 (Č0645)								Термичка обрада			
																Маса		Размера	
																2.692 kg		1:1	
				Датум		јун.2018		Назив: Вратило I											
				Обрад.		Александар Миливојевић													
				Станд.															
				Одобр.		др М.Благојевић, ван.проф.													
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака: TP A3.00.01.02						Лист:					
														7					
														Л 25					
Ст. и		Измене		Датум		Име		Изв. под.						Замена за:					

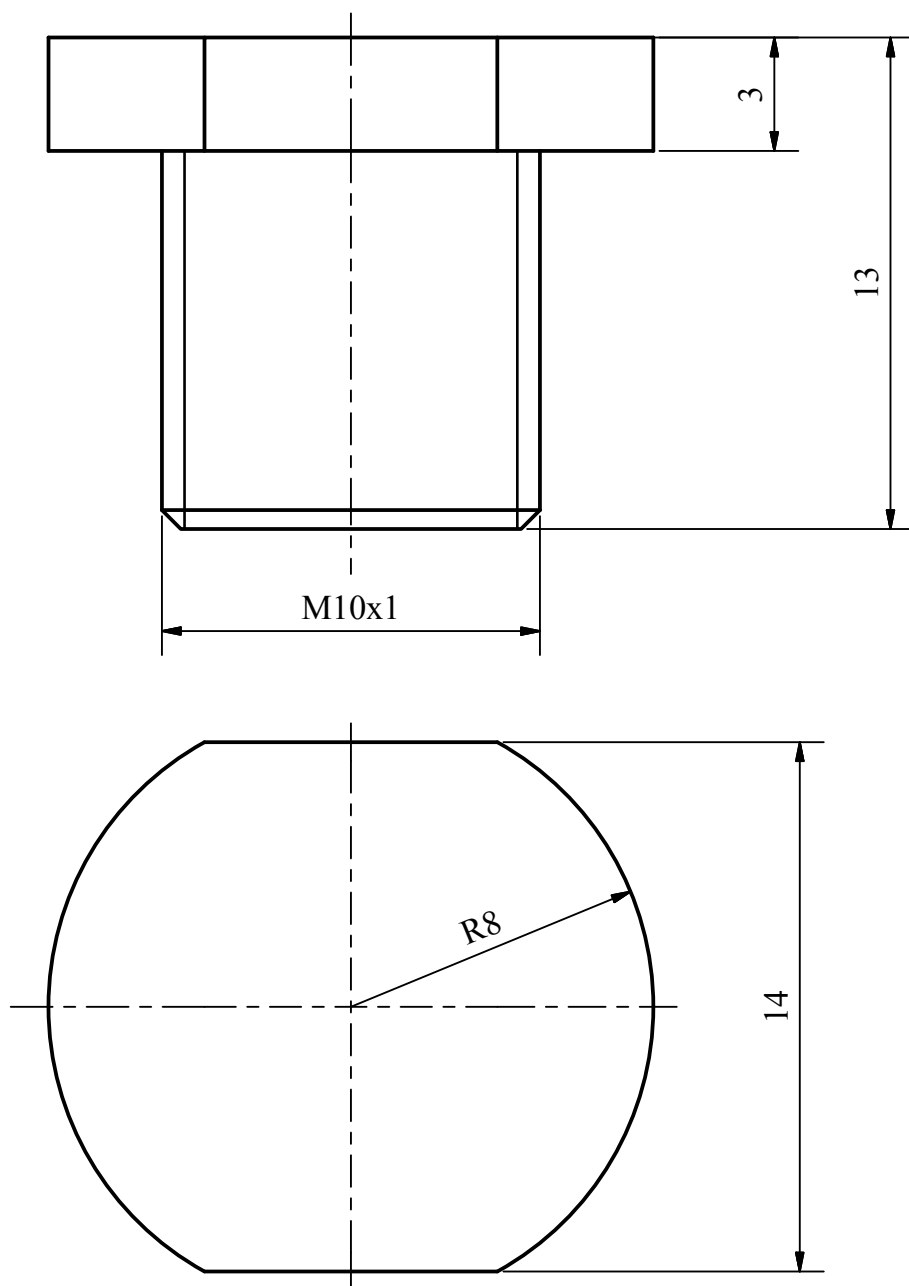
Пресек А-А (1 : 1)



Број зубаца		z1	19
Стандардни модул	mm	m	1.750
Модул	mm	mt	1.812
Стандардни профил	SRPS.M.C1.016		
Угао нагиба профила алата	step	α_n	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Смер нагиба бочне линије	леви		
Угао додирнице	step	α_v	20.7702
Угао нагиба на основном кругу	step	β_b	14.0761
Померање профила	mm	v	0
Подеони корак	mm	p	5.498
Пречник подеоног круга	mm	d1	34.423
Пречник кинематског круга	mm	dw1	34.590
Пречник основног круга	mm	db1	32.212
Пречник подножног круга	mm	df1	30.048
Пречник теменог круга	mm	da1	37.911
Број зубаца спрегнутог зупчаника		z2	59
Осно растојање	mm	a	70.658

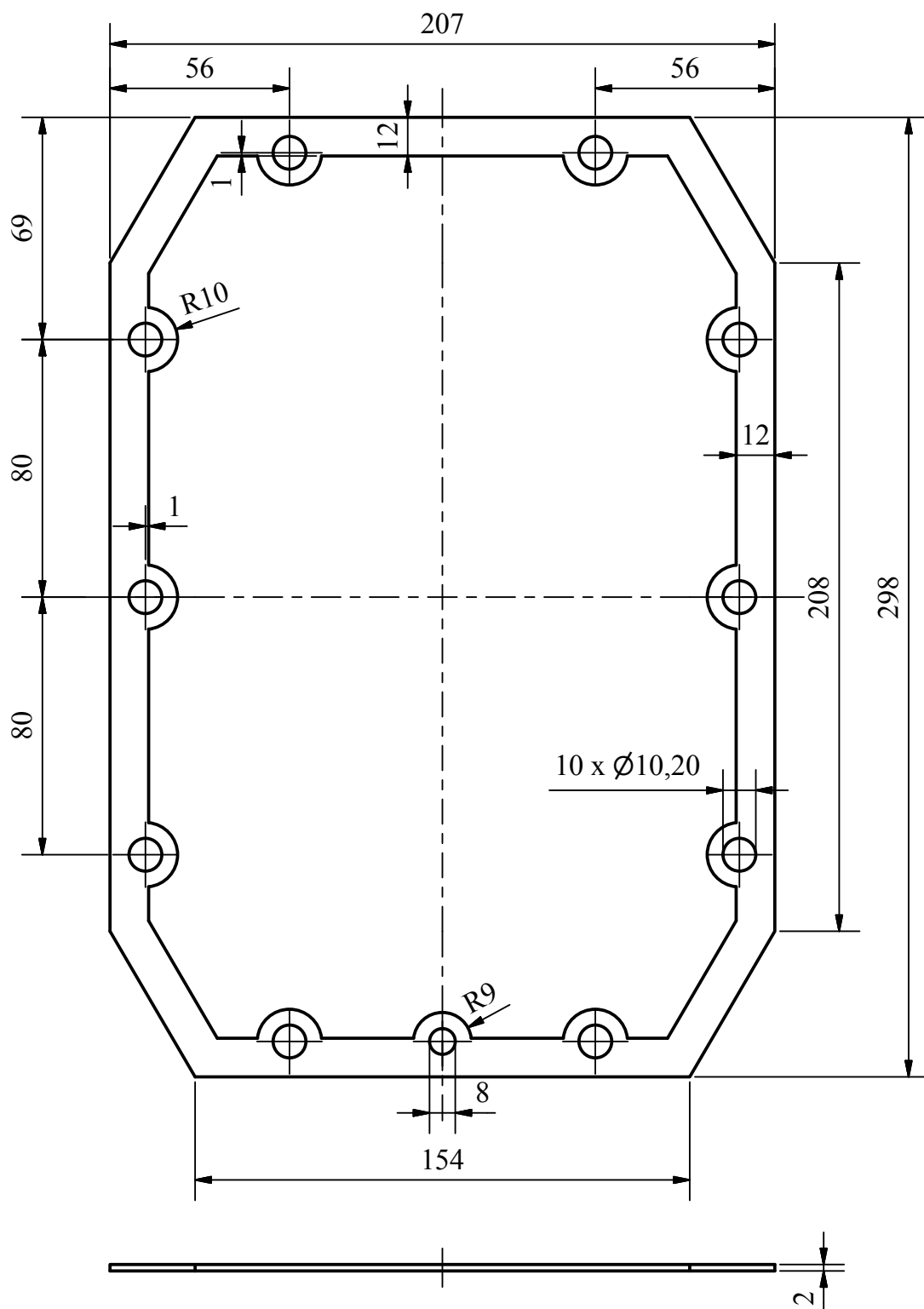
Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:													
Материјал:								14NiCr18 (Č5427)								Термичка обрада					
												Маса				Размера					
												0.460 kg				1:1					
				Датум		јун.2018						Назив: Зупчаник 1									
				Обрад.		Александар Миливојевић															
				Станд.																	
				Одобр.		др М.Благојевић, ван.проф.															
						Факултет инжењерских наука Крагујевац						Ознака: ТР А3.00.01.03								Лист:	
																				8	
														Л		25					
Ст. и		Измене		Датум		Име		Изд. под.								Замена за:					

