

Konstruktivsko rješenje varijatora s dvije konusne tarenice

Lukšić, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:209828>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-10**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Domagoj Lukšić

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Ivica Galić, dipl. ing.

Student:

Domagoj Lukšić

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Ivici Galiću na stručnoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Domagoj Lukšić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 19-09-2016 Prilog
Klasa: 602-04/16-6/3
Ur.broj: 15-1703-16-366

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Domagoj Lukšić** Mat. br.: 0035193909

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcijsko rješenje varijatora s dvije konusne tarenice**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design solution of CVT with two conus**

Opis zadatka:

Varijatori predstavljaju vrstu prijenosnika koji mogu za određenu konstantnu brzinu vrtnje pogonskog stroja opskrbljivati radni stroj različitim brzinama vrtnje. Ova opskrba se odvija kontinuirano, bez skokova. Jedno od konstrukcijskih rješenja je i varijator s dvije konusne tarenice. Kod ovog tipa varijatora, snaga se preko spojke predaje vratilu koje pogoni konusnu tarenicu, koja zatim preko pomične međutarenice pokreće drugu konusnu tarenicu. Pomicanjem međutarenice duž konusnih tarenica ostvaruje se različit prijenosni omjer.

Potrebno je izraditi konstrukcijsko rješenje varijatora s dvije konusne tarenice. Tijekom razmatranja rješenja potrebno je uzeti u obzir:

- snaga, koju je potrebno prenijeti pomoću ovog prijenosnika, iznosi 3 kW,
- broj okretaja pogonskog stroja iznosi 950 min^{-1} ,
- prijenosni omjer treba biti kontinuirano promjenjiv od $i_{\text{min}} = 0,5$ do $i_{\text{max}} = 2$,
- provjeru čvrstoće i ostale potrebne proračune izvršiti prema važećim normama.

Vrijednosti nužne za provedbu proračuna kao i odabir pojedinih komponenti usvojiti iz postojećih sličnih rješenja, iskustvenih vrijednosti te u dogovoru s mentorom.

Uz rad priložiti podatke odabranih komercijalnih proizvoda.

Kompletno konstrukcijsko rješenje razraditi do razine radioničkih crteža.

U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:
25. studenog 2015.

Rok predaje rada:
1. rok: 25. veljače 2016
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Ivica Galić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
1.1. Vrste prijenosnika snage i gibanja	1
1.1.1. Vrste prijenosnika obzirom na prijenos okretnog momenta	1
1.1.2. Vrste prijenosnika obzirom na promjenjivost prijenosnog omjera.....	2
1.2. Uvod u zadatak.....	3
2. PRORAČUN	4
2.1. Proračun tarenica T_{12}	4
2.1.1. Dimenzioniranje.....	4
2.1.2. Opterećenje	5
2.1.3. Širina tarenice 2	8
2.2. Proračun tarenica T_{23}	8
2.2.1. Dimenzioniranje.....	8
2.2.2. Opterećenje	10
2.3. Stupanj djelovanja.....	11
2.3.1. Stupanj djelovanja tarnog para T_{12}	11
2.3.2. Stupanj djelovanja tarnog para T_{23}	11
2.4. Provjera čvrstoće tarenica	12
2.4.1. Čvrstoća tarnog para T_{12}	12
2.4.2. Čvrstoća tarnog para T_{23}	12
2.5. Proračun vratila 1	13
2.5.1. Reakcije u osloncima	13
2.5.1.1. Reakcije u vertikalnoj (z-y) ravnini i momenti savijanja.....	13
2.5.1.2. Reakcije u horizontalnoj (y-x) ravnini i momenti savijanja	15
2.5.1.3. Rezultantne sile u osloncima	16
2.5.2. Dimenzioniranje vratila 1.....	17
2.5.2.1. Odabir materijala vratila 1	17
2.5.2.2. Dimenzija vratila u kritičnom presjeku E	17
2.5.3. Odabir i proračun ležajeva	19
2.5.3.1. Ležajno mjesto A	19
2.5.3.2. Ležajno mjesto B	21
2.5.4. Kontrolni proračun vratila.....	23
2.6. Proračun međuvratila	25
2.6.1. Reakcije u osloncima međuvratila	25
2.6.2. Dimenzioniranje međuvratila.....	26
2.6.3. Odabir i proračun ležajeva međuvratila	27
2.6.3.1. Ležajno mjesto F.....	27
2.6.3.2. Ležajno mjesto G	28
2.6.4. Kontrolni proračun vratila 2.....	29

2.7. Proračun vratila 2	30
2.8. Proračun tanjuraste opruge.....	31
2.9. Proračun pera između vratila 1 i tarenice 1.....	32
3. ZAKLJUČAK.....	34
LITERATURA.....	35
PRILOZI.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1.	Shematski prikaz zadatka	3
Slika 2.	Skica tarnog para T_{12}	5
Slika 3.	Skida tarnog para T_{23}	9
Slika 4.	Sile na vratilo 1 u vertikalnoj ravnini	13
Slika 5.	Sile na vratilo 1 u horizontalnoj ravnini	15
Slika 6.	Ležaj 6207	19
Slika 7.	Ležaj NU 1007 ECP	21
Slika 8.	Sile na međuvratilo u vertikalnoj ravnini	25
Slika 9.	Ležaj N 205 ECP	27
Slika 10.	Tanjurasta opruga DIN 2093	31

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Karakteriska tarnog para T ₁₂	6
Tablica 2.	Karakteristike odabranog materijala	17
Tablica 3.	Dimenzije i karakteristike ležaja 6207	19
Tablica 4.	Dimenzije i karakteristike ležaja NU 1007 ECP	22
Tablica 5.	Dimenzije i karakteristike ležaja N 205 ECP	27
Tablica 6.	Dimenzije i karakteristike tanjuraste opruge	31
Tablica 7.	Dimenzije pera 12x8	32

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

DL-01-092016-000	Mehanički varijator
DL-01-092016-001	Donje kućište
DL-01-092016-002	Gornje kućište
DL-01-092016-003	Vratilo
DL-01-092016-004	Međuvratilo
DL-01-092016-005	Konusna tarenica
DL-01-092016-006	Međutarenica
DL-01-092016-007	Distantni prsten manji
DL-01-092016-008	Distantni prsten veći
DL-01-092016-009	Poklopac vratila s provrtom
DL-01-092016-010	Poklopac vratila
DL-01-092016-011	Poklopac vretena s provrtom
DL-01-092016-012	Poklopac vretena
DL-01-092016-013	Vilica
DL-01-092016-014	Valjak
DL-01-092016-015	Vreteno

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
b_1	-	Faktor kvalitete površinske obrade
b_2	-	Faktor veličine strojnog dijela
B_2	mm	Širina tarenice 2
C	N	Dinamička nosivost ležaja
C_0	N	Statička nosivost ležaja
C_1	N	Dinamička opterećenost ležaja
d_A	mm	Promjer vratila u presjeku A
d_B	mm	Promjer vratila u presjeku B
d_C	mm	Promjer vratila u presjeku C
d_D	mm	Promjer vratila u presjeku D
d_E	mm	Promjer vratila u presjeku E
d_v	mm	Odabrani promjer vratila
E	N/mm ²	Ekvivalentni modul elastičnosti
f	kWh	Faktor istrošenja
f_0	-	Računski faktor
F_{aA}	N	Aksijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A
F_{aB}	N	Aksijalna komponenta reakcijske sile na oslonac B
F_{a1}	N	Aksijalna komponenta maksimalne normalne sile na tarenicu 1
F_{rA}	N	Radijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A
F_{rB}	N	Radijalna komponenta reakcijske sile na oslonac B
F_{r1}	N	Radijalna komponenta maksimalne normalne sile na tarenicu 1
F_{AH}	N	Horizontalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A
F_{BH}	N	Horizontalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto B
F_{AV}	N	Vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A
F_{BV}	N	Vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto B
F_{FV}	N	Vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto F
F_{GV}	N	Vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto G
F_F	N	Reakcijska sila na ležajno mjesto F
F_G	N	Reakcijska sila na ležajno mjesto G
F_N	N	Normalna sila na tarenicu
$F_{N1,max}$	N	Maksimalna normalna sila na tarenicu 1
$F_{N1,min}$	N	Minimalna normalna sila na tarenicu 1
$F_{N2,max}$	N	Maksimalna normalna sila na tarenicu 2

$F_{N2,min}$	N	Minimalna normalna sila na tarenicu 2
F_{opr}	N	Sila opruge
$F_{opr,max}$	N	Maksimalna sila opruge
$F_{o1,max}$	N	Maksimalna obodna sila na tarenicu 1
$F_{o1,min}$	N	Minimalna obodna sila na tarenicu 1
$F_{o2,max}$	N	Maksimalna obodna sila na tarenicu 2
$F_{o2,min}$	N	Minimalna obodna sila na tarenicu 2
F_t	N	Obodna sila koja djeluje na pero
G_{TN1}	N	Težina tarenice 1
G_{TN2}	N	Težina tarenice 2
H_B	-	Tvrdoća prema Brinellu
i_{max}	-	Maksimalni prijenosni omjer
i_{min}	-	Minimalni prijenosni omjer
k	-	Pritisak valjanja
k_{gr}	N/mm ²	Granični pritisak valjanja
l_p	mm	Odobrana duljina pera
l_t	mm	Nosiva duljina pera
$L_{10n,min}$	h	Zahtjevani nazivni vijek trajanja
M_{AH}	Nm	Moment savijanja u horizontalnoj ravnini u točki A
M_{BH}	Nm	Moment savijanja u horizontalnoj ravnini u točki B
M_{CH}	Nm	Moment savijanja u horizontalnoj ravnini u točki C
M_{DH}	Nm	Moment savijanja u horizontalnoj ravnini u točki D
M_{EH}	Nm	Moment savijanja u horizontalnoj ravnini u točki E
M_{AV}	Nm	Moment savijanja u vertikalnoj ravnini u točki A
M_{BV}	Nm	Moment savijanja u vertikalnoj ravnini u točki B
M_{CV}	Nm	Moment savijanja u vertikalnoj ravnini u točki C
M_{DV}	Nm	Moment savijanja u vertikalnoj ravnini u točki D
M_{EV}	Nm	Moment savijanja u vertikalnoj ravnini u točki E
M_{red}	Nm	Reducirani moment
M_f	Nm	Moment savijanja
n_{EM}	min ⁻¹	Brzina vrtnje pogonskog uređaja
n_m	min ⁻¹	Brzina vrtnje
P_{em}	kW	Ulazna snaga
P_{EM}	W	Snaga pogonskog uređaja
$p_{H,dop}$	MPa	Maksimalni dopušteni površinski pritisak
$p_{H1,max}$	MPa	Površinski pritisak tarnog para T ₁₂
P_{rA}	N	Dinamičko radijalno opterećenje ležajnog mjesta A
P_{rB}	N	Dinamičko radijalno opterećenje ležajnog mjesta B
P_{rF}	N	Dinamičko radijalno opterećenje ležajnog mjesta F
P_{rG}	N	Dinamičko radijalno opterećenje ležajnog mjesta G
p_{TN1}	MPa	Bočni tlak na tarenicu 1

$p_{TN1,dop}$	MPa	Dopušteni bočni tlak za odabrani materijal
p_{v1}	MPa	Bočni tlak na vratilo 1
$q_{f,gr}$	-	Karakteristika zagrijavanja
q_r	-	Faktor gubitka
R_e	N/mm ²	Granica razvlačenja
R_m	N/mm ²	Vlačna čvrstoća
$r_{1,max}$	mm	Maksimalni polumjer tarenice 1
$r_{1,min}$	mm	Minimalni polumjer tarenice 1
r_1	mm	Polumjer tarenice 1
r_2	mm	Polumjer tarenice 2
$r_{3,max}$	mm	Maksimalni polumjer tarenice 3
$r_{3,min}$	mm	Minimalni polumjer tarenice 3
S_k	-	Faktor sigurnosti proklizavanja
S_{post}	-	Postignuta sigurnost vratila
S_{potr}	-	Potrebna sigurnost vratila
T_{EM}	Nm	Okretni moment pogonskog uređaja
T_{EM}	Nm	Okretni moment pogonskog uređaja
W	mm ³	Moment otpora
X	-	Dinamični radijalni faktor ležaja
Y	-	Dinamični aksijalni faktor ležaja
α_1	°	Kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 1
α_2	°	Kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 2
α_3	°	Kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 3
β_{kf2}	-	Faktor zareznog djelovanja kod savijanja
β_{kt2}	-	Faktor zareznog djelovanja kod torzije
γ	-	Faktor iskorištenja
ε	-	EkspONENT vijeka trajanja
η	-	Stupanj djelovanja
μ	-	Faktor trenja
ρ	mm	Polumjer zakrivljenosti
σ_{fDN}	N/mm ²	Dopušteno naprezanje
$\sigma_{f,dop}$	N/mm ²	Dopušteno naprezanje na savijanje
σ_{red}	Nm	Reducirano naprezanje
φ	-	Faktor udara za ravnomjerni pogon
ω_{EM}	rad/s	Kutna brzina pogonskog uređaja

SAŽETAK

Završni zadatak na temu konstrukcijskog rješenja varijatora sa dvije konusne tarenice izrađen je u potpunosti sa pripadajućim proračunom i tehničkom dokumentacijom. Ulazni parametri koji su definirali tijek rada su: prijenosni omjer od 0,5 do 2, snaga u iznosu od 3 kW te brzina vrtnje pogonskog stroja od 950 min^{-1} . Mehanički varijator se sastoji od tri tarenice, dvije konusne, pogonska i gonjena, te jednom cilindričnom međutarenicom koja linearnim pomicanjem ostvaruje promjenu zadanog prijenosnog omjera. Proveden je cjelokupni proračun varijatora koji se sastoji od dimenzioniranja tarenica i vratila, provjere sigurnosti vratila, odabira ležaja te proračuna ostalih konstrukcijskih elemenata. Radu je uz proračun priložena tehnička dokumentacija konstrukcijski oblikovanog mehaničkog varijatora.

