

Konstruktivsko rješenje ručno pogonjene strižne kosilice za travu

Baković, Natalia

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:081810>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-04**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Natalia Baković

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragan Žeželj, dipl. ing.

Student:

Natalia Baković

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Draganu Žeželju na strpljenju, savjetima i pruženoj pomoći bez kojih ovaj rad ne bih mogla napraviti.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na ogromnoj podršci i razumijevanju tijekom pisanja rada, ali i tijekom studija.

Natalia Baković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove.



Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Natalia Baković** JMBAG: **0035231694**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcijsko rješenje ručno pogonjene strižne kosilice za travu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design solution of a manually operated grass trimmer**

Opis zadatka:

Ručna košnja trave u vrtu ili na manjim površinama predmet je velike tržišne ponude. Travu se kosi motorno ili ručno. Motorni uređaji su pogonjeni ili motorom s unutarnjim izgaranjem ili elektromotorom, priključkom na mrežu ili baterijom. Od ručnih uređaja se koristi tradicionalna kosa ili kosilica na bubanj. Svaki od uređaja ili alata ima svoje prednosti i mane: buka koju stvaraju, moguće vrijeme rada, potreba za priključkom električne energije, potrebna vještina i napor itd. Pored toga, svaki od uređaja ili alata ima i svoja ograničenja obzirom na preferirano stanje trave koju se kosi: visoku travu je gotovo nemoguće kositi motornom rotacijskom kosilicom i kosilicom na bubanj, tradicionalnom kosom je teško kositi suhu travu.

U okviru rada je potrebno načiniti pregled tržišne ponude uređaja i alata za košnju trave na površinama kao što su okućnice i manje livade. Potrebno je prikazati sve prednosti i mane pojedinog uređaja te možebitna ograničenja. U nastavku rada potrebno je koncipirati ručno pogonjen uređaj za strižno košenje trave i dati konstrukcijsko rješenje. Uređaj mora omogućavati podešavanje visine reza i mora biti, koliko je to moguće, siguran za upotrebu.

Vrijednosti potrebne za proračun i odabir pojedinih komponenti usvojiti iz postojećih rješenja sličnih sustava, iskustvenih vrijednosti te u dogovoru s mentorom.

Računalni model odabranog rješenja uređaja izraditi u 3D CAD sustavu, cjelovito konstrukcijsko rješenje prikazati sklopnim crtežom, a dijelove odabrane u dogovoru s mentorom razraditi do razine radioničkih.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu, norme kao i možebitno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

prof. dr. sc. Dragan Žeželj

Predsjednik Povjerenstva:

prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ANALIZA TRŽIŠTA	4
2.1. AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton.....	4
2.2. Gardena Comfort ručna cilindrična kosilica 400 C (4022-20).....	5
2.3. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm	6
3. FUNKCIJSKA DEKOMPOZICIJA	7
4. MORFOLOŠKA MATRICA	8
5. KONCEPTI.....	12
5.1. Koncept 1	12
5.2. Koncept 2	13
5.3. Koncept 3	14
6. VREDNOVANJE I ODABIR KONCEPTA	15
7. PRORAČUN	16
7.1. Ulazni podaci za proračun.....	16
7.2. Proračun prvog zupčaničkog para	16
7.3. Proračun drugog zupčaničkog para	22
7.4. Proračun stožnika	27
7.5. Proračun vratila 1	30
7.6. Proračun vratila 2	36
7.7. Proračun vratila 3	42
7.8. Proračun pera.....	45
7.9. Proračun ležajeva	47
7.10. Proračun zavara	51
8. ZAKLJUČAK.....	56

POPIS SLIKA

Slika 1. Kosa	1
Slika 2. Cilindrična kosilica	2
Slika 3. Rotacijska, cilindrična i strižna kosilica	2
Slika 4. AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton	4
Slika 5. Gardena Comfort ručna cilindrična kosilica 400 C (4022-20)	5
Slika 6. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm.....	6
Slika 7. Funkcijska dekompozicija.....	7
Slika 8. Koncept 1	12
Slika 9. Koncept 2	13
Slika 10. Koncept 3	14
Slika 11. Faktor oblika zuba.....	18
Slika 12. Faktor zareznog djelovanja	19
Slika 13. Promjenjiva trajna čvrstoća.....	19
Slika 14. Sile koje opterećuju vratilo 1	31
Slika 15. Vertikalna ravnina vratila 1	31
Slika 16. Horizontalna ravnina vratila 1	32
Slika 17. Presjeci vratila 1	33
Slika 18. Sile koje opterećuju vratilo 2	36
Slika 19. Vertikalna ravnina vratila 2.....	37
Slika 20. Horizontalna ravnina vratila 2.....	38
Slika 21. Presjeci vratila 2.....	39
Slika 22. Sile koje opterećuju vratilo 3	42
Slika 23. Vertikalna ravnina vratila 3.....	43
Slika 24. Horizontalna ravnina vratila 3.....	44
Slika 25. Ležaj NU 1005	47
Slika 26. Ležaj 6005.....	49
Slika 27. Ležaj SY 35 TF	50
Slika 28. Presjek zavora 1	51
Slika 29. Presjek zavar 2	53
Slika 30. Presjek zavora 3	54
Slika 31. Model kosilice s poklopcem i bez poklopca.....	56
Slika 32."Exploded view" modela kosilice	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Specifikacije za AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton	5
Tablica 2. Specifikacije za Gardena Comfort ručnu cilindričnu kosilicu 400 C (4022-20).....	6
Tablica 3. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm	6
Tablica 4. Morfološka matrica	8
Tablica 5. Kriteriji odabira i vrednovanje koncepata	15

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

S – 2024 - 00 Ručno pogonjena strižna kosilica

R – 2024 – 03 Vratilo 1

R – 2024 – 08 Zupčanik 4

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a	mm	osni razmak zupčanika ili proračunska debljina zavora
A_G	mm ²	površina odvođenja topline kućišta
A_z	mm ²	površina zavora
b	mm	širina zupčanika ili zavora
c	mm	tjemena zračnost
C_1	N	dinamička izdržljivost
d	mm	promjer vratila ili nekog drugog okruglog dijela
d_a	mm	tjemeni promjer zupčanika
d_b	mm	promjer temeljne kružnice zupčanika
d_{eks}	mm	polumjer ekscentar
d_f	mm	podnožni promjer zupčanika
d_v	mm	promjer dopunskog zupčanika
d_w	mm	kinematski promjer zupčanika
dop $\sigma_{D(-1)}$	N/mm ²	dopušteno normalno dinamičko naprezanje
D	mm	vanjski promjer zavora
e	mm	ekscentar
E	N/mm ²	modul elastičnosti
ED	-	relativni radni ciklus na temelju deset minuta
F_a	N	aksijalna sila
$F_{nož}$	N	sila na nožu
F_R	N	radijalna sila
F_t	N	tangencijalna sila
$F_{t,D}$	N	tangencijalna sila na disku
g	m/s ²	ubrzanje sile teže
G	N	težina i-te komponente
h	mm	visina pera
h_a	mm	tjemena visina zuba
H_V	-	Stupanj gubitka zuba
i	-	prijenosni omjer
K_F	-	faktor raspodjele opterećenja (sile) na pojedine zube pri proračunu opteretivosti korijena
k_w	mm ³ /(Nm)	koeficijent trošenja
$k_{\sigma,Root}$	K(m/s) ^{0,75} mm ^{1,75} /W	koeficijent prolaza topline
l_{Fl}	mm	duljina aktivnog dijela boka
l_t	mm	nosiva duljina pera
L_{10min}	h	zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja u satima
m_n	mm	modul
m_i	kg	masa i-te komponente