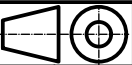
Зупчаник 1

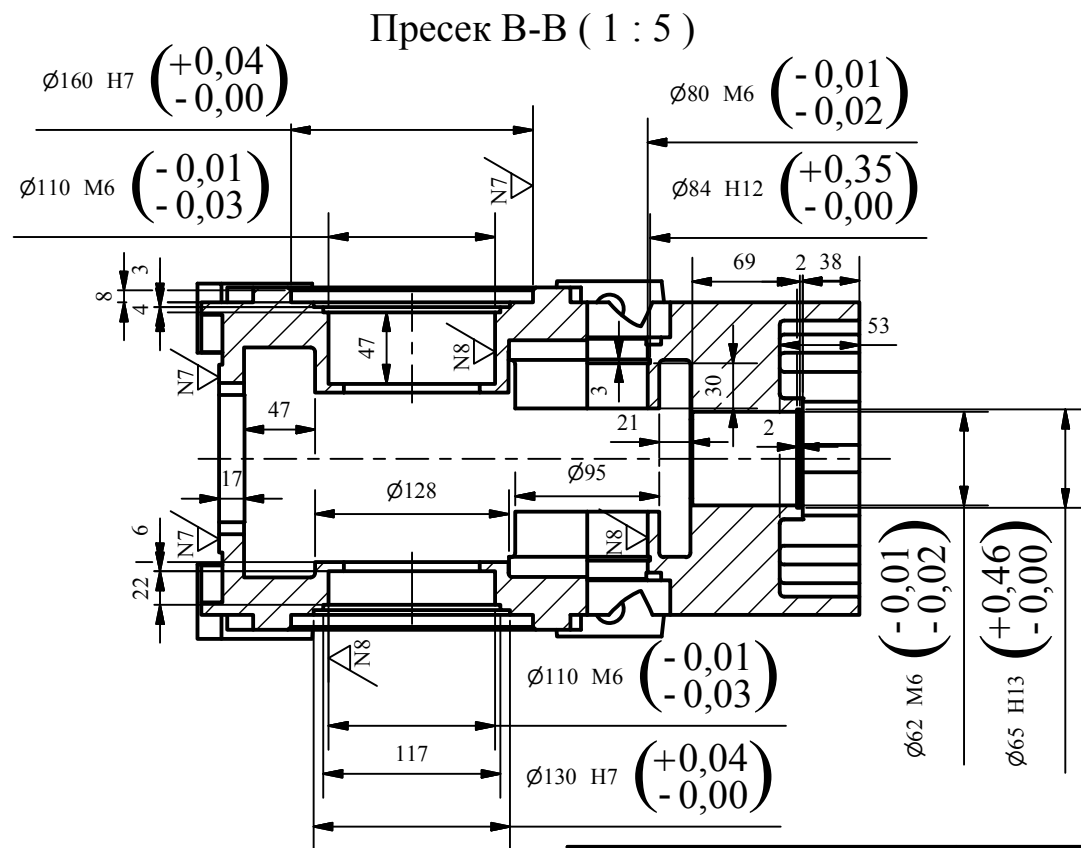
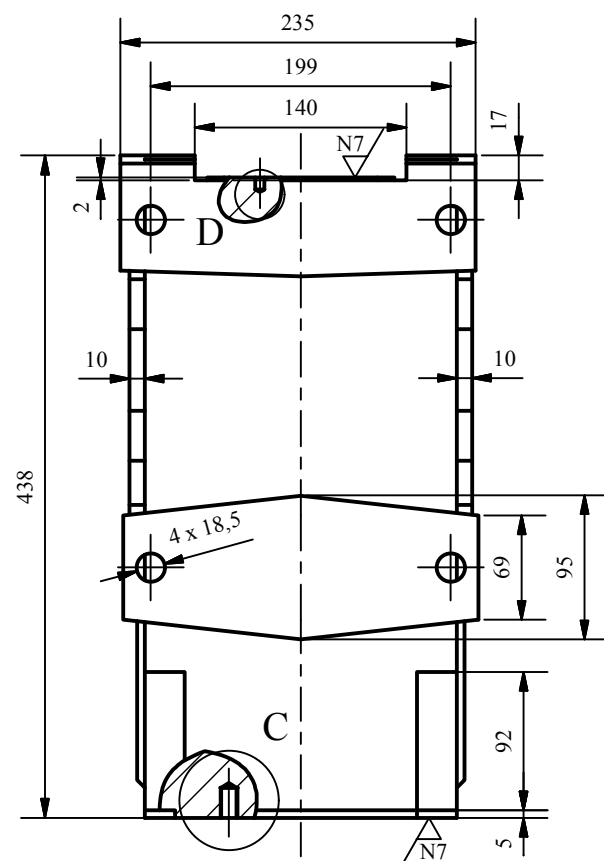
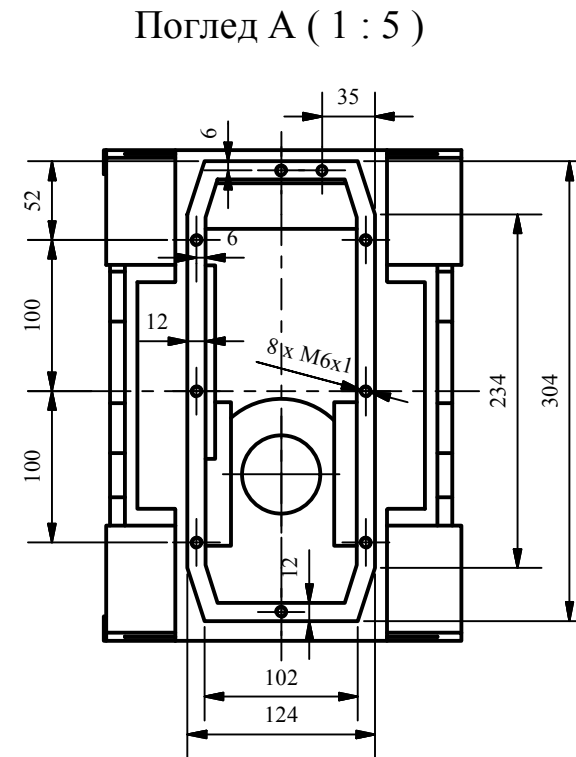
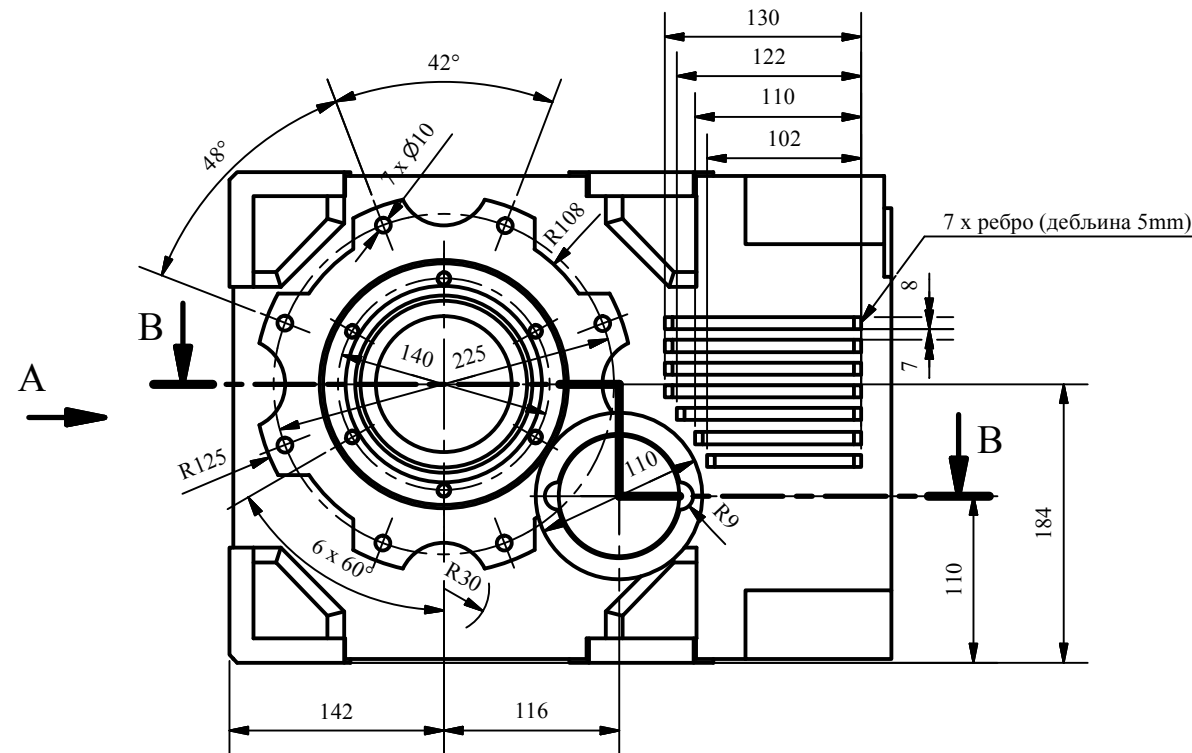
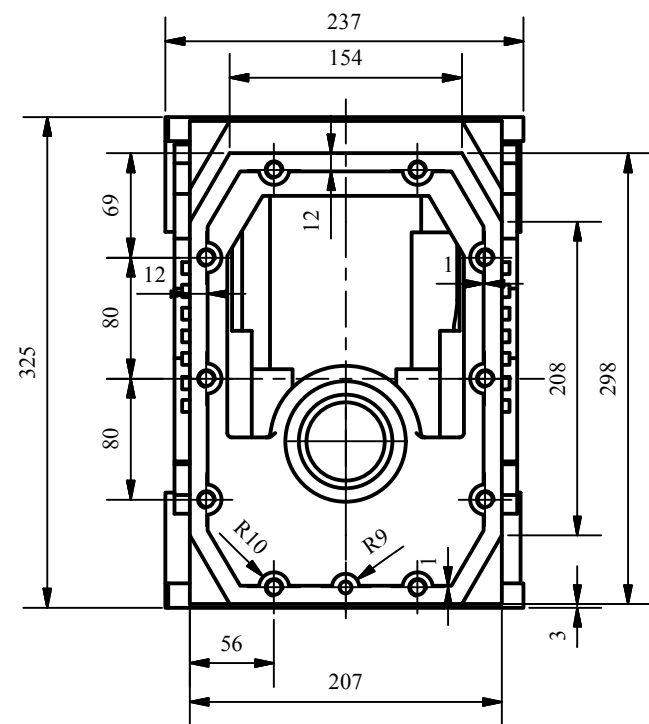


Напомена: Ивице оборити на 1/45.

Толеранције слободних мера		Површинска хрпавост		Површинска заштита:	
Материјал:		E229 (Č0545)		Термичка обрада	
				Маса	Размера
				0.011 kg	5:1
		Датум	јун.2018		Назив: Завртањ за заптивање
		Обрад.	Александар Миливојевић		
		Станд.	др М.Благојевић, ван.проф.		
		Одобр.			
		Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака:	
				ТР А4.00.01.04	Лист: 9
Ст. и	Измене	Датум	Име	Изв. под.	Замена за:
					Л 25

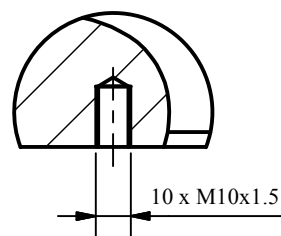


Толеранције слободних мера				Површинска хрпаваост				Површинска заштита:			
Материјал: Гума								Термичка обрада			
								Маса 0.021 kg		Размера 1:2	
				Датум	јун.2018			Назив: Гума за запривање-поклопац			
				Обрад.	Александар	Миливојевић					
				Станд.	др М.Благојевић, ван.проф.						
				Одобр.							
								Ознака: ТР А4.00.01.05			
					Факултет инжењерских наука Крагујевац			Лист: 10			
								Л 25			
Ст. и	Измене		Датум	Име				Изд. под.		Замена за:	

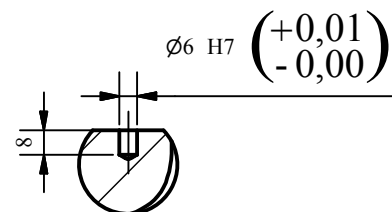


Напомена: Некотирани радијуси су R3.
Ивице оборити на 1/45.