Ključne riječi: mehanički varijator, konusne tarenice, cilindrična tarenica, promjena prijenosnog omjera

SUMMARY

The subject of this final paper is constructional solution of twin cone CVT. It is made with all needed calculation and technical documentation. Paper was determined with given parameters: transmission ratio from 0,5 to 2, power in the amount of 3 kW and spinning speed of power machine with 950 min^{-1} . Cone CVT is consisted of three rollers, two conical, and one cylindrical between them. Cylindrical roller creates the variation by moving along the slope of the cones. Calculation includes dimensioning rollers, checking safety, choosing the right bearing and calculating other construction elements. Also, there is technical documentation for constructional made CVT in addition.

Key words: mechanical transmission, conical rollers, cylindrical roller, variable transmission ratio

1. UVOD

1.1. Vrste prijenosnika snage i gibanja

Prijenosnici snage i gibanja su tehnički sustavi koji imaju cilj prenijeti tražena svojstva sa pogonskog stroja na radni. Pogonski stroj daje snagu, točnije okretni moment pri kutnoj brzini. Njihova snaga je pretvorena iz različitih oblika energije. Mehanička, električna, kemijska te toplinska energija su osnovni izvori koji, unutar strojarških okvira, služe za dobivanje određene snage. Radni stroj potom iskorištava dobivenu snagu unutar svojih okvira, pretvara u određeni rad, a sve to uz težnju prema minimalnim gubicima. U pravilu, pogonski stroj ne daje određene parametre koji odgovaraju radnom stroju, te je potrebno reducirati ili multiplicirati brzinu vrtnje i moment, kompenzirati koaksijalnost i sl. Da bi se zadovoljio taj zahtjev, potrebno je između radnog stroja i pogonskog stroja ugraditi uređaj koji će zadovoljiti zahtjeve i omogućiti željeni rad – prijenosnik snage i gibanja.

Prijenosnici snage i gibanja dijele se na više načina. Osnovna podjela temelji se na načinu prijenosa snage te promjenjivost prijenosnog omjera. Također se mogu dijeliti prema izvedbama: s normalnim učinkom i visokoučinski, standardna i planetarna izvedba.

1.1.1. Vrste prijenosnika obzirom na prijenos okretnog momenta

Postoje tri osnovne vrste prijenosnika obzirom na prijenos okretnog momenta: mehanički, hidraulički i pneumatski prijenosnici, te električni prijenosnici. Ovisno o prirodi radnog stroja tj. pogonskog stroja, odabran će bit jedan od ova tri osnovna prijenosnika.

Mehanički prijenosnici su oni pod koji spada tema ovog rada. Stoga se osnovna podjela može svesti na one koji moment prenose trenjem te one koji moment prenose oblikom. Pogonski i gonjeni član mogu biti posredno i neposredno u kontaktu što se ostvaruje raznim izvedbama.

Hidraulički i pneumatski prijenosnici definirani su svojstvom da se okretni moment prenosi pomoću stlačene tekućine ili plina. Oni se dijele na hidrodinamičke i hidrostatičke prijenosnike. Hidrodinamičke karakterizira razmjerno niski tlak i visoka brzina strujanja, dok hidrostatičke karakterizira viši tlak, te manja brzina strujanja.

Posljednja podjela je na električne prijenosnike snage. Njih karakterizira to što se okretni moment prenosi električnim putem.

Mehanički prijenosnici će biti daljnja tema uvoda budući da je tema rada iz tog područja.

1.1.2. Vrste prijenosnika obzirom na promjenjivost prijenosnog omjera

Promjenjivost prijenosnog omjera ima za rezultat podjelu na dvije osnovne vrste: prijenosnici s konstantnim prijenosnim omjerom te prijenosnike s promjenjivim prijenosnim omjerom. Prijenosnici s konstantnim prijenosnim omjerom su konstruirani da u cijelom režimu rada imaju samo jedan prijenosni omjer dok su prijenosnici s promjenjivim prijenosnim omjerom konstruirani da se može regulirati prijenosni omjer.

Prijenosnici s konstantnim prijenosnim omjerom su najčešće mehanički prijenosnici. Njihovo projektiranje i eksploatacija je najpovoljnija te je održavanje jednostavno. Prema načinu prijenosa snage i oblika dijele se na zupčaničke, lančane, remenske te tarne prijenosnike. Remenski i tarni prijenosnici imaju karakteristiku da rade sa određenim proklizavanjem. Zupčanički i lančani prijenosnici imaju danas najširu upotrebu gdje im veliku prednost daje dugotrajnost te široka upotreba u različitim pogonima. Tarni i remenski prijenosnici temelje se na prijenosu obodne sile trenjem. Tarni prijenosnici sa konstantnim prijenosnim omjerom se najčešće projektiraju sa paralelnim i okomitim osima. Veliku prednost imaju u cijeni, osnom razmaku i težini naspram remenskog prijenosa. Prednost remenskog prijenosa je u tome što je moguć razvod snage na više vratila s jednim pogonskim remenom. Rade tiho i prigušuju udarna opterećena, te imaju razmjeno mali broj dijelova.

Prijenosnici sa promjenjivim prijenosnim omjerom mogu dovesti radnom stroju različite brzine vrtnje: skokovito i kontinuirano. Skokovita promjena prijenosnog omjera ostvaruje se najčešće sa zupčanicima, popularno zvani mjenjači. Kontinuirana promjena prijenosnog omjera se može ostvariti na puno više načina. Najčešće se koristi tarni prijenos, kao što je slučaj u ovom radu. Također se koriste i hidraulički i električni prijenosnici.

Mehanički varijatori su prijenosnici koji koriste tarenice za prijenos snage i gibanja te postižu kontinuirani prijenosni omjer. Kod mehaničkih varijatora snaga se prenosi trenjem, točnije prenosiva je obodna sila. Najčešće se koristi kaljeni čelik kao materijal te je zbog niskog koeficijenta trenja potrebna velika normalna sila gdje ujedno ta normalna sila puno više opterećuje ležajevе nego kod prijenosnika koji snagu i gibanje prenose oblikom. Također se zaključuje da je snaga koja se može prenijeti tarnim prijenosom puno manja nego kod prijenosa oblikom. Tarni prijenosnici rade u suhim uvjetima te u ulju. Prednost varijatora jest u tome što omogućuje velik prijenosni omjer, tihi rad i manji osni razmak. Nedostatak je u tome što je pristupno veliko opterećenje vratila i ležajeva.

1.2. Uvod u zadatak

Osnovni zahtjev u zadatku je broj i oblik tarenica. Koristiti će se dvije konusne tarenice te jedna cilindrična tarenica koja će se nalaziti između dvije konusne. Zadana je ulazna snaga, brzina vrtnje te prijenosni omjer koji je potrebno ostvariti. Cilindrična tarenica ima ulogu međutarenice koja pomoću mehanizma za pozicioniranje zadržava određeni položaj između dvije konusne tarenice te tako mijenja prijenosni omjer. Konstrukciji prethodi osnovni proračun te će tako biti odabrane dimenzije tarenica i osni razmak. Shematski prikaz zadanog varijatora prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Shematski prikaz zadatka

2. PRORAČUN

Zadane vrijednosti:

Snaga, koju je potrebno prenijeti pomoću prijenosnika: $P_{em} = 3 \text{ kW}$

Broj okretaja pogonskog stroja: $n_{em} = 950 \text{ min}^{-1}$

Prijenosni omjer, promjenjiv od $i_{min} = 0,5$ do $i_{max} = 2$

2.1. Proračun tarenica T_{12}

2.1.1. Dimenzioniranje

Maksimalna dimenzija pogonske tarenice T_1 je odabrana:

$$r_{1,max} = 100 \text{ mm}$$

Preko maksimalnog i minimalnog prijenosnog omjera određuju se ostale dimenzije tarenica, gdje se uzima pretpostavka da su tarenica 1 i tarenica 3 istih dimenzija:

$$i_{max} = 2 = \frac{r_{1,max}}{r_2} \cdot \frac{r_2}{r_{3,min}} = \frac{r_{1,max}}{r_{3,min}}$$

$$r_{1,min} = r_{3,min} = 50 \text{ mm}$$

$$i_{min} = 0,5 = \frac{r_{1,min}}{r_2} \cdot \frac{r_2}{r_{3,max}} = \frac{r_{1,min}}{r_{3,max}}$$

$$r_{1,max} = r_{3,max} = 100 \text{ mm}$$

Tarenica 2 ima konstantni promjer te je njezina vrijednost odabrana:

$$r_2 = 50 \text{ mm}$$

Kutovi za tarni par T_{12} između dodirne plohe i normale osi vrtnje, nakon odabira duljine tarenice, su:

$$\alpha_1 = 74^\circ$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$

Slika 2. Skica tarnog para T_{12}

2.1.2. Opterećenje

Potrebno je izračunati normalnu silu na tarenicu, točnije njezine krajnje vrijednosti: maksimalnu i minimalnu. Normalna sila direktno ovisi o obodnoj sili, koja se računa omjerom momenta pogonskog uređaja i radijusa na kojem djeluje, te faktoru trenja i odabranom faktoru sigurnosti.

Normalna sila proračunava se za pogonsku tarenicu 1, te ima istu vrijednost za gonjenu tarenicu 2.