M_h	Nmm	moment savijanja vratila u horizontalnoj ravnini
M_v	Nmm	moment savijanja vratila u vertikalnoj ravnini
n_i	s^{-1}	broj okretaja i-tog zupčanika
$n_{v,i}$	s^{-1}	broj okretaja i-tog vratila
t	mm	dubina utora na vratilu za pero
t_1	mm	dubina utora na zupčaniku za pero
T_i	Nmm	okretni moment na i-tom zupčaniku
T_{Vi}	Nmm	okretni moment na i-tom vratilu
v	m/s	obodna brzina točke
$p_{boč}$	N/mm^2	bočni tlak
P	N	ekvivalentno opterećenje ležaja
P_i	W	snaga na i-tom zupčaniku
P_r	N	ekvivalentno radijalno opterećenje ležaja
r	mm	polumjer ekscentra
r_i	mm	polumjer i-tog vratila
R_a	mm	dužina izvodnice diobenog stošca
$R_{\lambda,G}$	Km^2/W	otpor prolaska topline u kućištu
S	-	faktor sigurnosti
S_{potr}	-	potrebni faktor sigurnosti
W	mm^3	aksijalni moment otpora
W_m	mm	srednje linearno trošenje
W_{zul}	mm	Dopušteno linearno trošenje
Y_{Fa}	-	faktor oblika zuba
Y_{Sa}	-	faktor zareznog djelovanja
Y_{β}	-	faktor utjecaja nagiba boka zuba
Y_{ϵ}	-	faktor učešća opterećenja
z	-	broj zubi
α	$^{\circ}$	kut zahvatne crte
δ_i	$^{\circ}$	kut diobenog stošca
ϵ	-	EkspONENT vijeka trajanja ležaja
ϵ_{α}	-	stupanj prekrivanja zupčanika
η_z	-	korisnost zupčanog para
ϑ_{Root}	$^{\circ}C$	temperatura korijena
ϑ_{Flank}	$^{\circ}C$	temperatura boka
ϑ_{zul}	$^{\circ}C$	dopuštena temperatura
λ	-	odnos širine zuba
λ	mm	deformacija zupčanika
μ	-	faktor trenja
π	-	matematička konstanta
σ_0	$^{\circ}$	temperatura okoliša
σ_{dop}	N/mm^2	dopušteno naprezanje

σ_{ekv}	N/mm^2	ekvivalentno naprezanje zavara
σ_F	N/mm^2	naprezanje korijena zuba
σ_{Flim}	N/mm^2	čvrstoća korijena zuba
σ_{FP}	N/mm^2	dopušteno naprezanje korijena zuba
σ_{red}	N/mm^2	reducirano naprezanje
σ_s	N/mm^2	naprezanje na savijanje
τ	N/mm^2	tangencijalno naprezanje
$\tau_{uvijanje}$	N/mm^2	torzijsko naprezanje
τ_{smik}	N/mm^2	smično naprezanje
χ_i	°	tjemeni kut diobenog stošca
ω_i	rad/s	kutna brzina i-tog elementa

SAŽETAK

U ovom završnom radu osmišljena je i konstrukcijski razrađena ručno pogonjena strižna kosilica za travu na površinama kao što su okućnice i manje livade. Nakon analize postojećih proizvoda na tržištu napravljena je funkcijska dekompozicija na temelju koje je napravljena morfološka matrica iz koje su generirani koncepti. Zatim je provedeno vrednovanje koncepata te je odabran najbolje ocijenjen za daljnju konstrukcijsku razradu. Za odabrani koncept je proveden proračun, napravljena tehnička dokumentacija te 3D model.

Ključne riječi: ručna strižna kosilica

SUMMARY

In this final paper, design solution of a manually operated grass trimmer on areas such as gardens and smaller meadows was designed and structurally elaborated. After the analysis of the existing products on the market, a functional decomposition was made, on the basis of which a morphological matrix was created from which the concepts were generated. Then, the evaluation of the concepts was carried out and the best evaluated was selected for further design development. For the selected concept, a calculation was carried out, technical documentation was created and also 3D model.

Key words: manually operated grass trimmer

1. UVOD

Kosilica za travu je uređaj koji koristi jednu ili više oštrica za rezanje travnate površine na ravnomjernu visinu. Prije dolaska mehaničkih kosilica ljudi su travu kosili kosom koja se može vidjeti na slici 1. Kosa je vrlo jednostavnog izgleda, no za njenu upotrebu potrebna je vještina i iskustvo kako ne bi došlo do njenog oštećenja, a i kako bi samo košenje bilo efikasno. Ekonomski je vrlo prihvatljiva jer za njeno korištenje nije potrebno niti gorivo niti električna energija, a i samo održavanje nije skupo. Ujedno je i ekološki prihvatljiva jer ne proizvodi nikakve emisije. Vrlo je tihog rada. Najveća mana je što izaziva veliki fizički napor pa stoga nije pogodna za velike površine. Većinom se koristi za košnju visoke trave.



Slika 1. Kosa

Prvu kosilicu za travu izumio je 1830. godine Edwin Beard. Bila je to ručna cilindrična kosilica prikazana na slici 2. Ovaj tip kosilice se nije puno mijenjao tijekom godina. Materijali i tehnologija su se poboljšali, ali osnovni princip kosilice ostao je isti.



Slika 2. Cilindrična kosilica

Prema izvoru pogona kosilice se dijele na električne, benzinske i one koje se pokreću ljuškom snagom. Električne kosilice su napajane električnom energijom te mogu biti žičane ili baterijski pogonjene. Obično su tiše i zahtijevaju manje održavanja od benzinskih kosilica. Benzinske kosilice koriste motor s unutarnjim izgaranjem i obično su snažnije od električnih. Pružaju veću autonomiju, što ih čini prikladnijima za veće travnjake. Iako su trenutne kosilice izuzetno efikasne, jedan od problema je buka koju proizvode radom. Prema izvedbi mehanizma za sječenje kosilice se dijele na rotacijske, cilindrične i strižne (oscilirajuće) koje su vidljive na



Slika 3. Rotacijska, cilindrična i strižna kosilica

slici 3.

Ručne kosilice su manje kosilice koje se pogone ljudskom snagom, a najčešće se koriste za košnju okućnica te manjih livada. Obično imaju rotirajući nož ili bubanj koji se pokreće guranjem. Rotacijske kosilice koriste rotirajući nož koji se pokreće snagom koju korisnik pruža gurajući ili vukući kosilicu. One su dobre za ravne površine i manje travnjake, ali ne mogu kositi visoku travu. Cilindrične kosilice koriste bubanj s noževima koji se okreće kad se kosilica gura. Njezine loše strane su što nije podesena za visoku i suhu travu te neravne terene. Strižne tj. oscilacijske kosilice koriste noževe koji se kreću lijevo-desno kako bi kosile travu, ali dovoljno je da je samo jedan nož pomičan. Pogodne su za visoku travu te suhu i mokru. Dosta su složene za održavanje u usporedbi s rotacijskim kosilicama.

2. ANALIZA TRŽIŠTA

Pregledom tržišta pokušale su se obuhvatiti ili ručne kosilice ili strižne kosilice pošto još uvijek na tržištu nema ručne strižne kosilice.

2.1. AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton

Strižna kosilica tvrtke AL-KO namijenjena je za košnju vrtova, livada, na teškom terenu ili padini. Pogoni se benzinskim motorom. Ima velike i široke kotače koji omogućuju veliku okretnost. Strižna kosa je širine 87 cm i ima kaljeni nož koji jamči dugovječnost te malo trošenje. Ergonomski rukohvat ima mogućnost individualnog podešavanja visine. Specifičnost ove kosilice je što se zamjenom strižne kose s daskom za snijeg može pretvoriti u uređaj za čišćenje snijega.