Детаљ C (0.40 : 1)

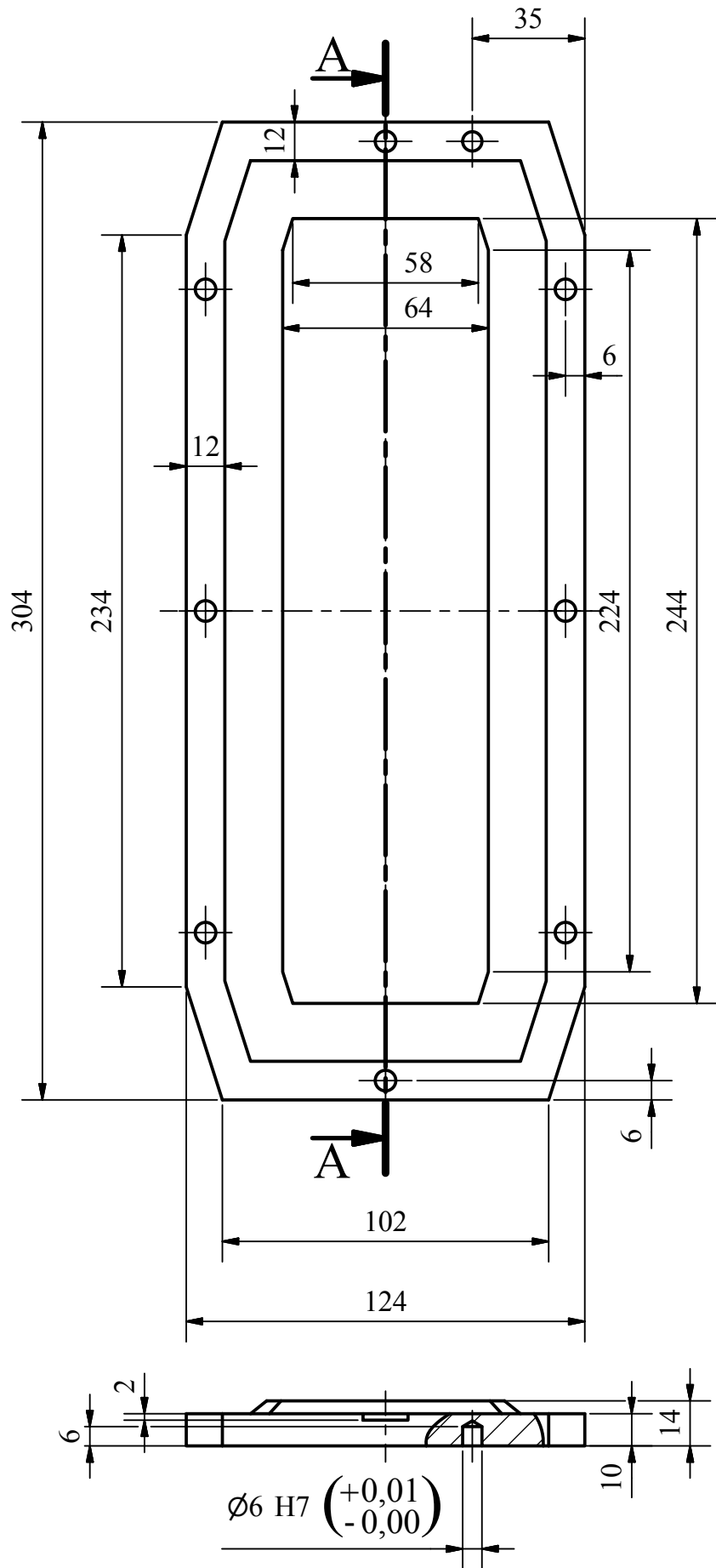


Детаљ D (0.40 : 1)

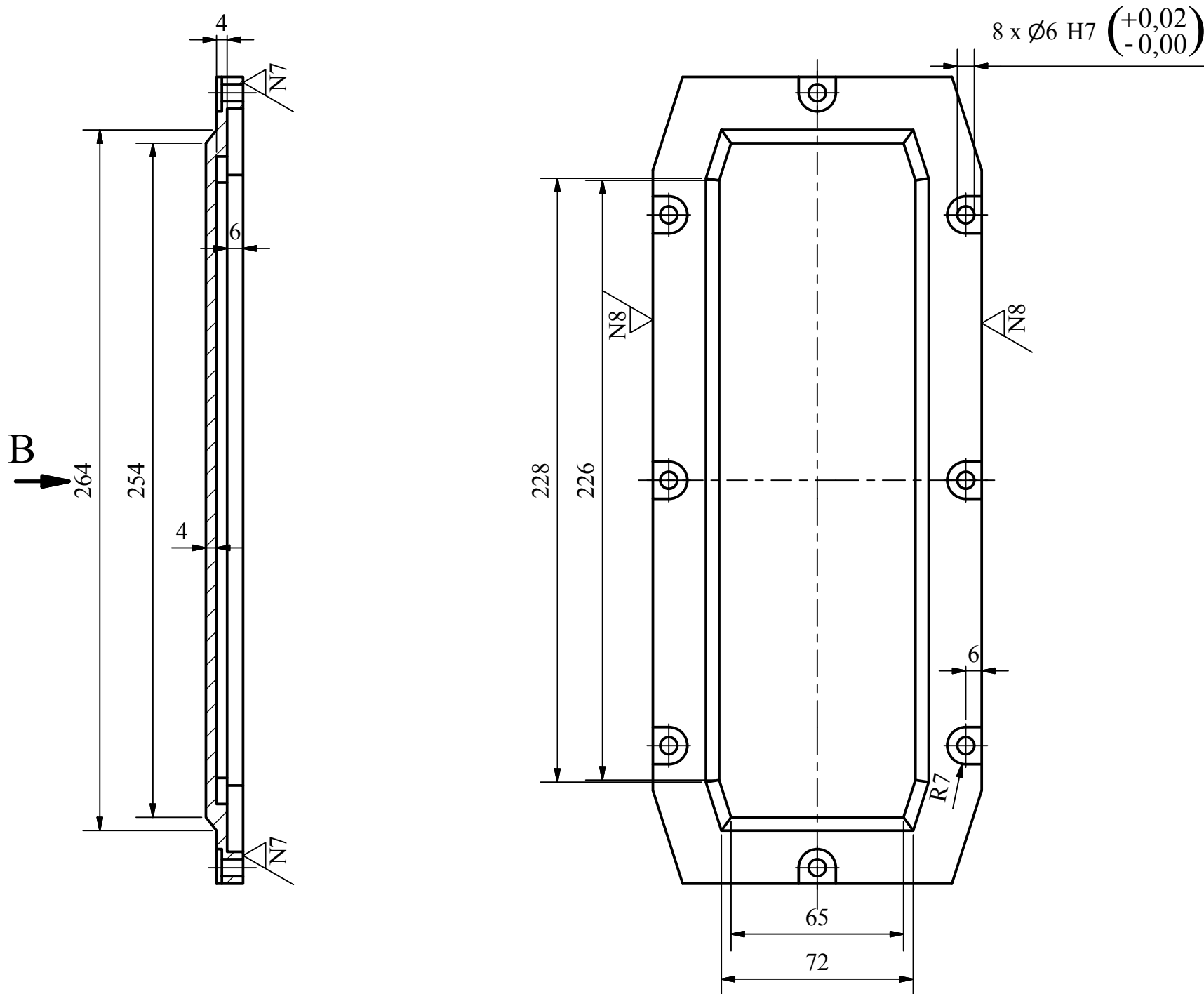


Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:											
Материјал:								EN-GJL-200 (SL200)								Термичка обрада			
												Маса 80.413 kg				Размера 1:5			
					Датум	јун.2018			Назив: Кућиште										
					Обрад.	Александар	Миливојевић												
					Станд.														
					Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.													
					Факултет инжењерских наука Крагујевац			Ознака: ТР А3.00.02.06								Лист:			
																11			
Ст. и	Измене			Датум				Име									Изд. под.		Замена за:

Пресек А-А (1 : 2)

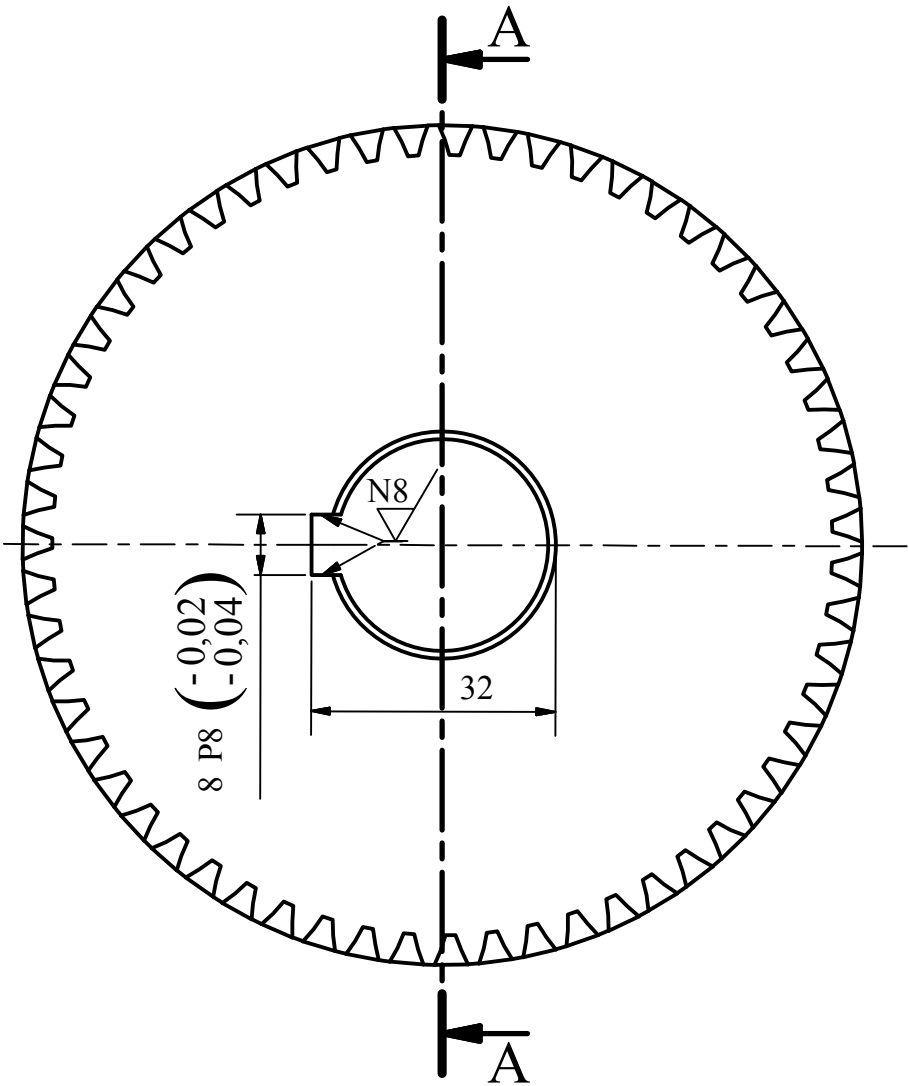
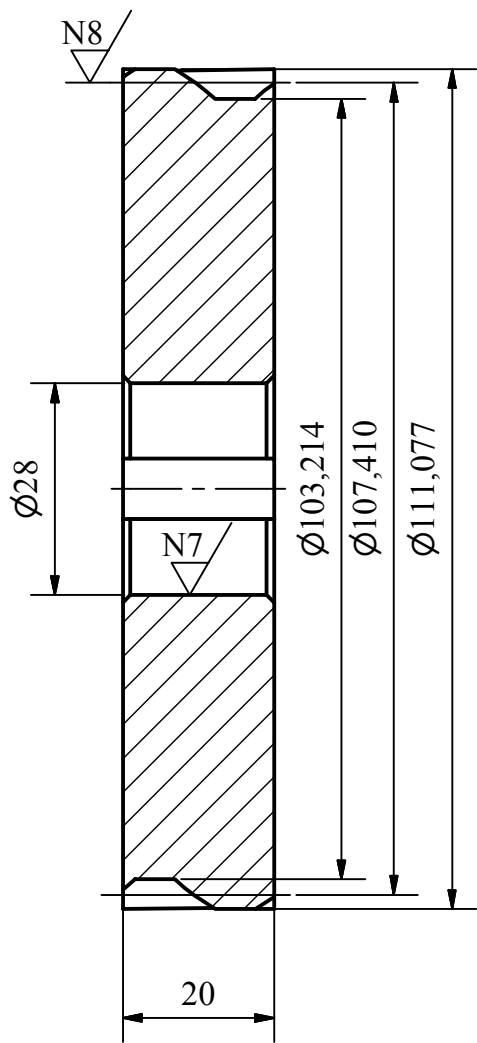


Поглед В (1 : 2)



Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:			
Материјал:				EN-GJL-200 (SL 200)				Термичка обрада			
								Маса		Размера	
								1.609 kg		1:2	
				Датум	јун.2018			Назив: Задњи поклопац			
				Обрад.	Александар Миливојевић						
				Станд.							
				Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.						
				Факултет инжењерских наука Крагујевац			Ознака:		ТР А3.00.02.07		Лист:
											12
								Л	25		
Ст. и	Измене	Датум	Име							Изв. под.	