Materijal tarenica koji je odabran je kaljeni čelik/kaljani čelik za oba tarna para. Definirane su neke od karakteristika u Tablici 1:

Tablica 1. Karakteriska tarnog para T₁₂

Materijal tarenica	Kaljani čelik/kaljani čelik
Ekvivalentni modul elastičnosti, E	210000 N/mm ²
Faktor trenja, μ	$\sqrt[3]{\frac{0,2}{\rho}}$
Granični pritisak valjanja, k_{gr}	$\left(\frac{H_B}{380}\right)^2 \leq 29 \text{ N/mm}^2$
Faktor istrošenja, f	0,5 mm ³ /kWh
Karakteristika zagrijavanja, $q_{f,gr}$	3,3

Okretni moment na pogonskom vratilu:

$$\omega_{EM} = \frac{n_{EM}}{30} \cdot \pi = \frac{950}{30} \cdot \pi = 99,48 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T_{EM} = \frac{P_{EM}}{\omega_{EM}} = \frac{3000}{99,48} = 30,16 \text{ Nm}$$

ω_{EM} – kutna brzina pogonskog uređaja u [rad/s]

P_{EM} – snaga pogonskog uređaja u [W]

n_{EM} – brzina vrtnje pogonskog uređaja u [min⁻¹]

T_{EM} – okretni moment pogonskog uređaja u [Nm]

Minimalna i maksimalna obodna sila na tarenicu T₁:

$$F_o = \frac{T_{EM}}{r}$$

$$F_{o1,max} = \frac{T_{EM}}{r_{1,min}} = \frac{30,16}{0,05} = 603,2 \text{ N}$$

$$F_{o1,min} = \frac{T_{EM}}{r_{1,max}} = \frac{30,16}{0,1} = 301,6 \text{ N}$$

$F_{o1,max}$ – maksimalna obodna sila na tarenicu 1 u [N]

$F_{o1,min}$ – minimalna obodna sila na tarenicu 1 u [N]

Ekvivalentni polumjer zakrivljenosti ρ_{12} za povoljniji slučaj maksimalne veličine tarenice 1:

$$\rho_{12} = \frac{r_{1,max} \cdot r_2}{r_{1,max} \cdot \sin(\alpha_2) + r_2 \cdot \sin(\alpha_1)} = \frac{100 \cdot 50}{100 \cdot \sin(74^\circ) + 50 \cdot \sin(90^\circ)} = 33,8 \text{ mm}$$

$r_{1,max}$ – maksimalni polumjer tarenice 1 u [mm]

r_2 – polumjer tarenice 2 u [mm]

α_1 – kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 1 u [°]

α_2 – kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 2 u [°]

Faktor trenja μ :

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{0,2}{\rho_{12}}} = \sqrt[3]{\frac{0,2}{33,8}} = 0,182$$

ρ_{12} – ekvivalentni polumjer zakrivljenosti [mm]

Minimalna i maksimalna normalna sila na tarenicu 1:

$$F_N = \frac{F_o \cdot S_k}{\mu}$$

$$F_{N1,max} = \frac{F_{o1,max} \cdot S_k}{\mu} = \frac{603,2 \cdot 1,3}{0,182} = 4318,06 \text{ N}$$

$$F_{N1,min} = \frac{F_{o1,min} \cdot S_k}{\mu} = \frac{301,6 \cdot 1,3}{0,182} = 2159,03 \text{ N}$$

$F_{N1,max}$ – maksimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

$F_{N1,min}$ – minimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

S_k – faktor sigurnosti protiv proklizavanja, $S_k = 1,3 \div 2$

$S_k = 1,3$, odabrano

μ – faktor trenja

2.1.3. Širina tarenice 2

Širina tarenice 2 ovisi o maksimalnoj normalnoj sili koja opterećuje istu, ekvivalentnom faktoru zakrivljenosti te pritisku valjanja.

Pritisak valjanja k :

$$k = \left(\frac{H_B}{380}\right)^2 = \left(\frac{600}{380}\right)^2 = 2,6$$

k – pritisak valjanja

H_B – tvrdoće prema Brinellu, $H_B = 300 \div 610$

$H_B = 600$, odabrano

Širina tarenice računa se prema izrazu:

$$B_2 = \frac{F_{N1,max}}{2 \cdot \rho_{12} \cdot k} = \frac{4318,06}{2 \cdot 33,8 \cdot 2,6} = 24,83 \text{ mm}$$

B_2 – širina tarenice 2

$F_{N1,max}$ – maksimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

ρ_{12} – ekvivalentni polujer zakrivljenosti [mm]

Odabrana širina tarenice:

$$B_2 = 25 \text{ mm}$$

2.2. Proračun tarenica T₂₃

2.2.1. Dimenzioniranje

Tarenica 2 zadržava dimenziju iz tarnog para T₁₂:

$$r_2 = 50 \text{ mm}$$

Preko maksimalnog i minimalnog prijenosnog omjera određuju se ostale dimenzije tarenica:

$$i_{\max} = 2 = \frac{r_{1,\max}}{r_2} \cdot \frac{r_2}{r_{3,\min}} = \frac{r_{1,\max}}{r_{3,\min}}$$

$$r_{3,\min} = r_{1,\min} = 50 \text{ mm}$$

$$i_{\min} = 0,5 = \frac{r_{1,\min}}{r_2} \cdot \frac{r_2}{r_{3,\max}} = \frac{r_{1,\min}}{r_{3,\max}}$$

$$r_{3,\max} = r_{1,\max} = 100 \text{ mm}$$

Kutovi za tarni par T_{23} između dodirne plohe i normale osi vrtnje su:

$$\alpha_3 = 74^\circ$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$



Slika 3. Skica tarnog para T_{23}

2.2.2. Opterećenje

Minimalna i maksimalna obodna sila na tarenicu T_2 jednaka je kao i na tarenicu T_1 :

$$F_{o2,max} = F_{o1,max} = 603,2 \text{ N}$$

$$F_{o2,min} = F_{o1,min} = 301,6 \text{ N}$$

$F_{o2,max}$ – maksimalna obodna sila na tarenicu 2 u [N]

$F_{o2,min}$ – minimalna obodna sila na tarenicu 2 u [N]

Ekvivalentni polumjer zakrivljenosti ρ_{23} za povoljniji slučaj maksimalne veličine tarenice 1:

$$\rho_{23} = \frac{r_{3,max} \cdot r_2}{r_{3,max} \cdot \sin(\alpha_2) + r_2 \cdot \sin(\alpha_3)} = \frac{100 \cdot 50}{100 \cdot \sin(74^\circ) + 50 \cdot \sin(90^\circ)} = 33,8 \text{ mm}$$

$r_{3,max}$ – maksimalni polumjer tarenice 3 u [mm]

r_2 – polumjer tarenice 2 u [mm]

α_3 – kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 3 u [°]

α_2 – kut između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenice 2 u [°]

Faktor trenja μ :

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{0,2}{\rho_{23}}} = \sqrt[3]{\frac{0,2}{33,8}} = 0,182$$

ρ_{23} – ekvivalentni polujer zakrivljenosti [mm]

Minimalna i maksimalna normalna sila na tarenicu 1:

$$F_N = \frac{F_o \cdot S_k}{\mu}$$

$$F_{N2,max} = \frac{F_{o2,max} \cdot S_k}{\mu} = \frac{603,2 \cdot 1,3}{0,182} = 4318,06 \text{ N}$$

$$F_{N2,min} = \frac{F_{o2,min} \cdot S_k}{\mu} = \frac{301,6 \cdot 1,3}{0,182} = 2159,03 \text{ N}$$

$F_{N2,max}$ – maksimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

$F_{N2,min}$ – minimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

S_k – faktor sigurnosti protiv proklizavanja, $S_k = 1,3$, odabrano

μ – faktor trenja

2.3. Stupanj djelovanja

Stupanj djelovanja tarnog para ovisi o faktoru gubitka, dodirnoj liniji, kutovima između dodirne plohe i normale na os vrtnje tarenica te samoj osi pogonske tarenice. Očituje se u postotku i ima izraženije gubitke naspram drugih oblika prijenosa snage.

2.3.1. Stupanj djelovanja tarnog para T_{12}

Faktor iskorištenja γ jest omjer obodne sile i sile trenja na pogonsku tarenicu prema [2] iznosi:

$$\gamma = \frac{F_{o1,max}}{\mu \cdot F_{N1,max}} = \frac{603,2}{0,1816 \cdot 4318,06} = 0,7962$$

γ – faktor iskorištenja

μ – faktor trenja

$F_{o1,max}$ – maksimalna obodna sila na tarenicu 1 u [N]

$F_{N1,max}$ – maksimalna normalna sila na tarenicu 1 u [N]

Faktor gubitaka q_r računa se prema:

$$q_r = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{\gamma} + \gamma \right) = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{0,7962} + 0,7962 \right) = 0,517$$

q_r – faktor gubitaka

Stupanj djelovanja η_{12} računa se prema:

$$\eta_{12} = 1 - \frac{B_2}{r_{1,max}} \cdot \left(\sin(\alpha_1) - \frac{\sin(\alpha_2)}{i} \right) \cdot q_r = 1 - \frac{25}{100} \cdot \left(\sin(74) - \frac{\sin(90)}{2} \right) \cdot 0,517$$

$$\eta_{12} = 0,94$$

B_2 – širinatarenice 2 u [mm]

$r_{1,max}$ – maksimalni polumjer tarenice 1 u [mm]

2.3.2. Stupanj djelovanja tarnog para T_{23}

Faktor iskorištenja γ i faktor gubitaka q_r suza tarni par T_{23} istovjetni faktoru iskorištenja i faktoru gubitaka za tarni par T_{12} :

$$\gamma = 0,7962$$

$$q_r = 0,517$$

Stupanj djelovanja η_{23} računa se prema:

$$\eta_{23} = 1 - \frac{B_2}{r_2} \cdot \left(\sin(\alpha_2) - \frac{\sin(\alpha_3)}{i} \right) \cdot q_r = 1 - \frac{25}{50} \cdot \left(\sin(90) - \frac{\sin(74)}{2} \right) \cdot 0,517$$

$$\eta_{23} = 0,87$$

B_2 – širina tarenice 2 u [mm]

$r_{1,\max}$ – maksimalni polumjer tarenice 1 u [mm]

2.4. Provjera čvrstoće tarenica

Čvrstoća tarenica provjerava se na način da se proračuna površinski pritisak koji ovisi o: modulu elastičnosti, maksimalnoj normalnoj sili, širini tarenice te ekvivalentnom faktoru zakrivljenosti.

Površinski pritisak mora biti manji od maksimalnog dopuštenog površinskog pritiska koji je definiran za odabrani materijal.

2.4.1. Čvrstoća tarnog para T_{12}

Površinski pritisak računa se prema:

$$p_{H1,\max} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{F_{N1,\max} \cdot E}{\rho \cdot B_2}} \leq p_{H,dop}$$

$$p_{H1,\max} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{4318,06 \cdot 210000}{33,8 \cdot 25}} = 435,34 \text{ MPa} \leq p_{H,dop} = 1000 \text{ MPa}$$

$p_{H1,\max}$ – površinski pritisak tarnog para T_{12} u [MPa]

E – ekvivalentni modul elastičnosti [MPa]

B_2 – širina tarenice 2 u [mm]

$p_{H,dop}$ – maksimalni dopušteni površinski pritisak u [Mpa]

$p_{H,dop} = 1000 \text{ MPa}$ – za navedeni materijal prema [2]

Proračun zadovoljava navedeni uvjet budući da je maksimalni površinski dodirni pritisak manji od dopuštenog.

2.4.2. Čvrstoća tarnog para T_{23}

Proračun čvrstoće tarnog para T_{23} istovjetan je proračunu izvedenom pod točkom 2.4.1. gdje je proračunat površinski pritisak tarnog para T_{12} . Stoga zaključujemo da je i ovaj uvjet zadovoljen.

2.5. Proračun vratila 1

2.5.1. Reakcije u osloncima

Promjer vratila odredit ćemo tako da će prvo biti izračunati momenti savijanja, te će se potom izračunati reakcije u osloncima. Također, pomoću reakcija u osloncima proračunati ćemo ležajna mjesta.

Sile koje opterećuju vratilo podjeljene su u horizontalnu i vertikalnu ravninu, te će se naposljetku odrediti reakcije obje komponente na pojedino ležajno mjesto.