Slika 4. AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton

Tablica 1. Specifikacije za AL-KO strižna kosilica BM 875 III Briggs&Stratton

Snaga motora	2,4 kW
Obujam	150 cm ³
Broj okretaja	3200 o/min
Širina košnje	870 mm
Stupnjevi pogona	1x naprijed
Preporučena površina travnjaka	2000 m ²
Masa	52 kg
Cijena	1099,90 €

2.2. Gardena Comfort ručna cilindrična kosilica 400 C (4022-20)

Ručna cilindrična kosa tvrtke Gardena namijenjena je za manje vrtove. Posebna značajka je što se rezni cilindar i rezna oštrica ne dodiruju što omogućuje ugodan i tih rad. Željena visina rezanja može se jednostavno prilagoditi pomoću regulatora i očitati na ljestvici. Ručka se može sklopiti što omogućuje uštedu prostora prilikom pohrane i jednostavno prenošenje.

**Slika 5. Gardena Comfort ručna cilindrična kosilica 400 C (4022-20)**

Tablica 2. Specifikacije za Gardena Comfort ručnu cilindričnu kosilicu 400 C (4022-20)

Širina košnje	400 mm
Visina rezanja	12 - 42 mm
Preporučena površina travnjaka	250 m ²
Masa	9,4 kg
Cijena	169 €

2.3. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm

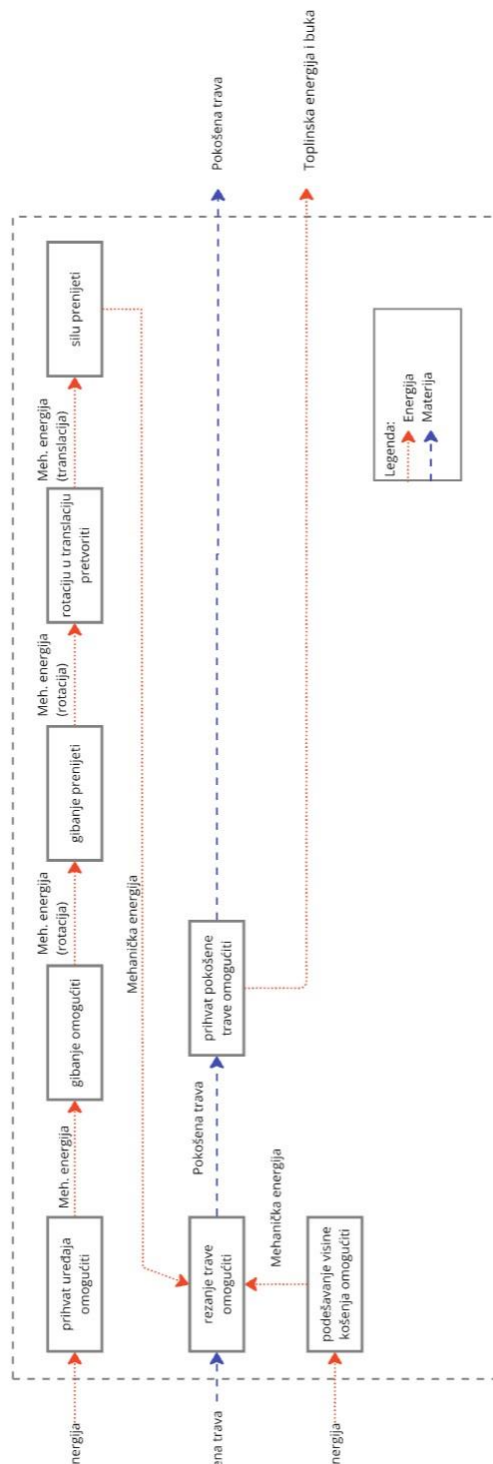
Ručna cilindrična kosilica tvrtke Fiskars namijenjena za košnju manjih travnjaka. Zbog četiri kotača, potreban manji napor za rad te je puno stabilnija što je korisno za rad na neravnim terenima. Ergonomska upravljačka ručka je visinski podesiva.

**Slika 6. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm****Tablica 3. FISKARS 1015649 kosilica s bubnjem StayS harp Plus 610 mm**

Širina rezanja	610 mm
Visina rezanja	40 – 100 mm
Masa	18,6 kg
Cijena	275 €

3. FUNKCIJSKA DEKOMPOZICIJA

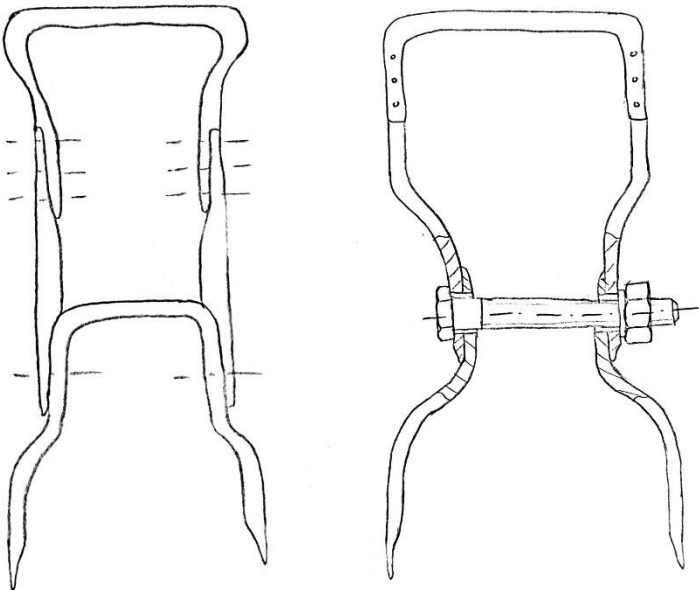

U funkcijskoj dekompoziciji mogu se vidjeti tokovi energije i materijala. Na ulazu imamo ljudsku energiju koja omogućuje rad uređaja. Ta energija pretvara se u mehaničku te tako omogućuje rezanje. Na slici 7. nalazi se funkcijska dekompozicija ručne strižne kosilice.



Slika 7. Funkcijska dekompozicija

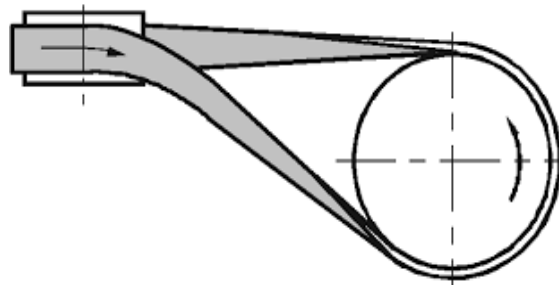
4. MORFOLOŠKA MATRICA

Tablica 4. Morfološka matrica

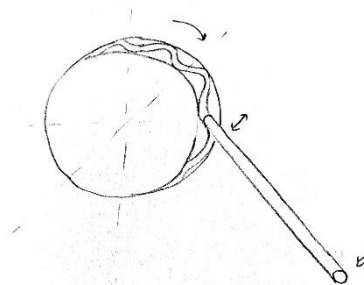
Funkcija	Rješenje
Prihvat uređaja omogućiti	
Gibanje prenijeti	- zupčanici 