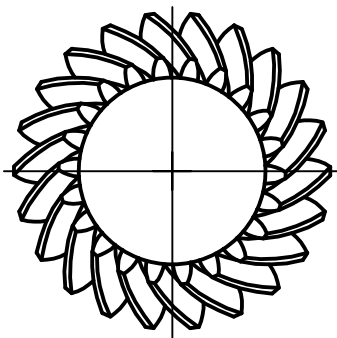
Пресек А-А (1 : 1)



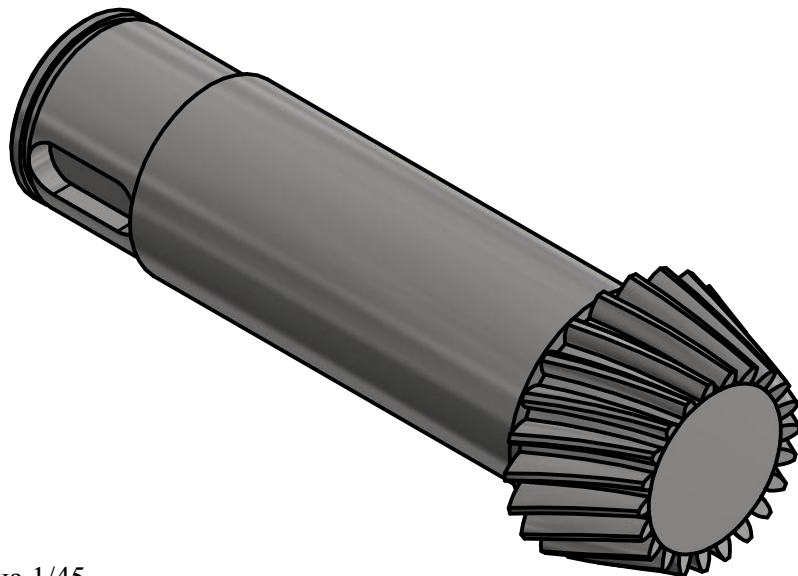
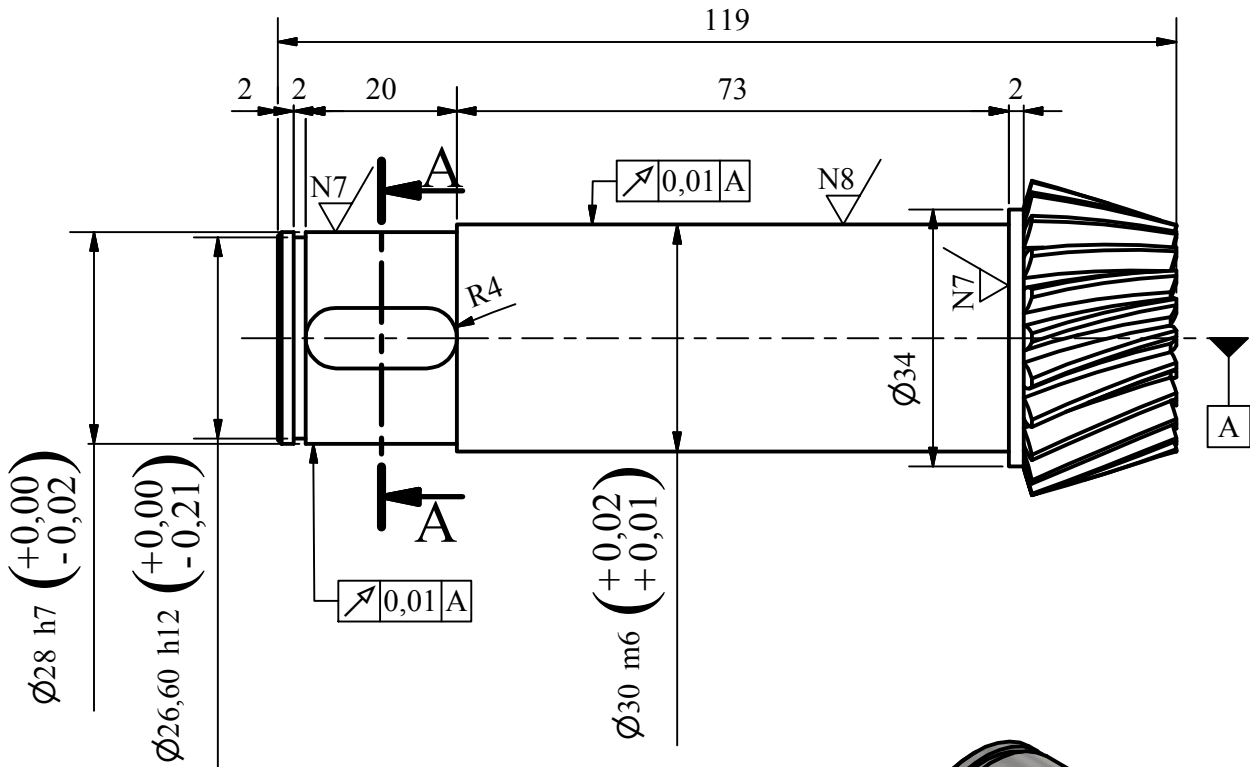
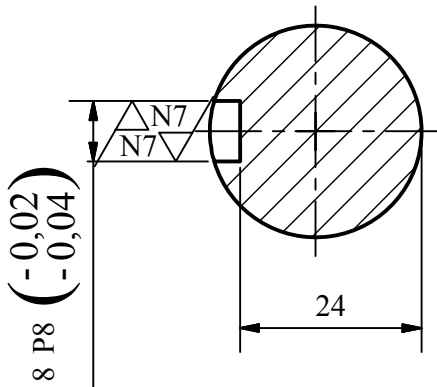
Напомена: Ивице оборити на 1/45.

Број зубаца		z2	59
Стандардни модул	mm	m	1.750
Модул	mm	mt	1.812
Стандардни профил	SRPS.M.C1.016		
Угао нагиба профила алата	step	α_n	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Смер нагиба бочне линије	десни		
Угао додирнице	step	α_v	20.7702
Угао нагиба на основном кругу	step	β_b	14.0761
Померање профила	mm	v	0.1989
Подеони корак	mm	p	5.498
Пречник подеоног круга	mm	d2	106.892
Пречник кинематског круга	mm	dw2	107.410
Пречник основног круга	mm	db2	100.027
Пречник подножног круга	mm	df2	103.214
Пречник теменог круга	mm	da2	111.077
Број зубаца спрегнутог зупчаника		z1	19
Осно растојање	mm	a	70.658

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:											
Материјал:								14NiCr18 (Č5427)								Термичка обрада			
																Маса		Размера	
														1.344 kg		1:1			
				Датум	јун.2018			Назив: Зупчаник 2											
				Обрад.	Александар Миливојевић														
				Станд.															
				Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.														
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака:				ТР А3.00.02.08				Лист:			
																13			
Ст. и	Измене		Датум					Име					Изм. под.				Замена за:		



Пресек А-А (1 : 1)

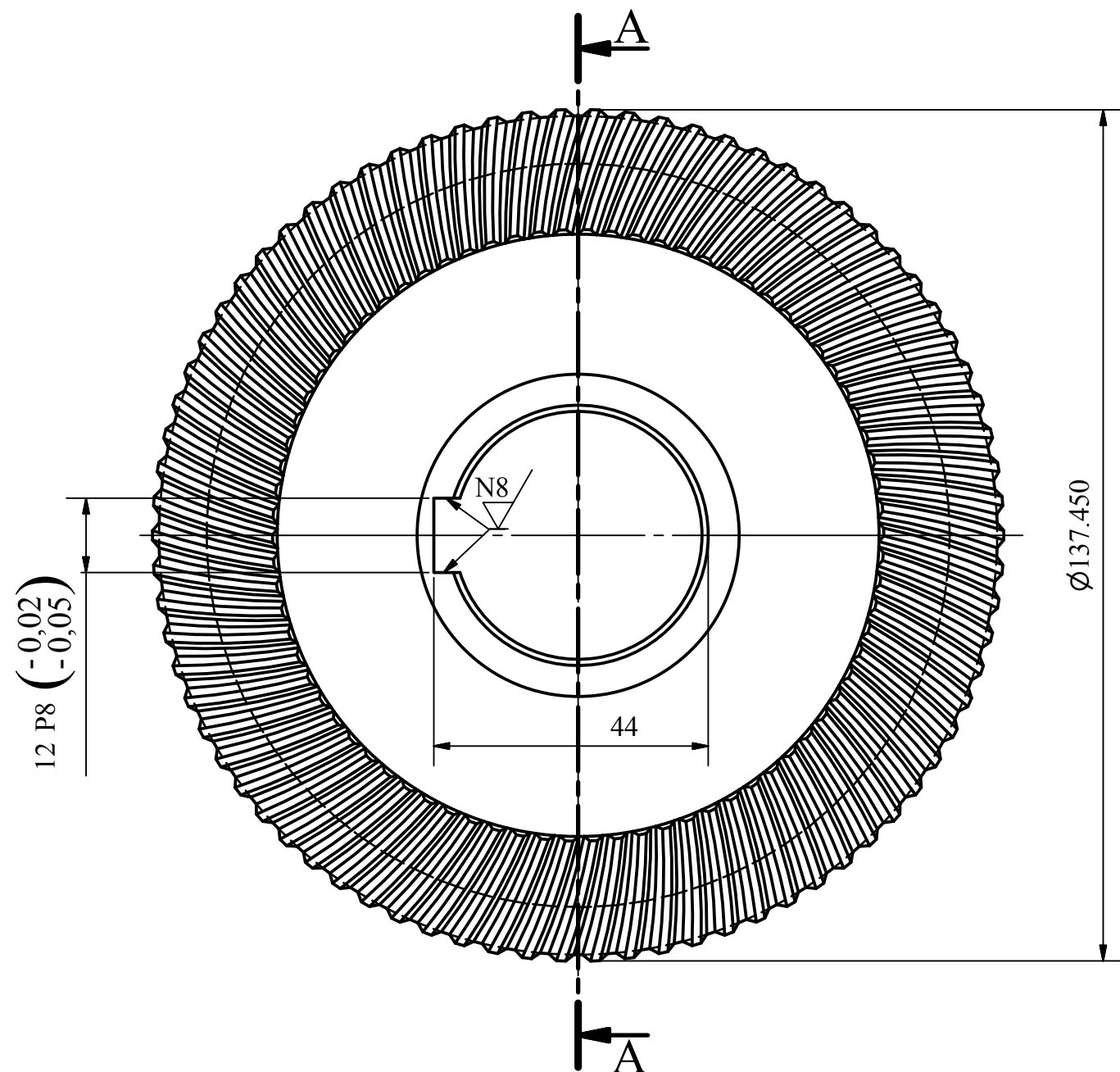
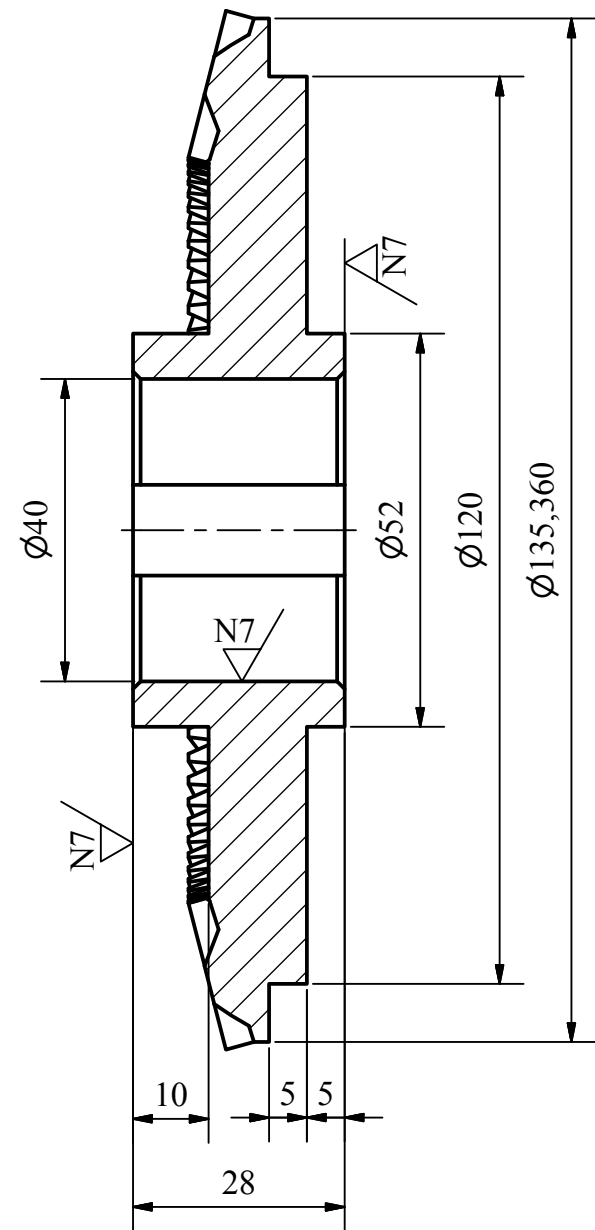