Opterećenje vratila računa se za slučaj maksimalne obodne, tj. normalne sile koja djeluje na tarenicu 1:

$$F_{o1,max} = 603,2 \text{ N}$$

$$F_{a1} = F_{N1,max} \cdot \cos(\alpha_1) = 4318,1 \cdot \cos(74^\circ) = 1190 \text{ N}$$

$$F_{r1} = F_{N1,max} \cdot \sin(\alpha_1) = 4318,1 \cdot \sin(74^\circ) = 4150,8 \text{ N}$$

Dimenzije vratila:

$$l = 400 \text{ mm}$$

$$l_1 = 100 \text{ mm}$$

$$l_2 = 115 \text{ mm}$$

$$l_3 = l - l_1 - l_2 - l_4 = 400 - 110 - 115 - 80 = 105 \text{ mm}$$

$$l_4 = 80 \text{ mm}$$

2.5.1.1. Reakcije u vertikalnoj (z-y) ravnini i momenti savijanja



Slika 4. Sile na vratilo 1 u vertikalnoj ravnini

Kako bismo odredili reakcijske sile u osloncima vertikalne ravnine, odrediti ćemo jednadžbe ravnoteže:

Prvo ćemo postaviti sumu momenata oko točke A jednaku nuli, te će se tako definirati jedna jednadžba sa jednom nepoznanicom.

$$\sum M_A = 0$$

$$-G_{TN1} \cdot l_2 - F_{o1,max} \cdot (l_2 + l_3) + F_{BV} \cdot (l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

$$F_{BV} = \frac{G_{TN1} \cdot l_2 + F_{o1,max} \cdot (l_2 + l_3)}{l_2 + l_3 + l_4}$$

$$F_{BV} = \frac{280 \cdot 115 + 603,2 \cdot 220}{300}$$

$$F_{BV} = 549,68 \text{ N}$$

G_{TN1} – težina tarenice 1 u [N]

F_{BV} – vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto B u [N]

$F_{o1,max}$ – maksimalna obodna sila na tarenicu 1 u [N]

Potom je postavljena jednadžba ravnoteže po z-osi:

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{AV} - G_{TN1} - F_{O1,max} + F_{BV} = 0$$

$$F_{AV} = G_{TN1} + F_{O1,max} - F_{BV}$$

$$F_{AV} = 333,52 \text{ N}$$

F_{AV} – vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A u [N]

Momenti savijanja koji se javljaju u vertikalnoj ravnini su:

$$M_{CV} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{AV} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{DV} = -F_{AV} \cdot l_2 = -333,52 \cdot 0,115 = -38,35 \text{ Nm}$$

$$M_{EV} = -F_{BV} \cdot l_4 = -549,68 \cdot 0,08 = -43,97 \text{ Nm}$$

$$M_{BV} = 0 \text{ Nm}$$

M_{DV} – moment savijanja u točki D u [Nm]

M_{EV} – moment savijanja u točki E u [Nm]

2.5.1.2. Reakcije u horizontalnoj (y-x) ravnini i momenti savijanja



Slika 5. Sile na vratilo 1 u horizontalnoj ravnini

Kao i u slučaju prije, ovdje ćemo isto postavljati jednadžbe ravnoteže.

U horizontalnoj ravnini smjestili smo aksijalnu komponentu maksimalne normalne sile na tarenicu 1. Na tarenicu 1 se naslanja opruga koja u potpunosti preuzima aksijalnu komponentu sile te stoga ta sila ne opterećuje vratilo i nije ucrtana na Slici 5., ali izaziva reakciju u ležajnom mjestu A istovjetne vrijednosti. Prvo ćemo, dakle, postaviti jednadžbu ravnoteže po y-osi:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{aA} - F_{a1} = 0$$

$$F_{aA} = F_{a1} = 1190 \text{ N}$$

$$F_{opr} = 1190 \text{ N}$$

F_{aA} – aksijalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A u [N]

F_{a1} – aksijalna komponenta maksimalne normalne sile na tarenicu 1 u [N]

F_{opr} – sila opruge u [N]

Zatim postavljamo sumu momenata oko točke A jednaku nuli:

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_{a1} \cdot r_{1,\min} + F_{r1} \cdot (l_2 + l_3) - F_{BH} \cdot (l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

$$F_{BH} = \frac{-F_{a1} \cdot r_{1,\min} + F_{r1} \cdot (l_2 + l_3)}{l_2 + l_3 + l_4}$$

$$F_{BH} = \frac{-1190 \cdot 50 + 4150,8 \cdot 220}{300}$$

$$F_{BH} = 2845,6 \text{ N}$$

$$F_{r1}$$

– radijalna komponenta maksimalne normalne sile na tarenicu 1 u [N]

F_{BH} – horizontalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto B u [N]

Posljednje se postavlja jednadžba ravnoteže po z-osi:

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{AH} - F_{r1} + F_{BH} = 0$$

$$F_{AH} = F_{r1} - F_{BH}$$

$$F_{AH} = 4150,8 - 2845,6$$

$$F_{AH} = 1305,2 \text{ N}$$

F_{AH} – horizontalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A u [N]

Momenti savijanja koji se javljaju u horizontalnoj ravnini su:

$$M_{CH} = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{AH} = -F_{a1} \cdot r_{1,\min} = -1190 \cdot 0,05 = -59,5 \text{ Nm}$$

$$M_{DH} = -F_{a1} \cdot r_{1,\min} + F_{AV} \cdot l_2$$

$$M_{DH} = -1190 \cdot 0,05 + 333,52 \cdot 0,115 = 90,58 \text{ Nm}$$

$$M_{EH} = -F_{BH} \cdot l_4 + F_{AH} \cdot (l_4 + l_3)$$

$$M_{EH} = -2845,6 \cdot 0,08 + 1305 \cdot 0,22 = 227,64 \text{ Nm}$$

$$M_{BH} = 0 \text{ Nm}$$

M_{AH} – moment savijanja u točki D u [Nm]

M_{DH} – moment savijanja u točki D u [Nm]

M_{EH} – moment savijanja u točki E u [Nm]

2.5.1.3. Rezultantne sile u osloncima

Oslonac B:

$$F_{BV} = 549,68 \text{ N}$$

$$F_{BH} = 2845,6 \text{ N}$$

$$F_{rB} = \sqrt{(F_{BV})^2 + (F_{BV})^2} = \sqrt{(549,68)^2 + (2845,6)^2} = 2898,2 \text{ N}$$

Oslonac A:

$$F_{AV} = 333,52 \text{ N}$$

$$F_{AH} = 1305,2 \text{ N}$$

$$F_{rA} = \sqrt{(F_{AV})^2 + (F_{AH})^2} = \sqrt{(333,52)^2 + (1305,2)^2} = 1374,13 \text{ N}$$

$$F_{aA} = 1190 \text{ N}$$

F_{rB} – radijalna komponenta reakcijske sile na oslonac B u [N]

F_{aB} – aksijalna komponenta reakcijske sile na oslonac B, $F_{aB} = 0$

F_{rA} – radijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A u [N]

F_{aA} – aksijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A u [N]

2.5.2. Dimenzioniranje vratila 1

2.5.2.1. Odabir materijala vratila 1

Materijal odabran za vratilo 1 je: **S235JR** (St 37-2)

Neke od karakteristika odabranog materijala prikazane su u Tablici 2, te će se iste koristiti u daljnjim proračunima:

Tablica 2. Karakteristike odabranog materijala

Vlačna čvrstoća R_m	370 N/mm ²
Granica razvlačenja, R_e	220 N/mm ²
Dopušteno naprezanje σ_{fDN}	190 N/mm ²
Dopušteno naprezanje na savijanje $\sigma_{f,dop}$	50N/mm ²

2.5.2.2. Dimenzija vratila u kritičnom presjeku E

Prvo će biti potrebno odrediti reducirani moment budući da se na vratilu javlja torzijski moment pogonskog uređaja i moment savijanja. Torzijski moment pogonskog uređaja je konstantan od točke A do točke E te prima svoju maksimalnu vrijednost po duljini vratila, dok je moment savijanja najveći u točki E, stoga će taj presjek biti proračunat kao kritični te će vratilo u toj točki biti najveće dimenzije.

Nakon određivanja reduciranog momenta, odredit ćemo dimenziju vratila na tom presjeku koja će ovisiti, osim o reduciranom momentu, i o dopuštenom naprezanju na savijanje.

Reducirani moment računa se prema:

$$M_{\text{red}} = \sqrt{M_{f1}^2 + 0,75 \cdot T_{EM}^2}$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{M_{EH}^2 + M_{EV}^2 + 0,75 \cdot T_{EM}^2}$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{(227,64)^2 + (-43,94)^2 + 0,75 \cdot (30,16)^2}$$

$$M_{\text{red}} = 233,3 \text{ Nm}$$

M_{EH} – moment savijanja u točki E u [Nm]

M_{EV} – moment savijanja u točki E u [Nm]

T_{EM} – okretni moment pogonskog uređaja u [Nm]

Promjer vratila na presjeku E računa se prema:

$$d_E = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{\text{red}}}{\sigma_{f,\text{dop}}}}$$

$$d_E = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 233,3 \cdot 10^3}{50}} = 36 \text{ mm}$$

$\sigma_{f,\text{dop}}$ – dopušteno naprezanje na savijanje u [N/mm²]

S obzirom na proračun, odabrana dimenzija vratila na presjeku E jest:

$$d_E = 40 \text{ mm}$$

Ostale dimenzije vratila određene su na način da se svakom stupnju smanji promjer za 5 milimetara, te smo naposljetku dobili sljedeće dimenzije:

$$d_D = d_E = 40 \text{ mm}$$

$$d_A = 35 \text{ mm}$$

$$d_B = 35 \text{ mm}$$

$$d_C = 30 \text{ mm}$$

2.5.3. Odabir i proračun ležajeva

2.5.3.1. Ležajno mjesto A

Ležajno mjesto A jest čvrsto ležajno mjesto, opterećeno radijalnom i aksijalnom silom. Odabran je ležaj 6207, jednoreadni radijalni kuglični ležaj. Prikazan je slikom i definiranim karakteristikama u Tablici 3.:



Slika 6. Ležaj 6207

Tablica 3. Dimenzije i karakteristike ležaja 6207

Promjer d	35 mm
Promjer d_1	49,94 mm
Promjer D	72 mm
Promjer D_2	62,69 mm
Širina B	17mm
Radijus r_{12}	1,1 mm
Dinamička nosivost ležaja C	27 kN
Statička nosivost ležaja C_0	15,3 kN
Računski faktor f_0	13,8

Ležaj treba proračunati i provjeriti zadovoljava li uvjet da dinamička opterećenosti C_1 mora biti manja od dinamičke nosivosti ležaja C .

Dinamički faktori ležaja određuju se tako da se prvo odredi relativno aksijalno opterećenje koje se računa prema:

$$\frac{f_0 \cdot F_{aA}}{C_0} = \frac{13,8 \cdot 1190}{15300} = 1,07$$

F_{aA} – aksijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A u [N]

f_0 – računski faktor

C_0 – statička nosivost ležaja u [N]

Potom se linearnom interpolacijom određuje referentna vrijednost e , koja uvjetuje dinamičke faktore ležaja:

$$e = 0,28$$

Omjer aksijalne i radijalne komponente u ležajnom mjestu A:

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{1190}{1347,13} = 0,88 > e$$

F_{rA} – radijalna komponenta reakcijske sile na oslonac A u [N]

Budući da je omjer veći od e uzimamo da je:

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,53$$

X – dinamični radijalni faktor ležaja

Y – dinamični aksijalni faktor ležaja

Potrebno je odrediti dinamičko radijalno opterećenje, koje se računa prema izrazu:

$$P_{rA} = X \cdot F_{rA} + Y \cdot F_{aA}$$

$$P_{rA} = 0,56 \cdot 1347,13 + 1,53 \cdot 1190 = 2575,1 \text{ N}$$

P_{rA} – dinamičko radijalno opterećenje ležajnog mjesta A u [N]

Dinamička opterećenost ležaja računa se prema izrazu:

$$C_1 = P_{rA} \cdot \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10n_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$C_1 = 2575,1 \cdot \left(\frac{60 \cdot 950 \cdot 8000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_1 = 19820 \text{ N} < C = 27000$$

C_1 – dinamička opterećenost ležaja u [N]

C – dinamička nosivost ležaja u [N]

n_m – brzina vrtnje u [min^{-1}]

L_{10n_min} – zahtijevani nazivni vijek trajanja u [h]

$L_{10n_min} = 8000$ h

ε – eksponent vijeka trajanja

$\varepsilon = 3$; ležaj sa teorijskim dodirom u točki

Pošto je u proračunu utvrđeno da je dinamička opterećenost ležaja manja od dinamičke nosivosti, zaključuje se da ležaj zadovoljava.

2.5.3.2. Ležajno mjesto B

Budući da je mjesto B slobodno ležajno mjesto te je opterećeno radijanom silom, odabran je ležaj NU 1007 ECP.

Proračun ćemo provesti na isti način kao i za prethodni ležaj, tj. dinamička opterećenost ležaja mora biti manja od dinamičke nosivosti ležaja.