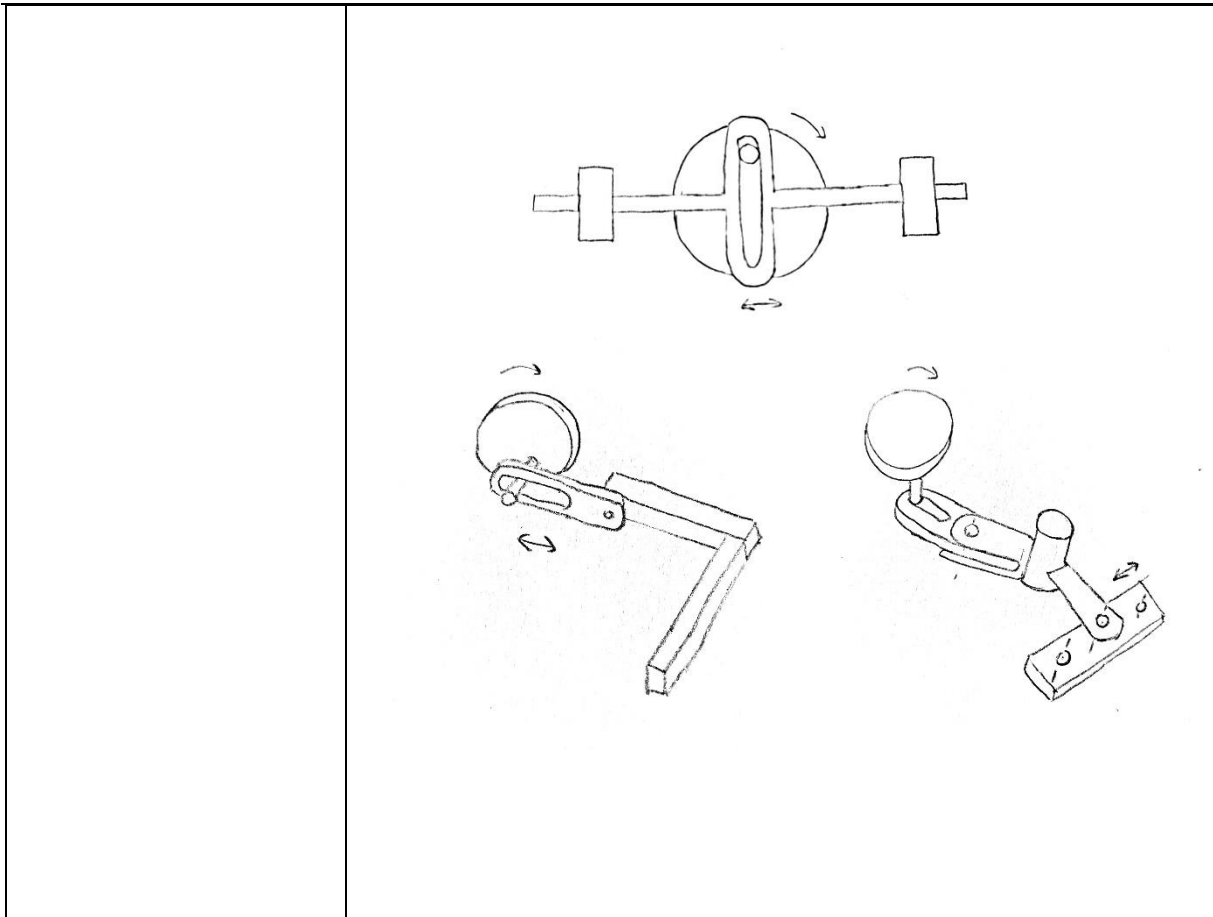


- polukrižni remenski prijenos



Rotaciju u translaciju
pretvoriti





Rezanje trave omogućiti



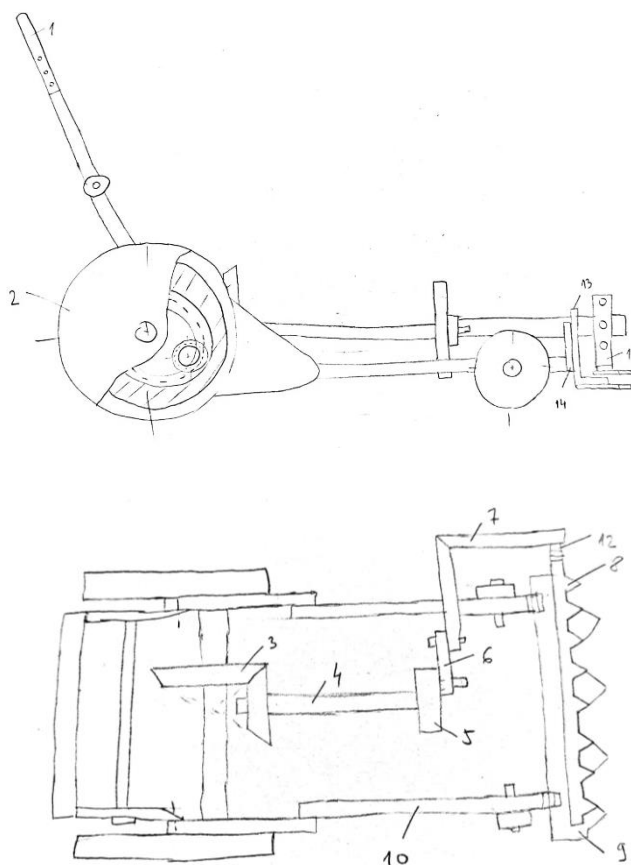
Podešavanje visine
košenja omogućiti



5. KONCEPTI

5.1. Koncept 1

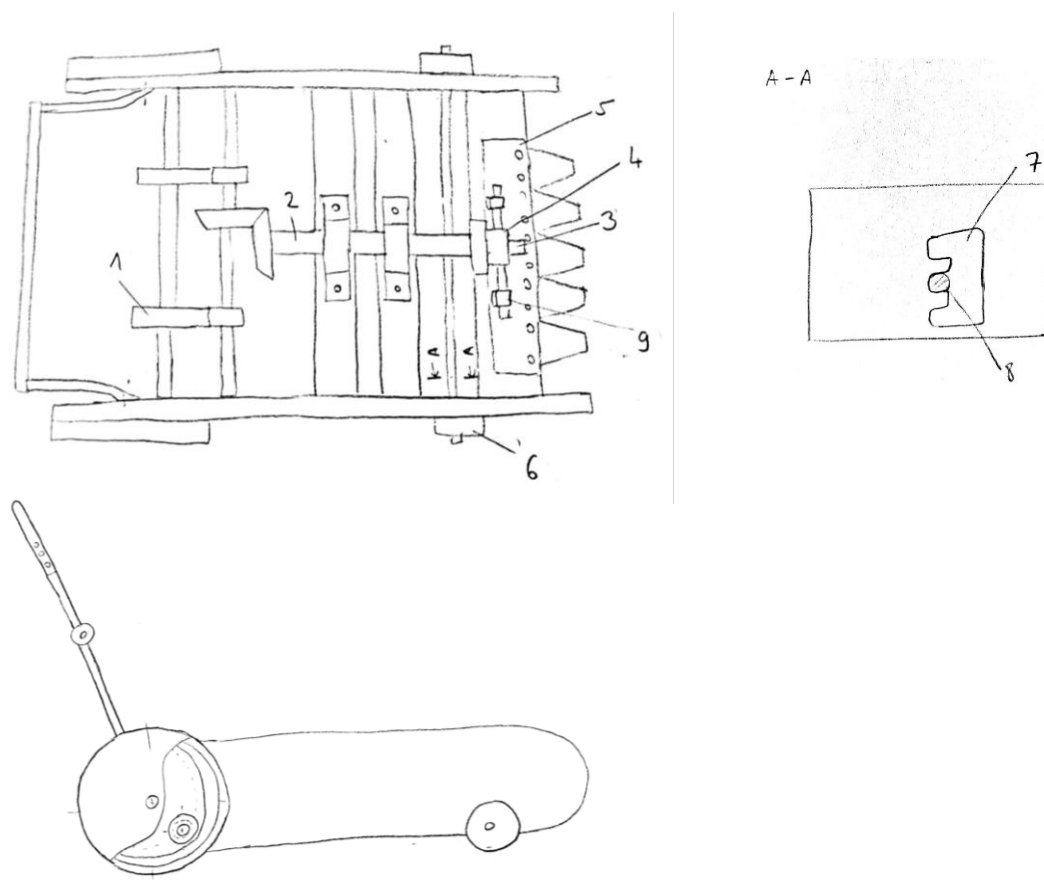
Koncept 1 je zamišljen tako da se sila s ručke (1) prenosi na kotače (2) u kojima se događa prva multiplikacija. Gibanje se dalje prenosi parom stožnika (3). Na kraju vratila drugog stožnika (4) zavaren je disk sa šipkom (5) koji je spojnicom (6) spojen za zavarene pravokutne profile (7) na koje su spojeni pomični noževi (8). Tim mehanizmom se rotacija pretvara u translaciju. Nepomični noževi (9) su spojeni na okvir (10). Podešavanje visine se radi zasebno za oba noža, ali na isti način. Visina pomičnih noževa se namješta tako da se njihov nosač (11) vijkom i maticom spoji na pločicu (12) s rupama na različitim visinama koja je zavarena za pravokutni profil (7) i namjesti na željenu visinu. Na isti način se namješta i visina za nepomične noževe čiji se nosači (13) također vijkom i maticom spajaju na pločicu (14) s rupama koja je zavarena na okvir (10).