Напомена: Ивице оборити на 1/45.

Број зубаца		z3	22
Тангенцијални модул	mm	met	1.750
Модул	mm	m	1.706
Стандардни профил	SRPS.M.C1.016		
Угао нагиба профила алата	step	αnm	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Смер нагиба бочне линије	леви		
Угао нагиба на основном кругу	step	βb	14.1327
Осни угао	step	Σ	90
Пречник подеоног круга	mm	de3	38.500
Пречник у средишњој равни	mm	dm3	33.071
Мали спољашњи пречник	mm	dai3	30.060
Пречник подножног круга	mm	dfe3	34.458
Пречник теменог круга	mm	dae3	41.869
Број зубаца спрегнутог зупчаника		z4	78

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:							
Материјал:								Термичка обрада							
14NiCr18 (Č5427)												Маса		Размера	
												0.673 kg		1:2	
				Датум		јун.2018		Назив: Вратило II - Зупчаник 3							
				Обрад.		Александар Миливојевић									
				Станд.											
				Одобр.		др М.Благојевић, ван.проф.									
						Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака:				Лист:			
				ТР А3.00.02.09				14							
								Л 25							
Ст. и		Измене		Датум		Име		Изм. под.				Замена за:			

Пресек А-А (1 : 1)



Напомена: Ивице оборити на 1/45.

Број зубаца		z4	78
Тангенцијални модул	mm	met	1.750
Модул	mm	m	1.706
Стандардни профил	SRPS.M.C1.016		
Угао нагиба профила алата	step	αnm	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Смер нагиба бочне линије	десни		
Угао нагиба на основном кругу	step	βb	14.1327
Осни угао	step	Σ	90
Пречник подеоног круга	mm	de4	136.50
Пречник у средишњој равни	mm	dm4	117.251
Мали спољашњи пречник	mm	dai4	98.684
Пречник подножног круга	mm	dfe4	135.360
Пречник теменог круга	mm	dae4	137.450
Број зубаца спрегнутог зупчаника		z3	22

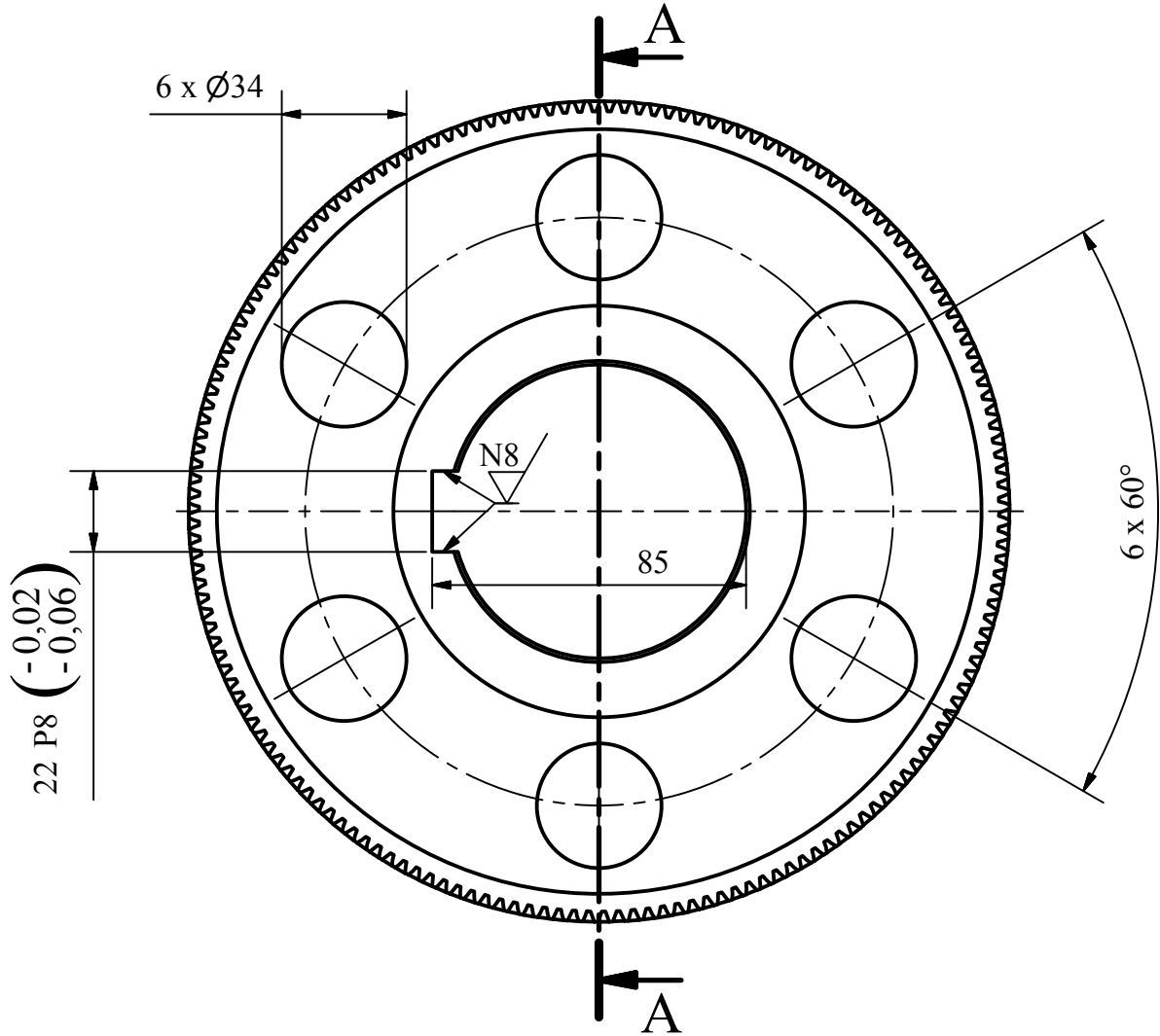
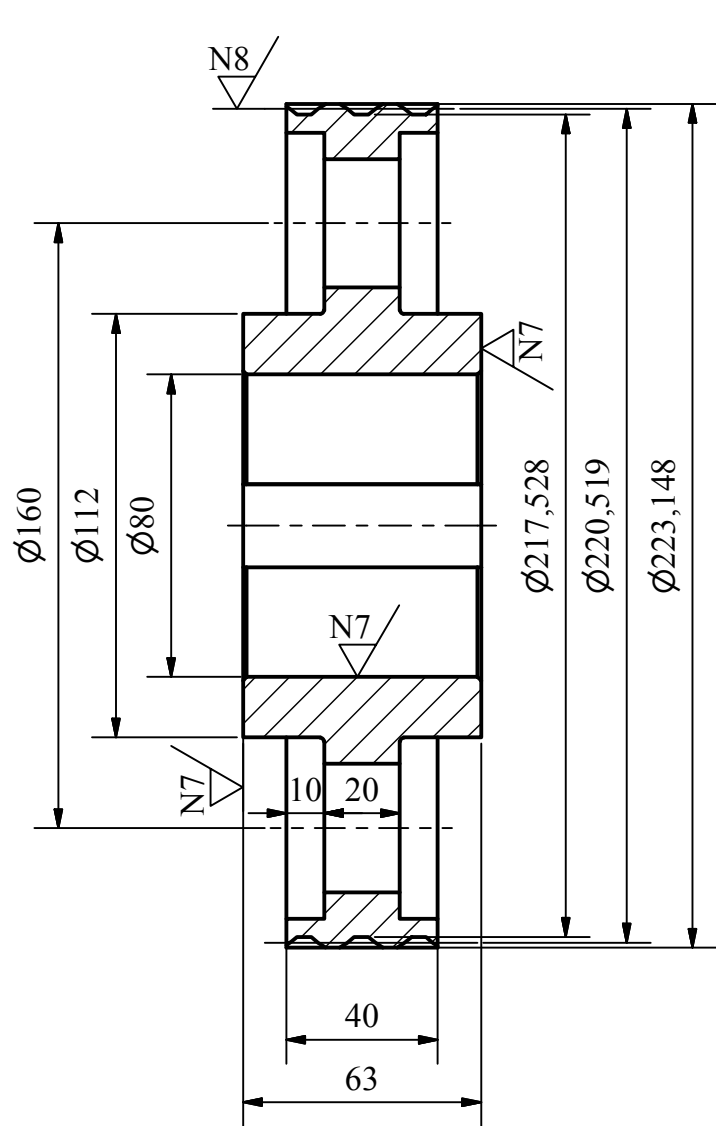
Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:											
Материјал:								14NiCr18 (Č5427)								Термичка обрада			
												Маса 1.264 kg				Размера 1:1			
				Датум		јун.2018		Назив: Зупчаник 4											
				Обрад.		Александар Миливојевић													
				Станд.															
				Одобр.		др М. Благошевић, ван.проф.													
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака:				ТР А3.00.02.10				Лист:			
																15			
																Л			
																25			
Ст. и		Измене		Датум		Име		Изд. под.				Замена за:							