Ležaj je prikazan Slikom 7. i definiran Tablicom 4.:



Slika 7. Ležaj NU 1007 ECP

Tablica 4. Dimenzije i karakteristike ležaja NU 1007 ECP

Promjer d	35 mm
Promjer F	42 mm
Promjer D	62 mm
Promjer D_1	53,95 mm
Širina B	14 mm
Radijus r_{12}	1 mm
Radijus r_{34}	0,6 mm
Širina s	1 mm
Dinamička nosivost ležaja C	35,8 kN
Statička nosivost ležaja C_0	38 kN

Potrebno je odrediti dinamičko radijalno opterećenje za ovaj slučaj B, u kojem nema aksijalne komponente sile te se opterećenje sastoji samo od radijane komponente:

$$P_{rB} = F_{rB} = 2898,2 \text{ N}$$

P_{rB} – dinamičko radijano opterećene ležajnog mejsta B u [N]

Dinamička opterećenost ležaja računa se prema izrazu:

$$C_1 = P_{rB} \cdot \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10n_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$C_1 = 2898,2 \cdot \left(\frac{60 \cdot 950 \cdot 8000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$C_1 = 18189 \text{ N} < C = 35800 \text{ N}$$

n_m – brzina vrtnje u [min^{-1}]

L_{10n_min} – zahtijevani nazivni vijek trajanja u [h]

$$L_{10n_min} = 8000 \text{ h}$$

ε – eksponent vijeka trajanja

$\varepsilon = 10/3$; ležaj sa teorijskim dodirrom u točki

S obzirom da je utvrđeno da je dinamička opterećenost ležaja manja od dinamičke nosivosti, zaključuje se da ležaj zadovoljava.

2.5.4. Kontrolni proračun vratila

Kontrolni proračun vratila, tj njegova sigurnost, proračunavati će se za kritično mjesto D, budući da nepogodno djeluje utor za pero, a moment savijanja je nešto manji nego u kritičnom mjestu E. Utor za pero će ujedno i definirati faktore zareznog djelovanja pri savijanju i torziji.

Moment savijanja koji djeluje u točki D jest:

$$M_{f2} = \sqrt{((-F_{AV} \cdot 0,16) + (-G_{TN1} \cdot 0,055))^2 + ((F_{a1} \cdot 0,055) + (F_{AH} \cdot 0,16))^2}$$

$$M_{f2} = \sqrt{((-333,52 \cdot 0,16) + (-280 \cdot 0,055))^2 + ((1190 \cdot 0,055) + (1305 \cdot 0,16))^2}$$

$$M_{f2} = 276,97 \text{ N}$$

F_{AH} – horizontalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A u [N]

F_{AV} – vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto A u [N]

G_{TN1} – težina tarenice 1 u [N]

F_{a1}

– aksijana komponenta maksimalne normalne sile na tarenicu 1 u [N]

Faktor zareznog djelovanja β_{kf2} kod savijanja za situaciju sa utorom za pero određuje se iz uvjeta prekidne čvrstoće za odabrani materijal vratila i oblika utora:

$$R_m = 370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \text{ oblik utora je B}$$

$$\beta_{kf2} = 1,44$$

Faktor zareznog djelovanja β_{kt2} kod uvijanja za situaciju sa utorom za pero iznosi:

$$\beta_{kt2} = 1,8$$

Reducirani moment računa se prema izrazu:

$$M_{\text{red}} = \sqrt{(M_{f2} \cdot \beta_{kf2})^2 + 0,75 \cdot (\alpha_0 \cdot \beta_{kt2} \cdot T_{EM})^2}$$

$$M_{\text{red}} = \sqrt{(276,97 \cdot 1,44)^2 + 0,75 \cdot (1 \cdot 1,8 \cdot 30,16)^2}$$

$$M_{\text{red}} = 401,59 \text{ Nm}$$

M_{f2} – moment savijanja za kritični presjek D u [Nmm]

β_{kf2} – faktor zareznog djelovanja kod savijanja

β_{kt2} – faktor zareznog djelovanja kod torzije

T_{EM} – okretni moment pogonskog uređaja u [Nm]

Moment otpora za zadani presjek računa se prema:

$$W = 0,1 \cdot d_v^3$$

$$W = 0,1 \cdot 40^3 = 6400 \text{ mm}^3$$

d_v – promjer vratila u presjeku D u [mm]

Reducirano naprezanje za zadani presjek:

$$\sigma_{\text{red}} = \frac{M_{\text{red}}}{W} = \frac{401,59 \cdot 10^3}{6400} = 62,74 \text{ Nm}$$

M_{red} – reducirani moment u presjeku D u [Nm]

W – moment otpora u [mm³]

Faktor veličine strojnog djela b_2 i faktor kvalitete površinske obrade b_1 određuju se iz dijagrama:

$$b_1 = 0,84$$

$$b_2 = 0,93$$

Sigurnost vratila računa se prema izrazu:

$$S_{\text{post}} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi \cdot \sigma_{\text{red}}}$$

$$S_{\text{post}} = \frac{0,84 \cdot 0,93 \cdot 190}{1 \cdot 62,74}$$

$$S_{\text{post}} = 2,4 > S_{\text{potr}} = 1,4$$

b_1 – faktor kvalitete površinske obrade

b_2 – faktor veličine strojnog djela

σ_{fDN} – dopušteno naprezanje u [N/mm²]

φ – faktor udara za ravnomjerni pogon

$$\varphi = 1$$

σ_{red} – reducirano naprezanje u presjeku D u [Nm]

Sigurnost koju je potrebno zadovoljiti u ovom slučaju je manja nego postignuta sigurnost, stoga možemo smatrati da je ovo vratilo, na kritičnom presjeku, zadovoljilo uvjet sigurnosti.

2.6. Proračun međuvratila

2.6.1. Reakcije u osloncima međuvratila

Vratilo je opterećeno samo sa dvije obodne sile, koje su iste veličine kao i maksimalna obodna sila na tarenicu 1, te su istog smjera. Komponente normalne sile djeluju na istom pravcu, ali u različitim smjerovima te se poništavaju i ne opterećuju niti vratilo niti ležajeve.

Obodne sile djeluju u vertikalnoj ravnini pa ćemo zato proučavati samo slučaj vertikalnog opterećenja.

Sile koje opterećuju vratilo:

$$F_{O2,max} = F_{O1,max} = 603,2 \text{ N}$$

$$G_{TN2} = 15 \text{ N}$$

Dimenzije vratila:

$$l = 320 \text{ mm}$$

$$l_1 = l - l_2 = 320 - 80 = 240 \text{ mm}$$

$$l_2 = 80 \text{ mm}$$



Slika 8. Sile na međuvratilo u vertikalnoj ravnini

Prvo ćemo postaviti sumu momenata oko točke G jednaku nuli, te će se tako definirati jedna jednadžba sa jednom nepoznanicom.

$$\sum M_G = 0$$

$$(-G_{TN2} - 2 \cdot F_{O2,max}) \cdot l_2 + F_{FV} \cdot l = 0$$

$$F_{FV} = \frac{(15 + 2 \cdot 603,2) \cdot 240}{300}$$

$$F_{FV} = 977,12 \text{ N}$$

G_{TN2} – težina tarenice 2 u [N]

F_{FV} – vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto F u [N]

$F_{O2,max}$ – maksimalna obodna sila na tarenicu 2 u [N]

Potom je postavljena jednačba ravnoteže po z-osi:

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{GV} - G_{TN2} - 2 \cdot F_{O2,max} + F_{FV} = 0$$

$$F_{GV} = G_{TN2} + 2 \cdot F_{O1,max} - F_{FV}$$

$$F_{GV} = 244,12 \text{ N}$$

F_{GV} – vertikalna komponenta reakcijske sile na ležajno mjesto G u [N]

Ovaj slučaj ima samo vertikalnu komponentu, stoga će reakcijske sile na ležajna mjesta biti jednake vertikalnoj komponenti:

$$F_F = F_{FV} = 977,12 \text{ N}$$

$$F_G = F_{GV} = 244,12 \text{ N}$$

F_G – reakcijska sila na ležajno mjesto G u [N]

F_F – reakcijska sila na ležajno mjesto F u [N]

2.6.2. Dimenzioniranje međuvratila

Materijal odabran za vratilo 1 će biti također odabran za međuvratilo: **S235JR**(St 37-2).

Međuvratilo je glatko i ima konstanti promjer po cijeloj dužini, koji je određen iz formule:

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot F_{FV} \cdot l_2}{\sigma_{f,dop}}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 977,12 \cdot 80}{50}} = 24,88 \text{ mm}$$

$\sigma_{f,dop}$ – dopušteno naprežanje na savijanje u [N/mm²]

Odabran promjer vratila:

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

2.6.3. Odabir i proračun ležajeva međuvratila

2.6.3.1. Ležajno mjesto F

Ležajno mjesto F opterećeno je samo radijalnom komponentom reakcijske sile na ležajno mjesto F, te je stoga odabran ležaj: N 205 ECP.

Dimenzije i karakteristike ležaja prikazane su na Slici 9. i u Tablici 5.:



Slika 9. Ležaj N 205 ECP

Tablica 5. Dimenzije i karakteristike ležaja N 205 ECP

Promjer d	25 mm
Promjer E	46,5 mm
Promjer D	52 mm
Promjer d_1	34,7 mm
Širina B	15 mm
Radijus r_{12}	1 mm
Radijus r_{34}	0,6 mm
Širina s	1,3 mm
Dinamička nosivost ležaja C	32,5 kN
Statička nosivost ležaja C_0	37 kN

Dinamičko radijalno opterećenje za slučaj F određujemo tako da uklonimo aksijalnu komponentu sile te se opterećenje sastoji samo od radijane komponente:

$$P_{rF} = F_{rF} = 977,12 \text{ N}$$

P_{rF} – dinamičko radijano opterećene ležajnog mjesta F u [N]

Dinamička opterećenost ležaja računa se prema izrazu:

$$C_1 = P_{rF} \cdot \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10n_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$C_1 = 977,12 \cdot \left(\frac{60 \cdot 950 \cdot 8000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$C_1 = 7549,98 \text{ N} < C = 32500 \text{ N}$$

n_m – brzina vrtnje u [min^{-1}]

L_{10n_min} – zahtjevani nazivni vijek trajanja u [h]

$$L_{10n_min} = 8000 \text{ h}$$

ε – eksponent vijeka trajanja

$\varepsilon = 10/3$; ležaj sa teorijskim dodirom u točki

S obzirom da je dinamička opterećenost ležaja manja od dinamičke nosivosti, zaključujemo da ležaj zadovoljava.

2.6.3.2. Ležajno mjesto G

Za ležajno mjesto G odabran je isti ležaj budući da je situacija u potpunosti ista, osim što je sila različite veličine, stoga ćemo samo provesti proračun provjere dinamičke opterećenosti:

$$P_{rG} = F_{rG} = 244,12 \text{ N}$$

P_{rG} – dinamičko radijano opterećene ležajnog mjesta G u [N]

Dinamička opterećenost ležaja računa se prema izrazu:

$$C_1 = P_{rG} \cdot \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10n_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}}$$

$$C_1 = 244,12 \cdot \left(\frac{60 \cdot 950 \cdot 8000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$C_1 = 1885 \text{ N} < C = 32500 \text{ N}$$

Također zaključujemo da ležaj zadovoljava.

2.6.4. Kontrolni proračun međuvratila

Kontrolni proračun međuvratila provest će se istim postupkom kao i za vratilo 1. Ovdje nemamo utjecaj momenta uvijanja, nego samo momenta savijanja te će stoga i proračun biti utoliko jednostavniji.

Reducirani moment ovdje je jednak momentu savijanja budući da nema momenta uvijanja niti zareznog djelovanja:

$$M_{\text{red}} = M_f = 97,17 \text{ Nm}$$

M_f – moment savijanja za kritični presjek H u [Nmm]

Moment otpora za zadani presjek računa se prema:

$$W = 0,1 \cdot d_v^3$$

$$W = 0,1 \cdot 25^3 = 1562,5 \text{ mm}^3$$

d_v – promjer vratila u presjeku H u [mm]

Reducirano naprezanje za zadani presjek:

$$\sigma_{\text{red}} = \frac{M_{\text{red}}}{W} = \frac{97,17 \cdot 10^3}{1562,5} = 62,18 \text{ N/mm}^2$$

M_{red} – reducirani moment u presjeku D u [Nm]

W – moment otpora u [mm³]

Faktor veličine strojnog djela b_2 i faktor kvalitete površinske obrade b_1 određuju se iz dijagrama:

$$b_1 = 0,93$$

$$b_2 = 0,93$$

Sigurnost vratila računa se prema izrazu:

$$S_{\text{post}} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{\text{fDN}}}{\varphi \cdot \sigma_{\text{red}}}$$

$$S_{\text{post}} = \frac{0,93 \cdot 0,93 \cdot 190}{1 \cdot 62,18}$$

$$S_{\text{post}} = 2,65 > S_{\text{port}} = 1,4$$

b_1 – faktor kvalitete površinske obrade

b_2 – faktor veličine strojnog djela

σ_{fDN} – dopušteno naprezanje u [N/mm²]

φ – faktor udara za ravnomjerni pogon

$$\varphi = 1$$

σ_{red} – reducirano naprezanje u presjeku H u [Nm]

Sigurnost koju je potrebno zadovoljiti u ovom slučaju je manja nego postignuta sigurnost, stoga možemo smatrati da je ovo vratilo, na kritičnom presjeku, zadovoljilo uvjet sigurnosti.