Slika 8. Koncept 1

5.2. Koncept 2

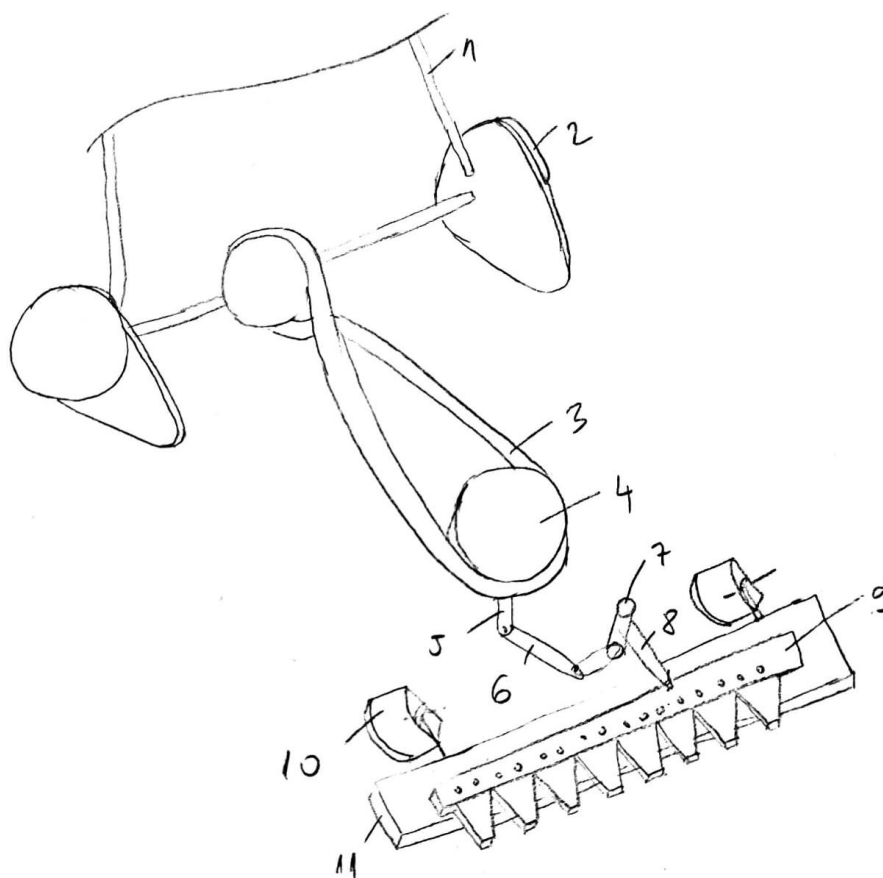
U drugom konceptu prva multiplikacija je ista kao u prvom konceptu. Kasnije je dodan još jedan stupanj multiplikacije (1). Razlika je u načinu prijenosu gibanja na noževe. U ovom konceptu koristi se tzv. mehanizam škotskog jarma. Na vratilo drugog stožnika (2) spojen je disk sa šipkom (3) na koju je postavljen okvir s dvije šipke (4) koji se kreće lijevo – desno i tako rotaciju pretvara u translaciju. Okvir sa šipkama je zavaren za nosač gornjeg noža (5). Gornji noževi su pokretni dok su donji nepokretni. Ovaj koncept ima ukupno četiri kotača koji služe za pokretanje i vođenje. Podešavanje visine je omogućeno na prednjim kotačima(6) koji služe za vođenje. Na čeljusti kosilice se nalaze utori (7) u koje se umetne osovina (8) kotača i na taj način se prilagođava visina. Opruga se koristi za osiguranje od ispadanja. Okvir sa šipkama (4) ima i na gornjem i na donjem dijelu praznog mjesta kako ne bi došlo do udaranja šipke (3) od okvir prilikom namještanja visine. Šipke na okviru (4) nalaze se u ležajnim mjestima koja se nalaze na vodilicama (9) i koje omogućuju vertikalni pomak okvira sa šipkama.



Slika 9. Koncept 2

5.3. Koncept 3

U konceptu 3 sila s ručke (1) se prenosi na kotač (2) gdje se događa prva multiplikacija. Druga multiplikacija se odvija polukrižnim remenskim prijenosom (3). Na drugu remenicu (4) je navarena šipka (5) koja je spojnicom (6) povezana na osovinu (7) za koju je zavaren nastavak (8) koji se vijčanim spojem spaja s nosačem pomičnih noževa (9). Visina se podešava tzv. „skijama“ (10). „Skije“ su zavarene za nosač donjih noževa (11), a visina se namješta tako da se vijak koji spaja skiju i dio koji je zavaren za nosač pritegne na potrebnu visinu u utoru koji se nalazi na skiji.



Slika 10. Koncept 3

6. VREDNOVANJE I ODABIR KONCEPTA

U prvom stupcu u tablici 5. nalaze se kriteriji prema kojima su vrednovani koncepti. Kao referentni koncept odabran je koncept 3 i u odnosu na njega su se ocjenjivala druga dva koncepta. Ocjene su „bolje od referentnog koncepta“ (+), „jednako kao referentni koncept“ (0) i „lošije od referentnog koncepta“ (-).

Tablica 5. Kriteriji odabira i vrednovanje koncepata

	Kriterij	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3 (referentni)
1.	Jednostavnost izrade	-	+	0
2.	Masa	-	-	0
3.	Dimenzije	0	0	0
4.	Efikasnost	0	+	0
5.	Održavanje	0	0	0
6.	Trajnost	+	+	0
7.	Cijena	0	-	0
8.	Pouzdanost	+	+	0
	Σ	0	2	0
	Rang	2.	1.	2.

Usporedbom koncepata u Tablici 5. vidi se da je koncept 2 najbolje ocijenjen. Za njega će se provesti konstrukcijska razrada.

7. PRORAČUN

7.1. Ulazni podaci za proračun

Za ulazne parametre uzete su sila na nožu koja iznosi $F_{\text{nož}} = 30 \text{ N}$ te linearna brzina noža koja iznosi $v_{\text{nož}} = 2,12 \text{ m/s}$. Sila na nožu izjednačena je s tangencijalnom silom na ekscentru vratila. Pošto je zadana sila na izlazu, prvo će se proračunati zupčani par 5-6 odnosno stožnici, zatim zupčani par 3-4 i na kraju zupčani par 1-2.