Толеранције слободних мера				Површинска хрпаваост				Површинска заштита:								
Материјал:								Термичка обрада								
14NiCr18 (Č5427)																
								Маса 1.720 kg				Размера 1:1				
				Датум	јун.2018			Назив: Вратило III - Зупчаник 5								
				Обрад.	Александар	Миливојевић										
				Станд.												
				Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.											
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака:				Лист:				
								ТР A3.00.02.11				16				
												Л 25				
Ст. и		Измене		Датум		Име		Изм. пол.				Замена за:				

Technical drawing of a shaft assembly with dimensions and tolerances. The drawing shows a shaft with a total length of 430. Key features include:

- Dimensions:**
 - Overall length: 430
 - Section 1: 100 (length), 5 (fillet radius), 70 (width)
 - Section 2: 40 (length), 65 (diameter)
 - Section 3: 53 (length), 70 (diameter)
 - Section 4: 5 (length), 80 (diameter)
 - Section 5: 63 (length), 80 (diameter)
 - Section 6: 53 (length), 70 (diameter)
 - Section 7: 15 (length), 65 (diameter)
 - Section 8: 100 (length), 55 (diameter)
- Tolerances:**
 - Section 1: $\phi 55 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 2: $\phi 65 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 3: $\phi 70 \text{ m6}$ ($+0,03$ / $+0,01$)
 - Section 4: $\phi 80 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 5: $\phi 80 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 6: $\phi 70 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 7: $\phi 65 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
 - Section 8: $\phi 55 \text{ h7}$ ($+0,00$ / $-0,03$)
- Surface Tolerances:**
 - Section 1: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 2: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 3: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 4: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 5: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 6: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 7: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 8: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
- Geometric Tolerances:**
 - Section 1: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 2: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 3: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 4: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 5: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 6: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 7: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 8: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
- Other Features:**
 - Section 1: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 2: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 3: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 4: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 5: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 6: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 7: $\sqrt{0,01} \text{ A}$
 - Section 8: $\sqrt{0,01} \text{ A}$

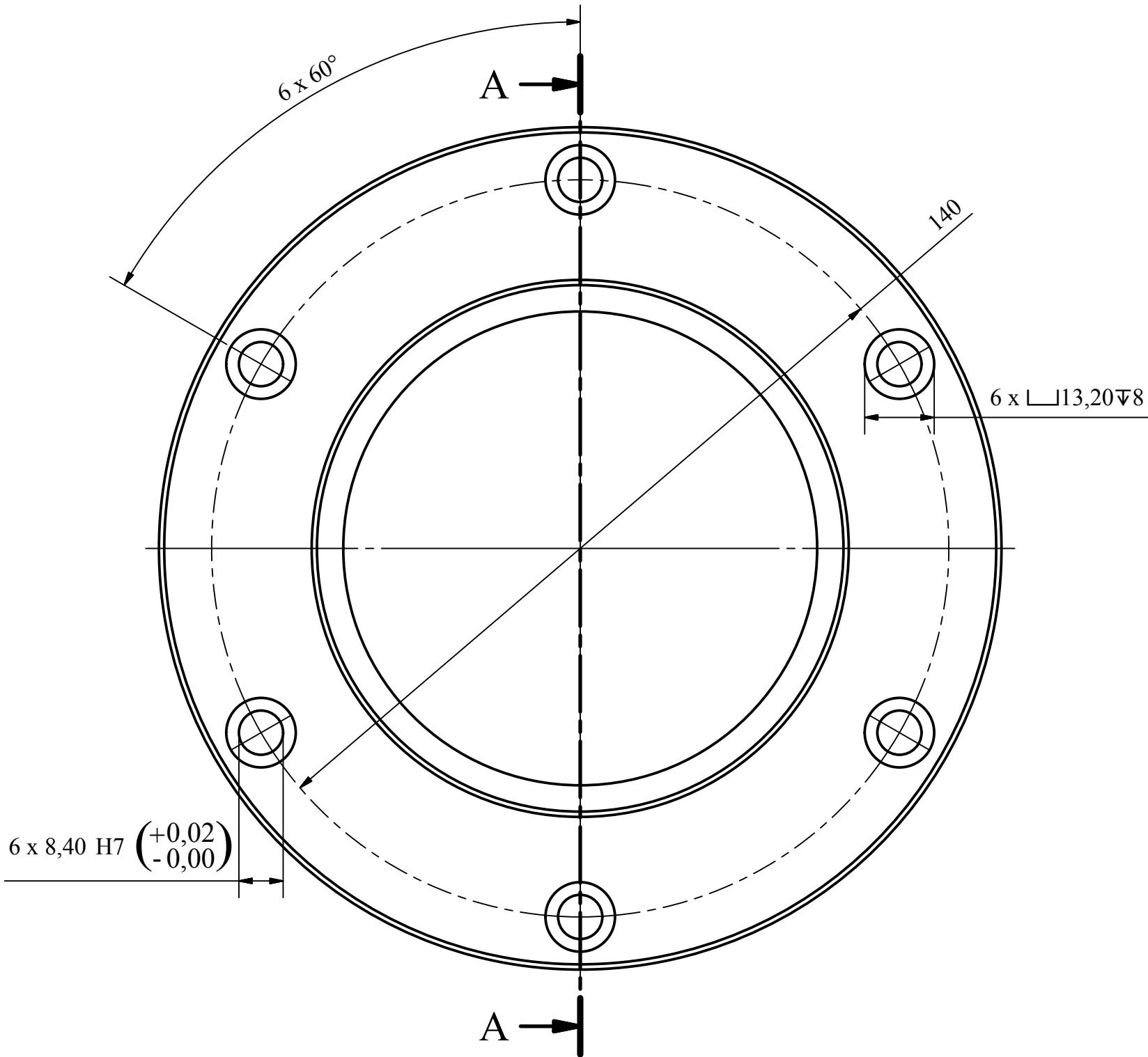
Пресек А-А (1 : 2)



Напомена: Ивице оборити на 1/45.

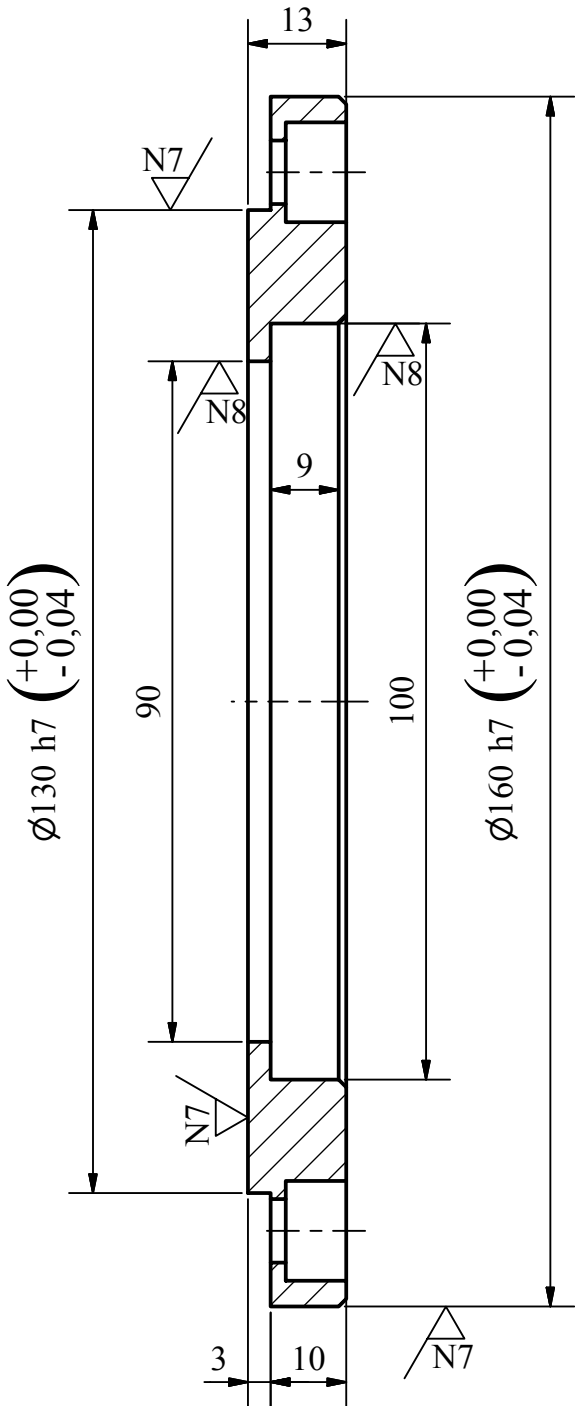
Број зубаца		z6	170
Стандардни модул	mm	m	1.250
Модул	mm	mt	1.294
Стандардни профил	SRPS.M.C1.016		
Угао нагиба профила алата	step	α_n	20
Угао нагиба бочне линије	step	β	15
Смер нагиба бочне линије	десни		
Угао додирнице	step	α_v	20.3824
Угао нагиба на основном кругу	step	β_b	14.0761
Померање профила	mm	v	0.2629
Подеони корак	mm	p	3.927
Пречник подеоног круга	mm	d6	219.996
Пречник кинематског круга	mm	dw6	220.519
Пречник основног круга	mm	db6	205.866
Пречник подножног круга	mm	df6	217.528
Пречник теменог круга	mm	da6	223.148
Број зубаца спрегнутог зупчаника		z5	42
Осно растојање	mm	a	137.174

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост		Површинска заштита:	
Материјал:				14NiCr18 (Č5427)		Термичка обрада	
						Маса	Размера
						6.696 kg	1:2
				Датум	јун.2018	Назив: Зупчаник 6	
				Обрад.	Александар Миливојевић		
				Станд.			
				Одобр.	др М.Благојевић, ван.проф.		
				Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака:	Лист:
						ТР А3.00.02.13	18
Ст. и	Измене	Датум	Име			Изв. под.	Замена за:
							Л 25

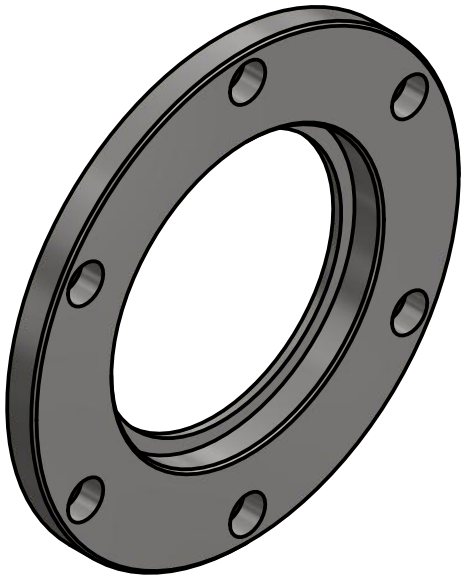


Пресек А-А (1 : 1)