2.7. Proračun vratila 2

Proračun vratila 2 provodi se analogno proračunu vratila 1. Opterećenja su skoro ili potpuno ista, te je dužina vratila ista. Stoga se ovaj proračun neće posebno raspisivati budući da su sve vrijednosti za vratilo 1 istovjetne te će, s obzirom na situaciju, i sve karakteristike i odabrani ležajevi biti isti.

Materijal odabran za vratilo 2 je: **S235JR** (St 37-2).

Promjeri vratila:

$$d_E = 40 \text{ mm}$$

$$d_A = 35 \text{ mm}$$

$$d_B = 35 \text{ mm}$$

$$d_C = 30 \text{ mm}$$

$$d_D = 40 \text{ mm}$$

Sigurnost na kritičnom presjeku:

$$S_{\text{post}} = 2,4 > S_{\text{port}} = 1,4$$

Ležaj na ležajnom mjestu A:

Odabran je ležaj NU 1007 ECP.

Ležaj na ležajnom mjestu B:

Odabran je ležaj 6207.

Vratilo 2 će također biti tarenicom vezano preko pera, kao što je to slučaj i kod vratila 1.

2.8. Proračun tanjuraste opruge

Aksijalna komponenta sile koja djeluje na tarenicu potrebno se ostvariti oprugom. Odabrana je tanjurasta opruga norme DIN 2093 te je proveden proračun iste kako bi se ustvrdilo je li maksimalna sila opruge veća od aksijalne komponente normalne sile na tarenicu. Ako je maksimalna sila opruge veća od aksijalne sile, tada smatramo da opruga zadovoljava te može ostvariti tu istu aksijalnu silu.



Slika 10. Tanjurasta opruga DIN 2093

Tablica 6. Dimenzije i karakteristike tanjuraste opruge

Promjer d	36 mm
Promjer D	71 mm
Debljina s	2 mm
Duljina h	2,6 mm
Duljina l_0	4,6 mm
Faktor elastičnosti k	923000 N/mm ²
Faktor α	0,7 N/mm ²
Progib f	0,39 mm

Opruga se proračunava prema izrazu:

$$F_{\text{opr,max}} = k \cdot \frac{s^3}{\alpha \cdot D^2} \cdot f \cdot \left(\left(\frac{h}{s} - \frac{f}{s} \right) \left(\frac{h}{s} - \frac{f}{2s} \right) + 1 \right)$$

$$F_{\text{opr,max}} = 923\,000 \cdot \frac{2^3}{0,7 \cdot 71^2} \cdot 0,39 \cdot \left(\left(\frac{2,6}{2} - \frac{0,39}{2} \right) \left(\frac{2,6}{2} - \frac{0,39}{4} \right) + 1 \right)$$

$$F_{\text{opr,max}} = 1900 \text{ N} > F_{\text{opr}} = 1190 \text{ N}$$

Maksimalna sila koja se javlja u opruzi veća je od potrebne sile koju treba ostvariti, stoga ova opruga zadovoljava.

2.9. Proračun pera između vratila 1 i tarenice 1

Pero povezuje tarenicu 1 i vratilo 1, te je potrebno provesti proračun za bočni tlak koji djeluje na vratilo i tarenicu. Bočni tlak mora biti manji od dopuštenog za određeni materijal te tada slučaj zadovoljava.

S obzirom na promjer vratila na kojem djeluje pero, prema podacima iz tablice odabrano je sljedeće: **Pero 12x8, Oblik A**, norme DIN 6885.

Dimenzije pera prikazane su u tablici:

Tablica 7. Dimenzije pera 12x8

Širina b	12 mm
Visina h	8 mm
Visina t_1	5 mm
Visina t_2	3,3 mm

Obodna sila koja djeluje na pero računa se prema izrazu:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_{EM}}{d_v} = \frac{2 \cdot 30,16}{0,04} = 1508 \text{ N}$$

T_{EM} – moment torzije pogonskog uređaja u [N]

d_v – promjer vratila na koje je postavljeno pero u [m]

Odabrana duljina pera:

$$l_p = 60 \text{ mm}$$

Nosiva duljina pera se zatim računa prema izrazu:

$$l_t = l_p - b = 60 - 12 = 48 \text{ mm}$$

Bočni tlak koji djeluje na tarenicu 1 računa se prema:

$$p_{TN1} = \frac{F_t}{t_2 \cdot l_t}$$

$$p_{TN1} = \frac{1508}{3,3 \cdot 48} = 9,52 \text{ MPa} < p_{TN1,dop} = 80 \text{ MPa}$$

p_{TN1} – bočni tlak na tarenicu 1 u [MPa]

l_t – nosiva duljina pera u [mm]

F_t – obodna sila koja djeluje na pero u [N]

$p_{TN1,dop}$ – dopuštenibočni tlak za odabrani materijal u [MPa]

Bočni tlak koji djeluje na tarenicu 1 računa se prema:

$$p_{v1} = \frac{F_t}{t_1 \cdot l_t}$$

$$p_{v1} = \frac{1508}{5 \cdot 48} = 6,28 \text{ MPa} < p_{v1,dop} = 80 \text{ MPa}$$

p_{v1} – bočni tlak na vratilo 1 u [MPa]

Proračunom je pokazano da odabrano pero zadovoljava.

Isto pero je odabrano i za slučaj vratila 3 i tarenice 3, proračun se provodi na isti način te pero zadovoljava i u tom slučaju.

3. ZAKLJUČAK

Nakon obavljene konstrukcije i pripadajućeg proračuna, možemo zaključiti da varijator ispunjava sve zadane parametre. Budući da je njegova svrha kontinuirana promjena prijenosnog omjera, iz proračuna se jasno vidi da je uvjet ostvaren te da je konstrukcija ostvarila zadani parametar. Svi dijelovi su proračunati te su, oni koji su morali, zadovoljili traženu sigurnost.

Mehanizam za pozicioniranje izveden je trapeznim navojnim vretenom i vilicom koja se kreće pri okretanju trapeznog vretena. Krajnje pozicije vodilice ostvaruju prijenosni omjer od 0,5 do 2 te možemo smatrati konstrukciju zadovoljavajućom.

Gdje god su se mogli koristiti standardni dijelovi poput vijaka, matica, opruga, ležajeva, brtvi i sl., korišteni su kako bi se proizvodnja pojeftinila i ubrzala.

Gornji i donji dio kućišta je lijevan, vratila je potrebno tokariti i površinski obraditi, što znači da su pomno odabrani proizvodni procesi. Materijal svih tarenica je kaljeni čelik koji se proračunom pokazao kao najoptimalniji za snagu, tj okretni moment pri kutnoj brzini koja nam je zadana.

LITERATURA

- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [3] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [4] Vučkovi, K.: Valjni i klizni ležajevi, skripta za internu uporabu, Zagreb, 2015.
- [5] Vučkovi, K.: Osovine i vratila, skripta za internu uporabu, Zagreb, 2015.
- [6] Vučkovi, K.: Tarni prijenos, skripta za internu uporabu, Zagreb, 2015.
- [7] Opalić, M.: Prijenosnici snage i gibanja, HDESK, Zagreb, 1998.
- [8] SKF katalog
- [9] Schaeffler: Technical Pocket Guide, STT, Herzogenaurach, 2014.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norme	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
38	Konični zatik za centriranje	2	DIN 7879	S275JR	$\varnothing 8$	0,08kg
37	Pero 2	2	DIN 6885	S235JR	22x10x6	0,04kg
36	Pero 1	2	DIN 6885	S235JR	46x12x8	0,04kg
35	O-ring	4	DIN 3771			
34	Ležaj NU 202 ECP	2	NU 202 ECP		SKF	0,1kg
33	Uskočnik 6	2	DIN 472		$\varnothing 37,2 \times 1$	
32	Uskočnik 5	2	DIN 471		$\varnothing 17,6 \times 1$	
31	Brtveni prsten	2	DIN 3760		72x12	0,1kg
30	Ležaj 6207	1	6207		SKF	0,1kg
29	Uskočnik 4	2	DIN 471		$\varnothing 13,2 \times 1$	
28	Ručica	1	HR-80-11	GGG50	$\varnothing 25 \times 35 \times 15$	0,7kg
27	Tanjurasta opruga	3	DIN 2093	CK75	$\varnothing 60 \times 5$	0,33kg
26	Ležaj N 205 ECP	2	N 205 ECP		SKF	0,1kg
25	Uskočnik 3	4	DIN 471		$\varnothing 28,4 \times 1$	
24	Uskočnik 2	4	DIN 471		$\varnothing 38,8 \times 1,5$	
23	Vijak M6	32	DIN 6921	8.8	Vijci kranjec	0,1kg
22	Ležaj NU 1007 ECP	2	NU 1007 ECP		SKF	0,1kg
21	Uskočnik 1	2	DIN 471		$\varnothing 44 \times 1,5$	
20	Matica M10	8	DIN 6923	8	Vijci kranjec	0,1kg
19	Matica M12	8	DIN 6923	8	Vijci kranjec	0,1kg
18	Podloška za vijak M12	8	DIN 6916		Vijci kranjec	
17	Vijak M12	8	DIN 6914	8.8	Vijci kranjec	0,3kg
16	Vijak M10	8	DIN 609	8.8	Vijci kranjec	0,8kg
15	Vreteno	1	DL-01-092016-015			0,7kg
14	Podloška za vijak M10	8	DIN 6902	$\varnothing 20 \times 365$	Vijci kranjec	
13	Vilica	1	DL-01-092016-016	S235JR	S235JR	0,3kg
12	Poklopac vretena	2	DL-01-092016-012	S275JR	57x50x15	0,13kg
11	Poklopac vretena s provrtom	2	DL-01-092016-011	S275JR	57x50x15	0,13kg
10	Poklopac vratila	2	DL-01-092016-010	S275JR	$\varnothing 95 \times 32$	0,7kg
9	Poklopac vratila sa provrtom	2	DL-01-092016-009	S275JR	$\varnothing 100 \times 28$	0,8kg
8	Distanтни prsten veći	1	DL-01-092016-008	S235JR	$\varnothing 4,3 \times 27$	0,1kg
7	Distanтни prste manji	1	DL-01-092016-007	S235JR	$\varnothing 4,3 \times 15$	0,05kg
6	Međutarenica	1	DL-01-092016-006	Ck45	$\varnothing 100 \times 25$	1,41kg
5	Konusna farenica	2	DL-01-092016-005	Ck45	$\varnothing 207 \times 207$	9,6kg
4	Međuvraňilo	1	DL-01-092016-004	S235JR	$\varnothing 30 \times 315$	1,3kg
3	Vraňilo	2	DL-01-092016-003	S235JR	$\varnothing 45 \times 455$	3,74kg
2	Gornje kućište	1	DL-01-092016-002	GG25	579x384x125	13kg
1	Donje kućište	1	DL-01-092016-001	GG25	579x384x130	14,5kg

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektiarao		Domagoj Lukšić	
Razradio		Domagoj Lukšić	
Crtao		Domagoj Lukšić	
Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić	

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
$\varnothing 8H7/m6$		R. N. broj:
$\varnothing 30g6$	Napomena:	
$\varnothing 8H7/m6$	Materijal:	Masa: 48.6kg
		ZAVRŠNI RAD
	Mjerilo originala	Naziv: Mehanički varijator
		1:2
		Crtež broj: DL-01-092016-000