Broj okretanja V_3 na kojem se nalazi ekscentar iznosi:

$$n_{V_3} = \frac{v_{\text{nož}}}{2\pi \cdot r_{\text{eksc}}} = \frac{2,12}{2\pi \cdot 0,03} = 11,22 \text{ s}^{-1} = 673,41 \text{ min}^{-1} \quad (1)$$

Moment vratila 3 iznosi:

$$T_{V_3} = F_{t,\text{eksc}} \cdot r_{\text{eksc}} = 30 \cdot 0,03 = 900 \text{ Nmm} \quad (2)$$

7.2. Proračun stožnika

Par stožnika koristi se isključivo za promjenu smjera osi za 90 stupnjeva pa je prijenosni omjer:

$$i_{5,6} = 1 \quad (3)$$

Odabrani broj zubi za oba zupčanika je $z_5 = z_6 = 30$, a modul $m = 3 \text{ mm}$. Diobeni promjer zupčanika iznosi:

$$d_5 = z_5 \cdot m = 30 \cdot 3 = 90 \text{ mm} = d_4 \quad (4)$$

Kutovi diobenih stožaca za $\Sigma = 90^\circ$ iznose:

$$\tan \delta_5 = \frac{z_5}{z_6} = \frac{30}{30} = 1 \quad (5)$$

$$\delta_5 = 45^\circ \quad (6)$$

$$\delta_6 = \Sigma - \delta_5 = 45^\circ$$

Tjemena visina zuba iznosi:

$$h_{a5} = h_{a6} = m = 3 \text{ mm} \quad (7)$$

Tjemeni promjeri zupčanika iznose:

$$d_{a5} = d_5 + 2h_{a1} \cos \delta_5 = 90 + 2 \cdot 3 \cdot \cos 45^\circ = 94,24 \text{ mm} = d_{a6} \quad (8)$$

Dužina izvodnice diobenog stošca:

$$R_a = \frac{d_5}{2 \sin \delta_5} = \frac{90}{2 \cdot \sin 45^\circ} = 63,64 \text{ mm} \quad (9)$$

Tjemeni kutovi su:

$$\begin{aligned}\tan \chi_{a5} &= \frac{h_{a5}}{R} = \frac{3}{63,64} = 0,0471 \\ \chi_{a5} &= 2,7^\circ = \chi_{a6}\end{aligned}\quad (10)$$

Tjemeni kutovi stožaca su:

$$\delta_{a5} = \delta_5 + \chi_{a5} = 47,7^\circ = \delta_{a6} \quad (11)$$

Širina zuba je:

$$b \leq \frac{1}{3}R = \frac{1}{3} \cdot 63,64 = 21,21 \text{ mm}$$

$$\text{Odabrano: } b = 20 \text{ mm.} \quad (12)$$

Unutrašnji promjeri tjemene kružnice iznose:

$$d_{ia5} = d_{a5} - 2 \frac{b \sin \delta_{a5}}{\cos \chi_{a5}} = 94,24 - 2 \frac{20 \sin 47,7^\circ}{\cos 2,7^\circ} = 64,62 \text{ mm} = d_{ia6} \quad (13)$$

Diobeni promjeri dopunskog zupčanika:

$$d_{v5} = \frac{d_5}{\cos \delta_5} = \frac{90}{\cos 45^\circ} = 127,28 \text{ mm} = d_{v6} \quad (14)$$

Tjemeni promjeri dopunskog zupčanika:

$$d_{va5} = d_{v5} + 2h_{a5} = 127,28 + 2 \cdot 3 = 133,28 \text{ mm} = d_{va6} \quad (15)$$

Promjeri temeljne kružnice dopunskog zupčanika:

$$d_{vb5} = d_{v5} \cos \alpha = 127,28 \cos 20^\circ = 119,6 \text{ mm} = d_{vb6} \quad (16)$$

Razmak osi dopunskih zupčanika iznosi:

$$a_r = \frac{d_{v5} + d_{v6}}{2} = \frac{127,28 + 127,28}{2} = 127,28 \text{ mm} \quad (17)$$

Moment na zupčaniku 6 jednak je momentu vratila 3.

$$T_{z6} = T_{v3} = 1500 \text{ Nmm} \quad (18)$$

Moment na zupčaniku 5 iznosi:

$$T_{z5} = \frac{T_{z6}}{i_{5,6} \cdot \eta_z} = \frac{900}{1 \cdot 0,99} = 909,10 \text{ Nmm} \quad (19)$$

gdje je $\eta = 0,99$; korisnost zupčaničkih parova.

Tangencijalna sila na oba zupčanika iznosi:

$$F_{t5,6} = \frac{2 \cdot T_{z5}}{d_{m5}} = \frac{2 \cdot 1060,61}{75,86} = 23,97 \text{ N} \quad (20)$$

gdje je:

$$d_{m5} = d_5 - 2 \sin \delta_5 = 90 - 2 \sin 45^\circ = 75,86 \text{ mm} \quad (21)$$

Provjera zupčanika provesti će se prema normi VDI 2736 za polimerne zupčanike. Odabrani materijal za sve zupčane parove je POM (acetal).

Kontrola zupčanika na naprezanje u korijenu:

$$\sigma_{F5,6} = K_F \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \frac{F_{t5,6}}{b \cdot m} = 1 \cdot 2,6 \cdot 1,69 \cdot 0,73 \cdot 1 \cdot \frac{23,97}{20 \cdot 3} = 1,28 \text{ N/mm}^2 \quad (22)$$

gdje je:

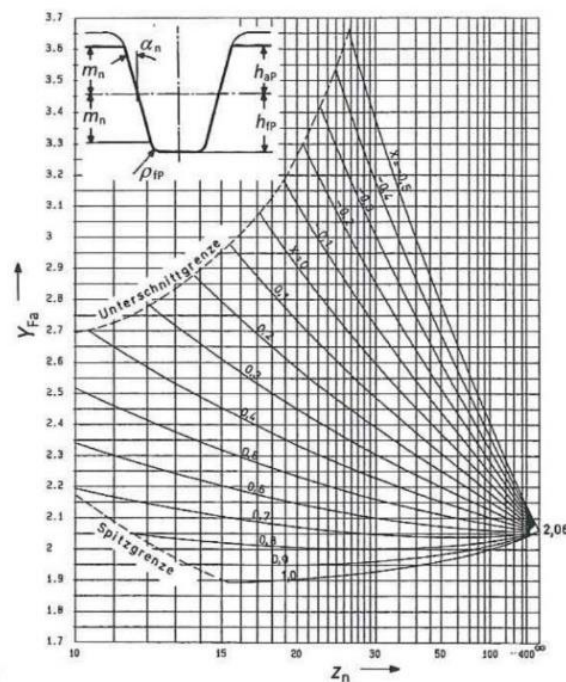
K_F ; faktor raspodjele opterećenja (sile) na pojedine zube pri proračunu opteretivosti korijena, koji je za potrebe ovog proračuna uzet kao $K_F = 1$,

Y_{Fa} ; faktor oblika zuba, koji u ovom slučaju iznosi $Y_{Fa} = 2,6$, što je očitano sa slike 11.,