N9//N7//N8//

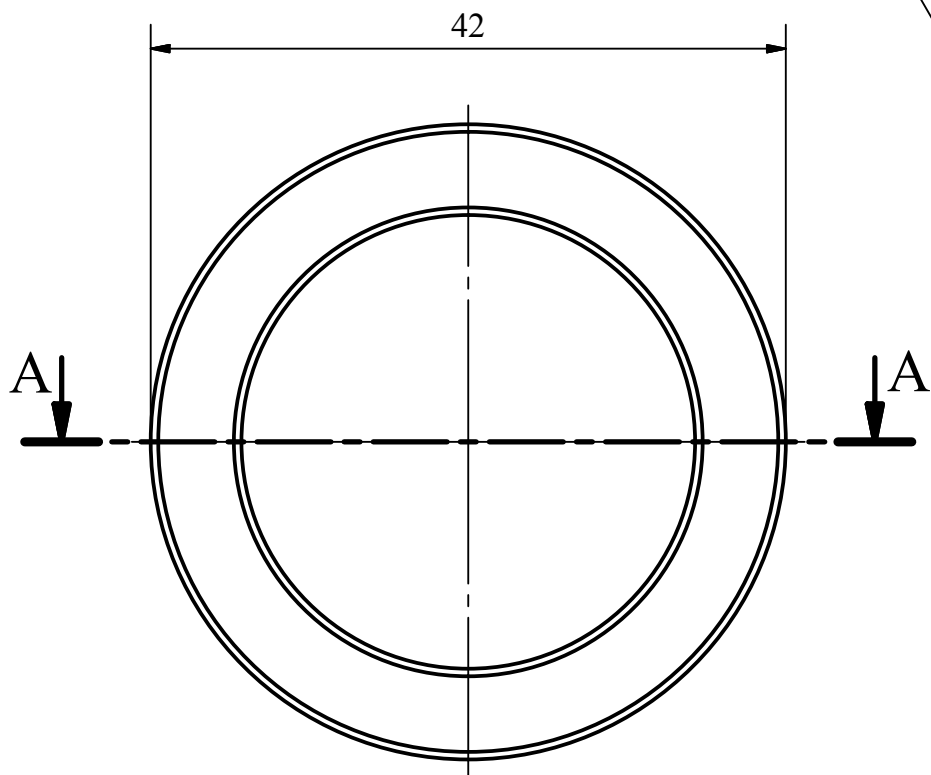


Напомена: Ивице оборити на 1/45.

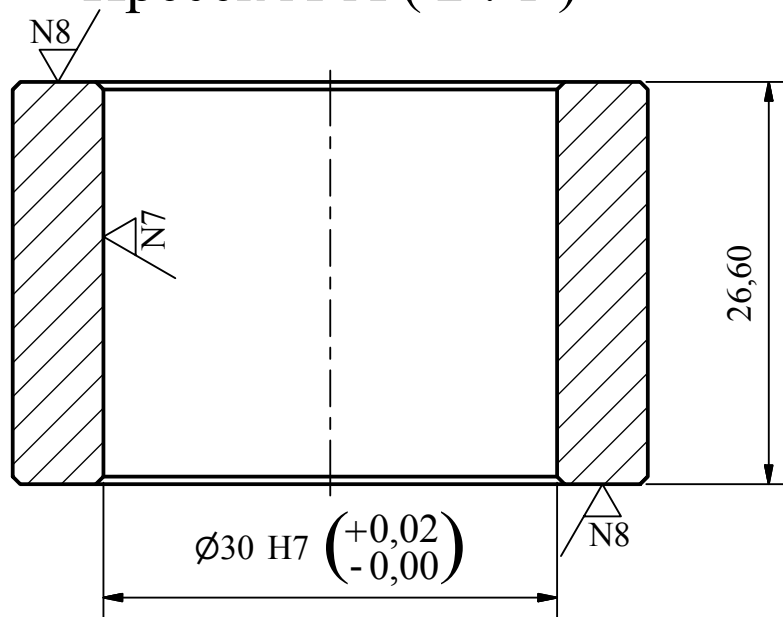


Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:																			
Материјал:								Е229 (Џ0545)								Термичка обрада											
												Маса 1.085 kg				Размера 1:1											
								Датум				јун.2018				Назив: Прирубница											
								Обрад.				Александар Миливојевић															
								Станд.																			
								Одобр.				др М.Благојевић, ван.проф.															
												Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака: ТР А3.00.02.14								Лист:			
								19																			
Ст. и		Измене		Датум		Име										Изв. под.				Замена за:				Л		25	

N9//N7//N8//



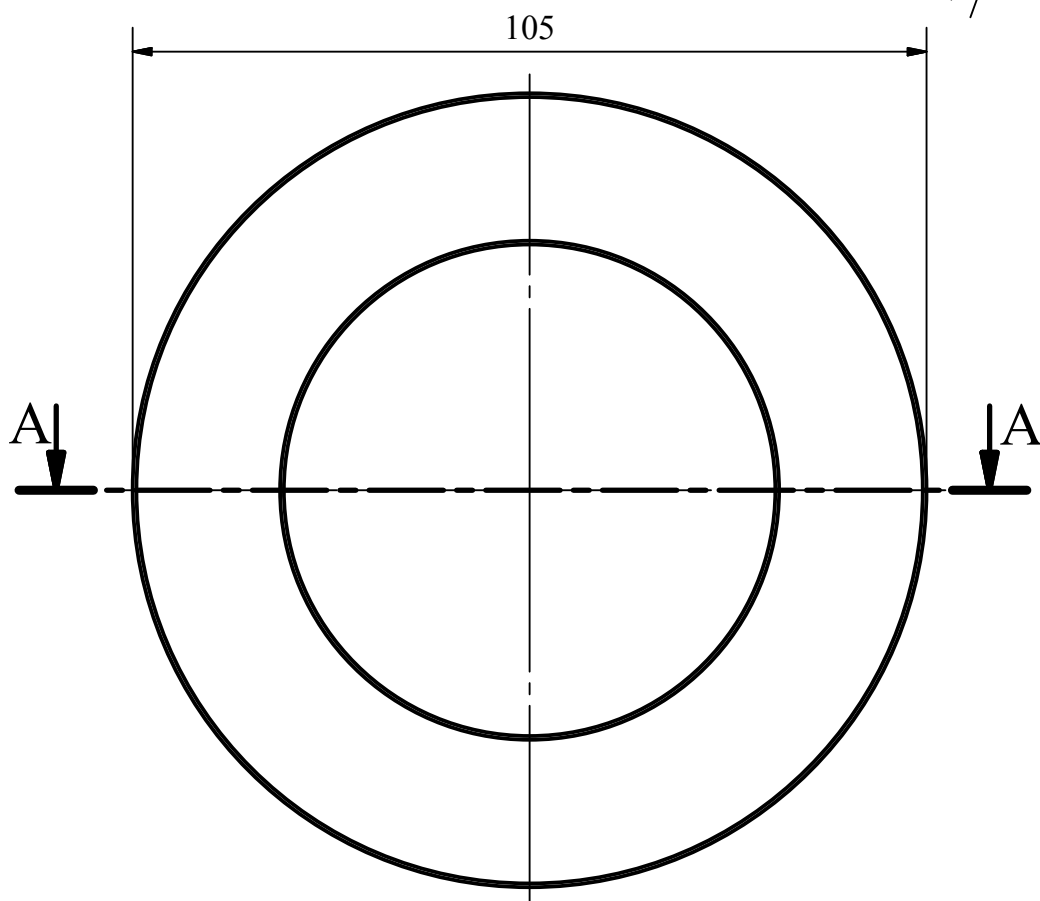
Пресек А-А (2 : 1)



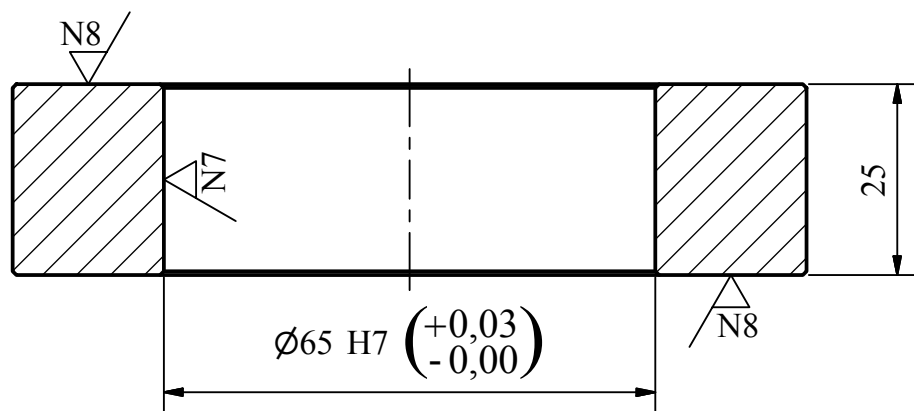
Напомена: Ивице оборити на 0,5/45.

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:																							
Материјал:								Е335 (Ѓ0645)								Термичка обрада															
												Маса 0.144 kg				Размера 2:1															
								Датум				јун.2018				Назив: Чаура 42 x 30 x 26.6															
								Обрад.				Александар Миливојевић																			
								Станд.				др М.Благојевић, ван.проф.																			
								Одобр.																							
																Ознака: ТР А4.00.02.15															
Ст. и				Измене				Датум				Име				Изв. под.								Замена за:							
																								Лист: 20 Л 25							

N9//N7//N8//



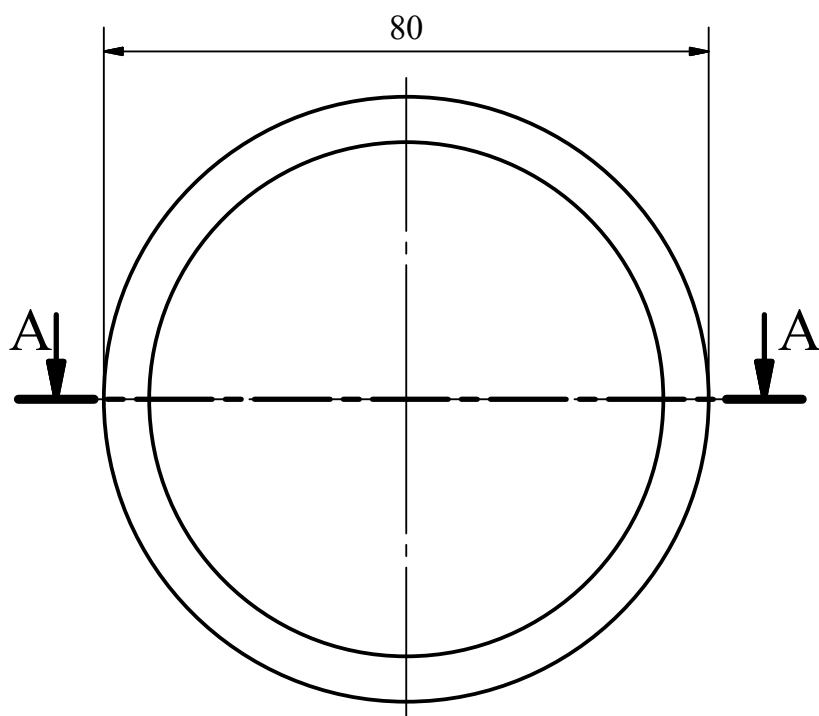
Пресек А-А (1 : 1)



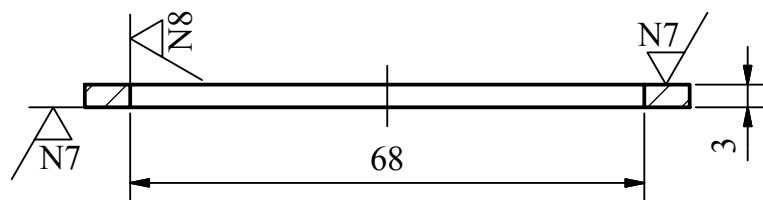
Напомена: Ивице оборити на 0,5/45.