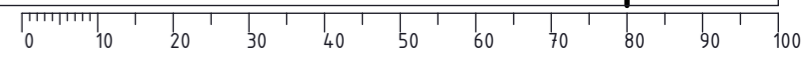
Ra 50 (Ra 6,3 Ra 1,6)



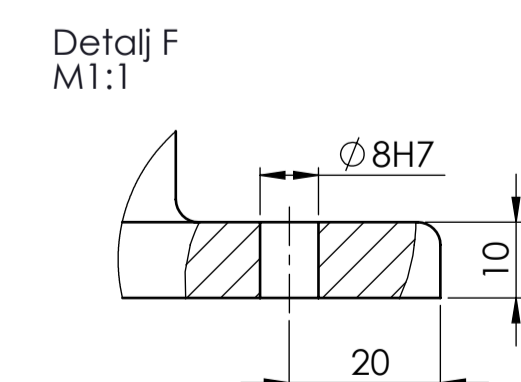
- NAPOMENA:**
1. Sva nekotirana skošenja su 1x45°
 2. Svi nekotirani radijusi su R3, ako se ne može izvesti je R1
 5. Prvo obraditi referentnu ravninu E
 3. Provrtite bušiti u sklopu sa gornjim dijelom kućišta (Poz: 02)
 4. Nepomičnosti osigurati sa zatikom (detalj D)

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao		Domagoj Lukšić		
Razradio		Domagoj Lukšić		
Crtao		Domagoj Lukšić		
Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:	
φ52H7	+0,030 0	Mehanički varijator		R. N. broj:
φ72H7	+0,030 0	Napomena:		Kopija
φ62H7	+0,030 0	Materijal: GG25	Masa: 14.5kg	ZAVRŠNI RAD
φ8H7	+0,018 0	Naziv:		Format: A2
		Mjerilo originala	Donje kućište	
		1:2	01	
		Crtež broj: DL-01-092016-001		Listova: 1
				List: 1

Design by CADLab&DŽ



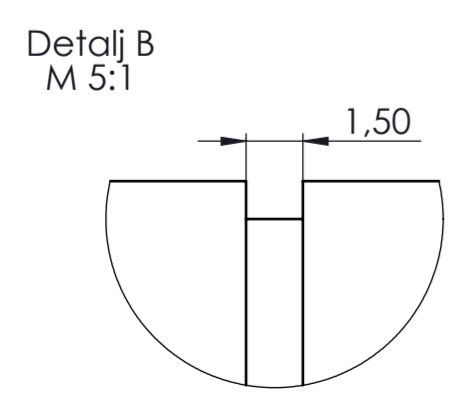
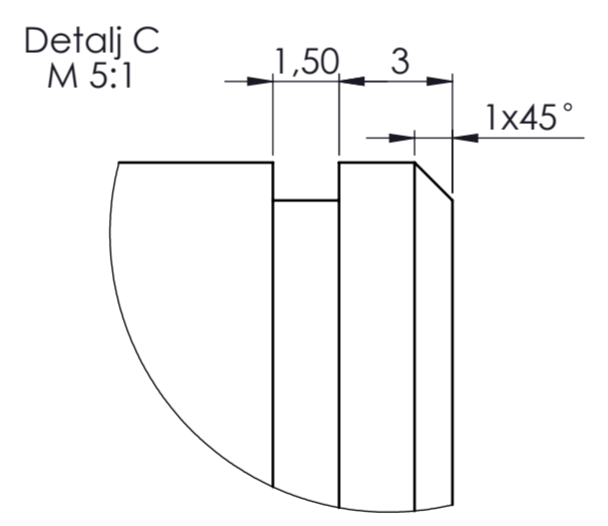
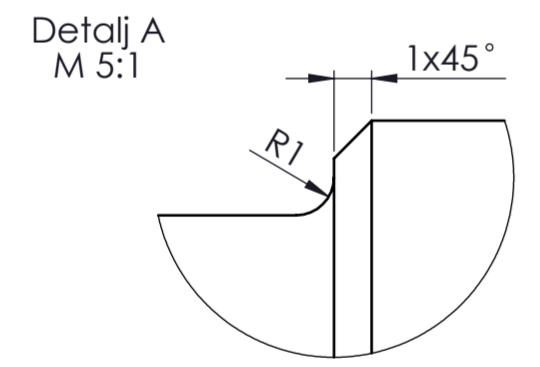
Ra 50 (Ra 6,3 , Ra 1,6)



- NAPOMENA:**
1. Sva nekotirana skošenja su $1 \times 45^\circ$
 2. Svi nekotirani radijusi su R3, ako se ne može izvesti je R1
 3. Prvo obradi referentnu ravninu A
 4. Povrte bušiti u sklopu sa gornjim dijelom kućišta (Poz: 01)
 5. Nepomičnosti osigurati sa zatkom (detalj F)

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao		Domagoj Lukšić		
Razradio		Domagoj Lukšić		
Crtao		Domagoj Lukšić		
Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije		Objekt: Mehanički varijator		Objekt broj:
$\phi 35H7$	+0.025 0			R. N. broj:
$\phi 52H7$	+0.030 0	Napomena:		Kopija
$\phi 62H7$	+0.030 0	Materijal: GG25 Masa: 13kg		ZAVRŠNI RAD
$\phi 72H7$	+0.030 0	Naziv: Gornje kućište		Forma: A1
$\phi 8H7$	+0.018 0	Mjerilo originala		02
1:2		Crtež broj: DL-01-092016-002		Listova: 1
				List: 1

Ra 6,3 (Ra 3,2 Ra 1,6 Brušeno Ra 0,4)

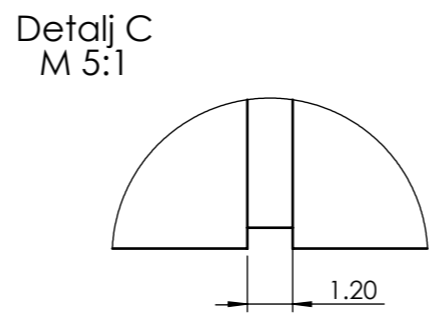
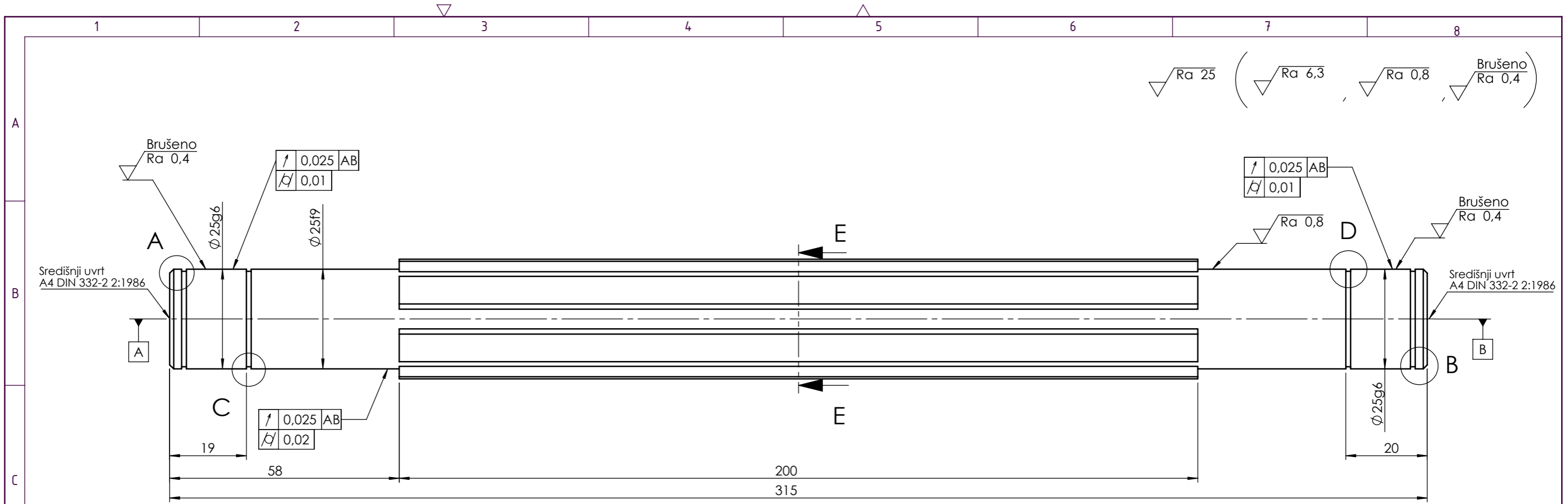


Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Razradio		Domagoj Lukšić		
	Crtao		Domagoj Lukšić		
	Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije	Objekt:		Mehanički varijator		Objekt broj:
12P9	-0,018				R. N. broj:
	-0,061				
8P9	-0,015	Napomena:			Kopija
	-0,051				
40k6	-0,018	Materijal:	S235JR	Masa:	3.74kg
	+0,002	ZAVRŠNI RAD			
35g6	-0,009	Naziv:		Vratilo	
	-0,025	Mjerilo originala		Pozicija:	03
		1:1		Crtež broj:	DL-01-092016-003
				Listova:	1
				List:	1



Design by CADLab&DŽ

Design by CADLab



Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio		Domagoj Lukšić		
	Crtao		Domagoj Lukšić		
	Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø 25g6	-0,007	Mehanički varijator		R. N. broj:	
	-0,020	Napomena:			
8e8	-0,025				
	-0,047				
Materijal: S235JR		Masa: 1.3kg		ZAVRŠNI RAD	
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:	
1:1		Međuvratilo		04	
		Crtež broj: DL-01-092016-004		List: 1	



Design by CADLab

Design by CADLab



$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$, $\sqrt{Ra\ 1,6}$, $\sqrt{Ra\ 0,8}$)

NAPOMENA:
 Sva nekotirana skošenja su 1x45°

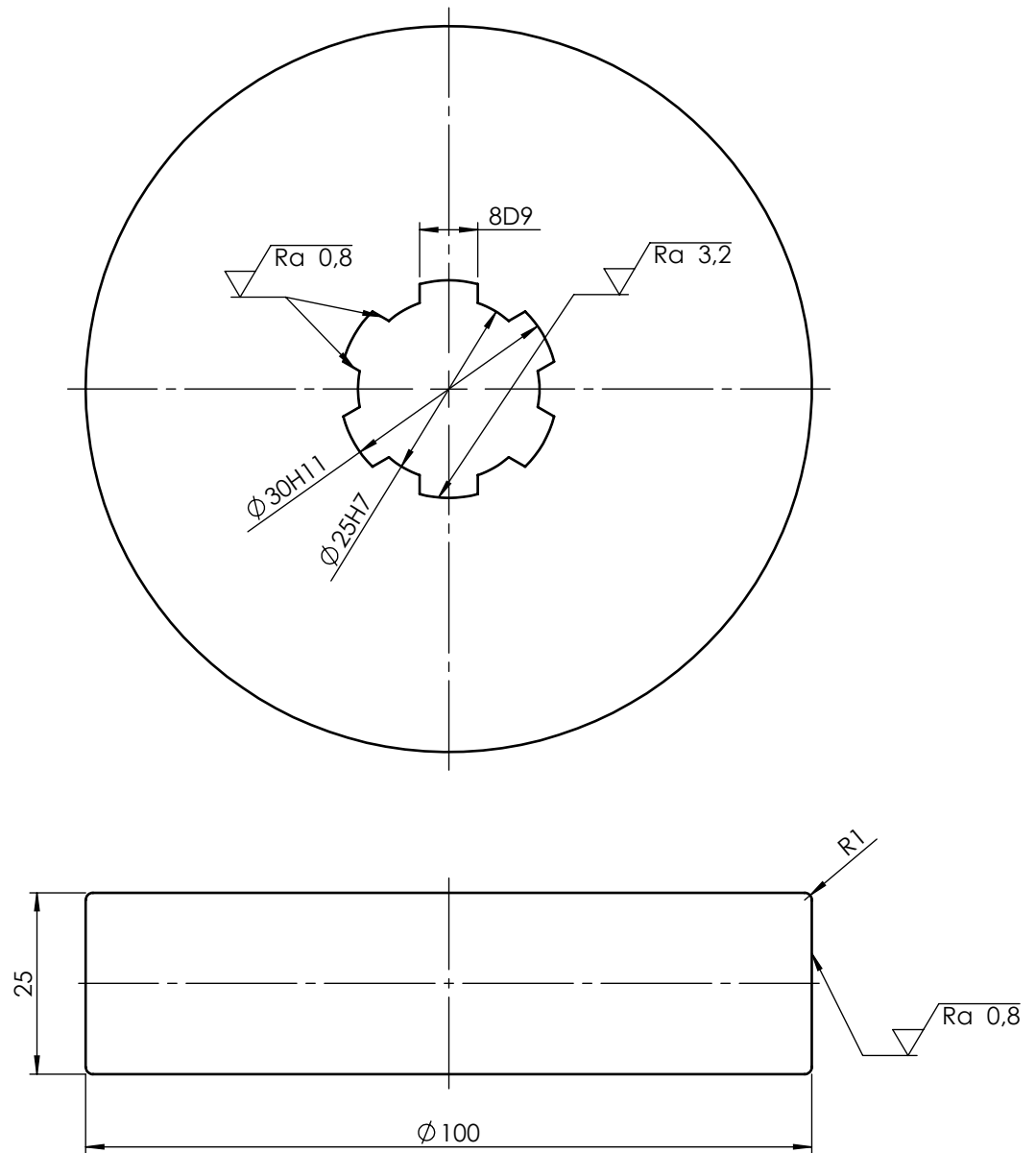
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio		Domagoj Lukšić		
	Crtao		Domagoj Lukšić		
	Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø40H7	+0,025 0	Mehanički varijator		R. N. broj:	
12P9	-0,018 -0,061	Napomena:		Kopija	
		Materijal: Ck45	Masa: 9,6kg	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija:	Format: A3
		Mjerilo originala		05	
		1:2		Listova: 1	
		Crtež broj: DL-01-092016-005		List: 1	