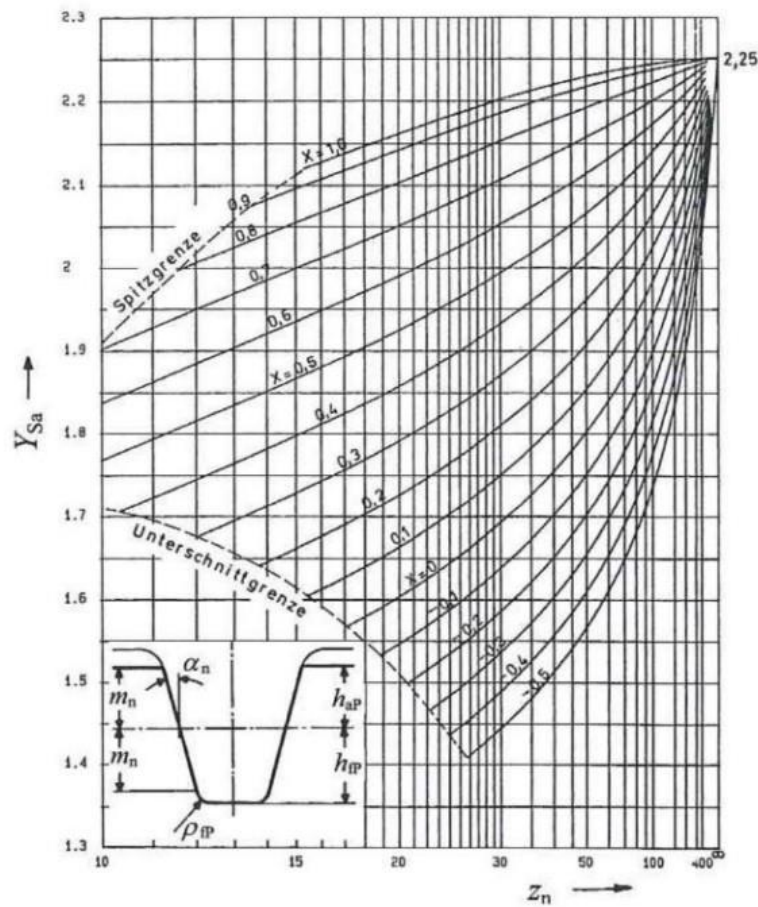
Y_{Sa} ; faktor zareznog djelovanja, koji iznosi $Y_{Sa} = 1,69$, što je očitano sa slike 12.,

Y_ε ; faktor učešća opterećenja, koji iznosi prema formuli $Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,56} = 0,73$

Y_β ; faktor utjecaja nagiba boka zuba, za ravne zube iznosi $Y_\beta = 1$.



Slika 11. Faktor oblika zuba

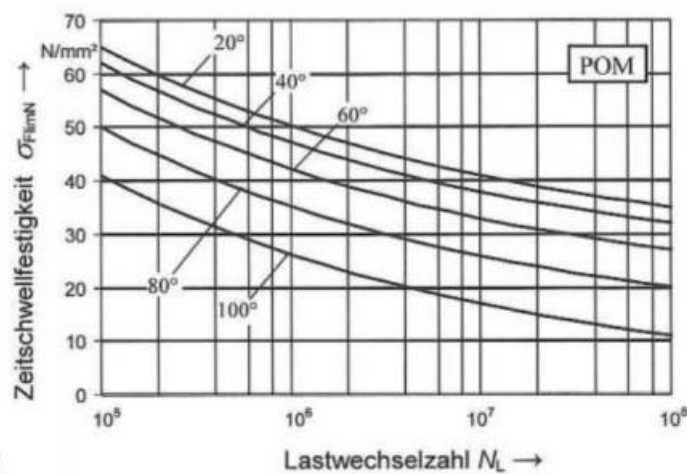


Slika 12. Faktor zareznog djelovanja

Dopušteno naprezanje u korijenu za odabrani materijal računa se prema:

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Fg}}{S_{Fmin}} = \frac{2 \cdot \sigma_{FlimN}}{S_{Fmin}} = \frac{2 \cdot 50}{1,1} = 90,91 \text{ N/mm}^2$$

Gdje je $\sigma_{FlimN} = 50 \text{ N/mm}^2$ za $N_L = 10^6$ prema slici 13.



Slika 13. Promjenjiva trajna čvrstoća

Pošto je

$$\sigma_{F5,6} = 1,28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{FP} = 90,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

znači da zupčanici zadovoljavaju.

Naprezanje na bok tj. Hertzovo naprezanje prema normi nije potrebno proračunavati za dodir materijala POM/POM jer su nosivost korijena zuba i otpornost trošenju ključne provjere koje moraju zadovoljavati.

Iduća provjera je provjera temperature zubi.

Temperatura korijena računa se prema:

$$\vartheta_{Root} = \sigma_0 + P \cdot \mu \cdot H_V \cdot \left(\frac{k_{\sigma,Root}}{b \cdot z \cdot (v \cdot m_n)^{0,75}} + \frac{R_{\lambda,G}}{A_G} \right) \cdot ED^{0,64}$$

gdje je:

σ_0 ; temperatura okoliša, 20°C,

P ; snaga u W,

μ ; faktor trenja, za POM/POM $\mu = 0,28$

H_V ; stupanj gubitka zuba koji se računa prema $H_V = \frac{\pi(u+1)}{z_2 \cdot \cos \beta} (1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)$,

$k_{\sigma,Root}$; koeficijent prolaza topline za POM, $2100\text{K} \cdot (\text{m/s})^{0,75} \text{mm}^{1,75} / \text{W}$

b ; širina zuba,

z ; broj zubi,

v ; linearna brzina u m/s,

m_n ; modul u mm,

$R_{\lambda,G}$; otpor prolaska topline u kućištu, pošto je kućište otvoreno, $R_{\lambda,G} = 0$,

A_G ; površina odvođenja topline kućišta, $A_G = 0$,

ED ; relativni radni ciklus na temelju deset minuta, 100%

Za zupčanik 6 iznosi:

$$\begin{aligned} \vartheta_{Root} &= 20 + 63,45 \cdot 0,28 \cdot 1,54 \cdot \left(\frac{2100}{20 \cdot 30 \cdot (3,78 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} \\ &= 35,50 \text{ °C} \end{aligned} \quad (23)$$

gdje je:

$$P_6 = T_6 \cdot \omega_6 = 0,9 \cdot 70,5 = 63,45 \text{ W}$$

$$v_6 = \omega_6 \cdot r_6 = 70,5 \cdot 0,05367 = 3,78 \frac{\text{m}}{\text{s}} = v_5$$

$$H_V = \frac{\pi(1+1)}{30 \cdot \cos 0} (1 - 2,35 - 2,35 + 2,35^2 + 2,35^2) = 1,54$$

gdje je:

$$\varepsilon_6 = \frac{\sqrt{r_{a5}^2 - r_{b5}^2}}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{47,12^2 - 42,29^2}}{\pi \cdot 3 \cdot \cos 20} = 2,35 = \varepsilon_5$$

Za zupčanik 5 iznosi:

$$\vartheta_{Root} = 20 + 64,09 \cdot 0,28 \cdot 1,54 \cdot \left(\frac{2100}{20 \cdot 30 \cdot (3,78 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 35,65 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (24)$$

gdje je:

$$P_5 = T_5 \cdot \omega_5 = 0,91 \cdot 70,5 = 64,09 \text{ W}$$

Za proračun temperature boka mijenja se jedino koeficijent prolaza topline koji iznosi $k_{\sigma, Flank}$; koeficijent prolaza topline za POM, $9000 \text{ K} \cdot (\text{m/s})^{0,75} \text{ mm}^{1,75} / \text{W}$

Za zupčanik 6 iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 63,45 \cdot 0,28 \cdot 1,54 \cdot \left(\frac{9000}{20 \cdot 30 \cdot (3,78 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 86,41 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (25)$$

Za zupčanik 5 iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 64,09 \cdot 0,28 \cdot 1,54 \cdot \left(\frac{9000}{20 \cdot 30 \cdot (3,78 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 87,08 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (26)$$

Dopuštena temperatura iznosi $\vartheta_{zul} = 80^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$.

Vidimo kako i temperature korijena i boka zadovoljavaju.

Iduća provjera je otpornost na habanje koja se posebno mora uzeti u obzir kod rada na suho.

Srednje linearno trošenje računa se:

$$W_m = \frac{T_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot N_L \cdot H_V \cdot k_w}{b \cdot z \cdot l_{Fl}}$$

gdje je:

k_w ; koeficijent trošenja, za POM $k_w = 60,4 \cdot 10^{-8} \text{mm}^3/(\text{Nm})$

l_{Fl} ; duljina aktivnog dijela boka, koja se računa prema $l_{Fl} = 2 \cdot m_n = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm}$

Za zupčanik 6 iznosi:

$$W_m = \frac{0,9 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,54 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{20 \cdot 30 \cdot 6} = 0,00146 \text{ mm} \quad (27)$$

Za zupčanik 5 iznosi:

$$W_m = \frac{0,91 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,54 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{20 \cdot 30 \cdot 6} = 0,00148 \text{ mm} \quad (28)$$

Dopušteno linearno trošenje iznosi $W_{zul} = (0,1 \dots 0,2)m_n = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ mm}$

Kako je linearno trošenje oba zupčanika manje od dopuštenog oba zupčanika zadovoljavaju.