Толеранције слободних мера				Површинска храпавост				Површинска заштита:							
Материјал:								E335 (Ѕ0645)				Термичка обрада			
												Маса		Размера	
												1.078 kg		1:1	
				Датум	јун.2018			Назив: Чаура 105x65x25							
				Обрад.	Александар	Миливојевић									
				Станд.	др М.Благојевић ,ван.проф.										
				Одобр.					Ознака: ТР А4.00.02.16						
				Факултет инжењерских наука Крагујевац											
Ст. и	Измене		Датум	Име					Лист:						
									21						
									Л 25						
Изм. под.								Замена за:							

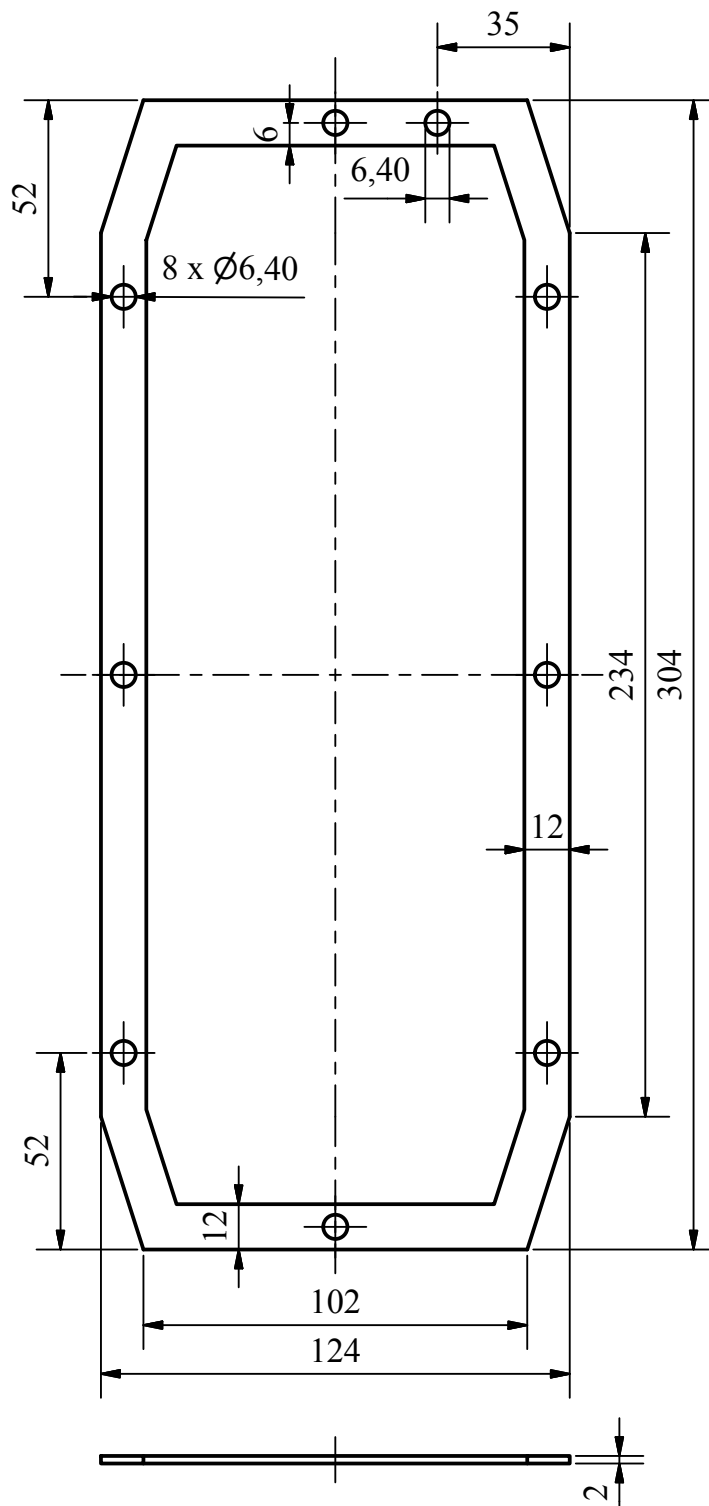
Толеранције слободних мера				Површинска хрпаваост				Површинска заштита:							
Материјал:								Термичка обрада							
E335 (Ѕ0645)															
								Маса				Размера			
								0.562 kg				1:1			
				Датум	јун.2018			Назив: Чаура 90 x 70 x 28							
				Обрад.	Александар	Миливојевић									
				Станд.	др М.Благојевић, ван.проф.										
				Одобр.											
				Факултет инжењерских наука Крагујевац				Ознака:				Лист:			
								Изв. под.				Замена за:			
Ст. и		Измене		Датум		Име									



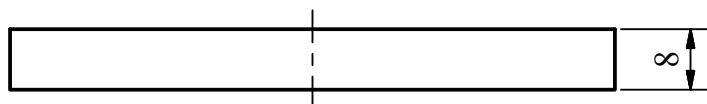
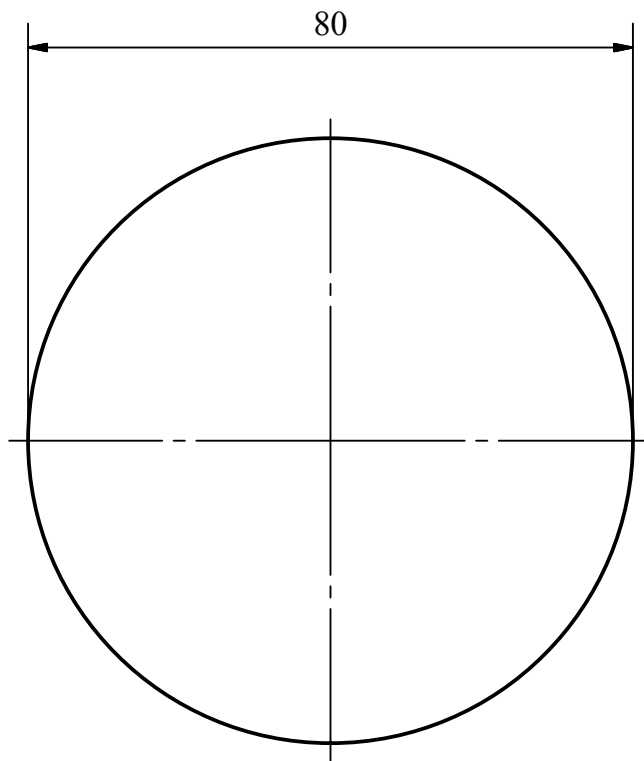
Пресек А-А (1 : 1)



Толеранције слободних мера				Површинска хрпавост				Површинска заштита:																							
Материјал:								Е229 (Č0545)								Термичка обрада															
												Маса				0.033 kg				Размера				1:1							
								Датум				јун.2018				Назив: Прстен 80 x 68 x 3															
								Обрад.				Александар Миливојевић																			
								Станд.				др М.Благојевић, ван.проф.																			
								Одобр.																							
																Ознака:								Лист:							
																ТР A4.00.02.18								23							
																								Л 25							
Ст. и				Измене				Датум				Име				Изв. под.								Замена за:							



Толеранције слободних мера		Површинска хрпавост		Површинска заштита:	
Материјал: Гума				Термичка обрада	
 				Маса 0.017 kg	Размера 1:2
		Датум	јун.2018		Назив: Гума за заптивање задњи поклопац
		Обрад.	Александар Миливојевић		
		Станд.	др М.Благојевић, ван.проф.		
		Одобр.			
			Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака: ТР А4.00.02.19
Ст. и	Измене	Датум	Име	Изв. под.	Лист: 24 Л 25
				Замена за:	



Толеранције слободних мера		Површинска хрпавост		Површинска заштита:	
Материјал: Гума				Термичка обрада	
				Маса 0.037 kg	Размера 1:1
		Датум	јун.2018		Назив: Гума 80 x 8
		Обрад.	Александар Миливојевић		
		Станд.	др М.Благојевић, ван.проф.		
		Одобр.			
		Факултет инжењерских наука Крагујевац		Ознака: ТР А4.00.02.20	
Ст. и	Измене	Датум	Име	Изв. под.	Лист: 25 Л 25
				Замена за:	

9. Закључак

Овакав модел редуктора има веома велику примену у индустрији, и то је један од главних разлога због кога је једно од решења оваквог модела редуктора представљено у овом раду. Предности оваквих редуктора су њихова једноставност, брзина монтаже и демонтаже, као и једноставност њиховог одржавања. Пре неколико десетина година било је незамисливо да редуктори мањих димензија, као што је овај редуктор, са великим преносним односом могу да имају дуг век трајања. Овоме је допринео развој материјала, рачунара, техника прорачуна, симулација, итд. Са развојем материјала повећана је издржљивост зупчаника, вратила и лежаја. Развојем рачунара дошло се до лакшег прорачуна стандардних елемената редуктора, као и лаког моделирања других елемената редуктора. Развојем софтвера за симулације лако је уочити могуће проблеме који се могу јавити током експлоатације. Такође, софтвери донесе бржи развој производа, израде техничке документације, итд.

Модел редуктора који је представљен у овом раду има значајно мању масу и димензије него редуктори са истим параметрима неких водећих произвођача, као што је на пример *Bonfiglioli*. Редуктор овог произвођача са истим параметрима као редуктор који је представљен у овом раду је већих димензија у просеку за око 20 милиметара. Мање димензије остварене су смањењем величине зупчаника, док је смањење зупчаника остварено коришћењем квалитетнијих материјала како би се задовољили степени сигурности у подножју и на боку зупца. Смањење димензија редуктора доводи и до уштеде материјала, што је у данашње време веома битно испоштовати. МКЕ анализом доказано је да кућиште и поклопац редуктора могу да пренесу предвиђена оптерећења.

Дакле, може се закључити да овако пројектован редуктор може бити веома успешно примењен у индустрији.

Литература

- [1] М.Трбојевић, М. Јанковић, Ј. Вукдеља, С. Ивковић, В. Латиновић: Редуктори, Београд, 1980.
- [2] В. Николић: Машински елементи, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2004.
- [3] М. Којић, Р. Славковић, М. Живковић, Н. Грујовић: Метод коначних елемената 1, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [4] К. Ј. Bathe: Finite Element Procedures, 2nd Edition, 2016.
- [5] Г. Јовичић: Метода коначних елемената, подлоге за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.
- [6] *Autodesk Inventor Professional 2016*, студентска верзија.