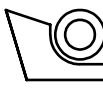
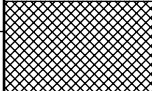
Design by CADLab

Design by CADLab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$, $\sqrt{Ra\ 0,8}$)



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	Domagoj Lukšić			
		Razradio	Domagoj Lukšić			
		Crtao	Domagoj Lukšić			
		Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
8D9	+0,076	Mehanički varijator			R. N. broj:	
	+0,040					
Ø25H7	+0,021	Napomena:			Kopija	
	0					
Ø30H11	+0,130	Materijal: Ck45	Masa: 1,41kg	ZAVRŠNI RAD		
	0					
		 	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
		Mjerilo originala	Međutarenica		06	Listova: 1
		1:1				Crtež broj: DL-01-092016-006

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$)



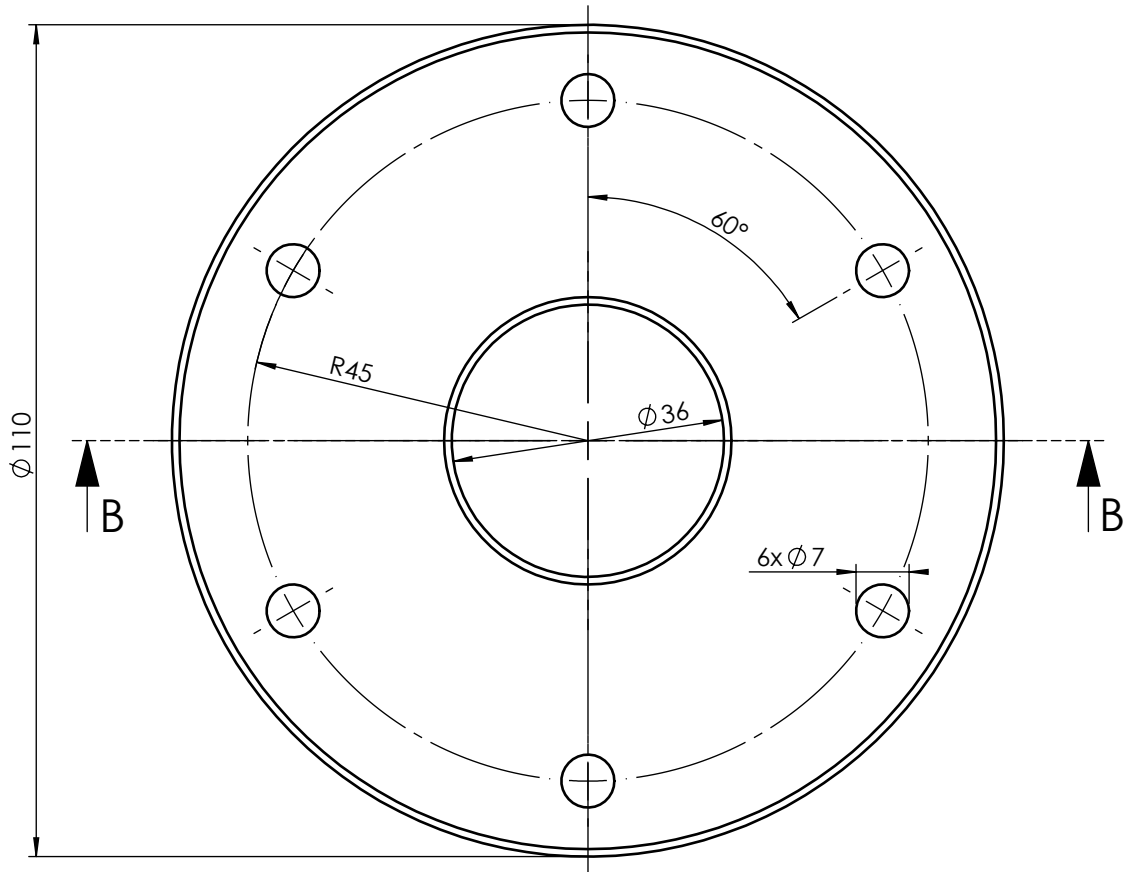
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	Domagoj Lukšić				
		Razradio	Domagoj Lukšić				
		Crtao	Domagoj Lukšić				
		Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić				
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:		
Ø 35H7	+0,021 0	Mehanički varijator			R. N. broj:		
		Napomena:				Kopija	
		Materijal: S235JR	Masa: 0.06kg	ZAVRŠNI RAD			
		 Naziv:			Pozicija:	Format: A4	
		Mjerilo originala			07		Listova: 1
		2:1			Crtež broj: DL-01-092016-007		List: 1


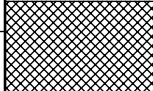
$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$)



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	Domagoj Lukšić			
		Razradio	Domagoj Lukšić			
		Crtao	Domagoj Lukšić			
		Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø 35H7	+0,021 0	Mehanički varijator			R. N. broj:	
		Napomena:				Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0.1kg	ZAVRŠNI RAD		
			Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala	Distantni prsten veći			08
		2:1	Crtež broj: DL-01-092016-008			Format: A4
						Listova: 1
						List: 1

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$, $\sqrt{Ra\ 1,6}$)



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	
Projektirao			Domagoj Lukšić			
Razradio			Domagoj Lukšić			
Crtao			Domagoj Lukšić			
Pregledao			doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø72h6		Mehanički varijator			R. N. broj:	
0		Napomena:			Kopija	
-0,030						
		Materijal: S275JR		Masa: 0.8kg		
		ZAVRŠNI RAD				
		Naziv:			Pozicija:	
		Poklopac vratila s provrtom			09	
		Mjerilo originala			Format: A4	
		1:1			Listova: 1	
		Crtež broj: DL-01-092016-009			List: 1	

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$, $\sqrt{Ra\ 1,6}$)



C-C



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	
Projektirao			Domagoj Lukšić			
Razradio			Domagoj Lukšić			
Crtao			Domagoj Lukšić			
Pregledao			doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø62h6		Mehanički variator			R. N. broj:	
0		Napomena:			Kopija	
-0,030						
		Materijal: S275JR		Masa: 0.71kg		
		ZAVRŠNI RAD				
		Naziv:			Pozicija:	
		Poklopac vratila			10	
		Mjerilo originala			Format: A4	
		1:1			Listova: 1	
		Crtež broj: DL-01-092016-010			List: 1	

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$, $\sqrt{Ra\ 1,6}$)



NAPOMENA:
Sva nekotirana skošenja su 1x45°

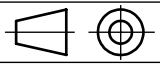
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Domagoj Lukšić		
	Razradio	Domagoj Lukšić		
	Crtao	Domagoj Lukšić		
	Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:		
Ø35h7	0 -0,025	Mehanički varijator		R. N. broj:
	Napomena:			Kopija
	Materijal: S275JR	Masa: 0.13kg	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:	Pozicija:	Format: A4
	Mjerilo originala	Poklopac vretena s provrtom 11		Listova: 1
	1:1	Crtež broj: DL-01-092016-011		List: 1

Design by CADLlab

$\sqrt{Ra\ 25}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$, $\sqrt{Ra\ 1,6}$)



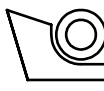
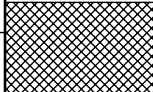
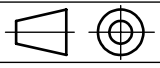
NAPOMENA:
Sva nekotirana skošenja su 1x45°
Svi nekotirani radijusi su R3

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Domagoj Lukšić		
	Razradio	Domagoj Lukšić		
	Crtao	Domagoj Lukšić		
	Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:		Kopija
$\phi 35h7$ 0 -0,025	Mehanički variator	R. N. broj:		
	Napomena:			
	Materijal: S275JR	Masa: 0.13kg	ZAVRŠNI RAD	
	 Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Format: A4
	1:1	Poklopac vretena	12	Listova: 1
		Crtež broj: DL-01-092016-012		List: 1

lijevano
Ra 50 (Ra 0,8)



NAPOMENA:
Svi nekotirani radijusi su R1

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	Domagoj Lukšić			
		Razradio	Domagoj Lukšić			
		Crtao	Domagoj Lukšić			
		Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø5H7	+0,030	Mehanički varijator			R. N. broj:	
	0					
5H9	+0,012	Napomena:			Kopija	
	0					
		Materijal: GGG50	Masa: 0.14kg	ZAVRŠNI RAD		
		Naziv:			Pozicija:	
					Vodilica 13	
		Mjerilo originala				
		1:1			Crtež broj: DL-01-092016-013	
					Format: A4	
					Listova: 1	
					List: 1	

$\sqrt{Ra\ 50}$ ($\sqrt{Ra\ 0,8}$)



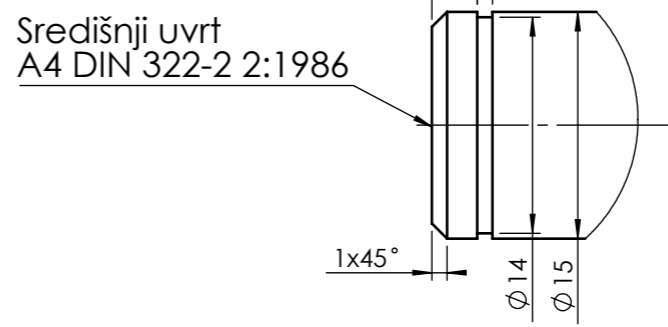
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	Domagoj Lukšić			
		Razradio	Domagoj Lukšić			
		Crtao	Domagoj Lukšić			
		Pregledao	doc.dr.sc. Ivica Galić			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
5d10	-0,030	Mehanički varijator			R. N. broj:	
	-0,078					
Ø5C11	+0,145	Napomena:			<div style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kopija</div>	
	+0,070					
		Materijal: E355	Masa: 0.05kg	ZAVRŠNI RAD		
			Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala	Valjak			14
		5:1	Crtež broj: DL-01-092016-014			Format: A4 Listova: 1 List: 1



Detalj F
M 2:1



Detalj G
M 2:1



Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio		Domagoj Lukšić		
	Crtao		Domagoj Lukšić		
	Pregledao		doc.dr.sc. Ivica Galić		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø 15g6	-0,006	Mehanički varijator		R. N. broj:	
Ø 15h9	-0,017				
Ø 15h9	0	Napomena:		<div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 20px;"></div>	
Ø 11h7	-0,043	Materijal: S235JR	Masa: 0.7kg		
	0	Naziv:		Pozicija:	<div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 20px;"></div>
	-0,018	Vreteno		15	
		Mjerilo originala		Listova: 1	
		1:1		List: 1	
		Crtež broj: DL-01-092016-015			