Potrebno je još izračunati deformaciju zupčanika.

Deformacija se računa prema:

$$\lambda = \frac{7,5 \cdot F_t}{b \cdot \cos \beta} \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$$

Za oba zupčanika iznosi:

$$\lambda = \frac{7,5 \cdot 23,97}{20 \cdot \cos 0} \cdot \left(\frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} \right) = 0,0062 \text{ mm} \quad (29)$$

gdje je:

E ; modul elastičnosti POM, $E_1 = E_2 = 2900 \text{ N/mm}^2$.

Dopuštena deformacija iznosi $\lambda_{dop} = 0,07 m_n = 0,07 \cdot 3 = 0,21 \text{ mm}$.

Kako je deformacija oba zupčanika manja od dopuštene znači da zupčanici zadovoljavaju.

7.3. Proračun drugog zupčaničkog para

Drugi zupčanički par čine čelnici s ravnim zubima. Odabrani brojevi zubi su:

$z_3 = 40$; broj zubi pogonskog zupčanika,

$z_4 = 17$; broj zubi gonjenog zupčanika.

Prema tim podacima prijenosni omjer drugog zupčanog para iznosi:

$$i_{3,4} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{17}{40} = 0,425 \quad (30)$$

Kako je broj okretaja n_4 jednak broju okretaja n_5 , može se dobiti broj okretaja zupčanika 3 koji iznosi:

$$n_3 = n_4 \cdot i_{3,4} = 11,2 \cdot 0,425 = 4,77 \text{ s}^{-1} \quad (31)$$

Odabrani modul za ovaj zupčanički par iznosi $m = 3 \text{ mm}$.

Dimenzije zupčanika 3 su:

$$d_3 = z_3 \cdot m = 40 \cdot 3 = 120 \text{ mm} = d_{w3} \quad (32)$$

$$d_{a3} = d_3 + 2m = 120 + 2 \cdot 3 = 126 \text{ mm} \quad (33)$$

$$d_{f3} = d_3 - 2m - 2c = 120 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0,25 \cdot 3 = 112,5 \text{ mm} \quad (34)$$

Dimenzije zupčanika 4 su:

$$d_4 = z_4 \cdot m = 17 \cdot 3 = 51 \text{ mm} = d_{w4} \quad (35)$$

$$d_{a4} = d_4 + 2m = 51 + 2 \cdot 3 = 57 \text{ mm} \quad (36)$$

$$d_{f4} = d_4 - 2m - 2c = 51 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0,25 \cdot 3 = 43,5 \text{ mm} \quad (37)$$

Proračunski, a ujedno i ugradbeni osni razmak iznosi :

$$a_{3,4} = m \cdot \frac{z_3 + z_4}{2} = 3 \cdot \frac{40 + 17}{2} = 85,5 \text{ mm} \quad (38)$$

Moment na zupčaniku 4 iznosi $T_{Z4} = \frac{T_{Z5}}{2} = \frac{909,10}{2} = 454,55 \text{ Nmm}$ jer moment na zupčanik 5 dolazi s dva kotača, dok moment na zupčaniku 3 iznosi:

$$T_{Z3} = \frac{T_{Z4}}{i_{3,4} \cdot \eta_z} = \frac{454,55}{0,425 \cdot 0,99} = 1080,33 \text{ Nmm} \quad (39)$$

Tangencijalna sila na oba zupčanika iznosi:

$$F_{t3,4} = \frac{2 \cdot T_{Z3}}{d_3} = \frac{2 \cdot 1080,33}{120} = 18,01 \text{ N} \quad (40)$$

Kontrola zupčanika na naprezanje u korijenu.

Za zupčanik 4 naprezanje u korijenu iznosi:

$$\sigma_{F4} = K_F \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \frac{F_{t3,4}}{b \cdot m} = 1 \cdot 3,06 \cdot 1,57 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot \frac{18,01}{45 \cdot 3} = 0,46 \text{ N/mm}^2 \quad (41)$$

gdje je:

$$K_F = 1,$$

$Y_{Fa} = 3,06$, što je očitano sa slike 11.,

$Y_{Sa} = 1,57$, što je očitano sa slike 12.,

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,605} = 0,72$$

$$Y_\beta = 1.$$

Pošto je

$$\sigma_{F4} = 0,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{FP} = 90,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

znači da zupčanik zadovoljava.

Za zupčanik 3 naprezanje u korijenu iznosi:

$$\sigma_{F3} = K_F \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \frac{F_{t3,4}}{b \cdot m} = 1 \cdot 2,45 \cdot 1,75 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot \frac{18,01}{45 \cdot 3} = 0,41 \text{ N/mm}^2 \quad (42)$$

gdje je:

$$K_F = 1,$$

$Y_{Fa} = 2,45$, što je očitano sa slike 11.,

$Y_{Sa} = 1,75$, što je očitano sa slike 12.,

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,605} = 0,72$$

$$Y_\beta = 1.$$

Pošto je

$$\sigma_{F3} = 0,41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{FP} = 90,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

znači da zupčanik zadovoljava.

Iduća provjera je provjera temperature zubi.

Sve konstante su jednake kao i za prošli zupčanički par.

Za zupčanik 4 iznosi:

$$\vartheta_{Root} = 20 + 32,05 \cdot 0,28 \cdot 2,42 \cdot \left(\frac{2100}{45 \cdot 17 \cdot (1,8 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 36,83 \text{ °C} \quad (43)$$

gdje je:

$$P_4 = T_4 \cdot \omega_4 = 0,45455 \cdot 70,5 = 32,05 \text{ W}$$

$$v_4 = \omega_4 \cdot r_4 = 70,5 \cdot 0,0255 = 1,8 \text{ m/s} = v_3$$

$$H_V = \frac{\pi(0,425 + 1)}{17 \cdot \cos 0} (1 - 3,17 - 1,75 + 3,17^2 + 1,75^2) = 2,42$$

gdje je:

$$\varepsilon_4 = \frac{\sqrt{r_{a4}^2 - r_{b4}^2}}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{28,5^2 - 23,96^2}}{\pi \cdot 3 \cdot \cos 20} = 1,75$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sqrt{r_{a3}^2 - r_{b3}^2}}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{63^2 - 56,38^2}}{\pi \cdot 3 \cdot \cos 20} = 3,17$$

Za zupčanik 3 iznosi:

$$\vartheta_{Root} = 20 + 32,37 \cdot 0,28 \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{2100}{45 \cdot 40 \cdot (1,8 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 27,22 \text{ °C} \quad (44)$$

gdje je:

$$P_3 = T_3 \cdot \omega_3 = 1,08 \cdot 29,97 = 32,37 \text{ W}$$

Za zupčanik 4 temperatura boka iznosi iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 32,05 \cdot 0,28 \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{9000}{45 \cdot 17 \cdot (1,8 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 92,13 \text{ °C} \quad (45)$$

Za zupčanik 3 iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 32,37 \cdot 0,28 \cdot 1,75 \cdot \left(\frac{9000}{45 \cdot 40 \cdot (1,8 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 50,96 \text{ °C} \quad (46)$$

Dopuštena temperatura iznosi $\vartheta_{zul} = 80\text{°C} - 100\text{°C}$

Vidimo kako i temperature korijena i boka zadovoljavaju.

Iduća provjera je otpornost na habanje koja se posebno mora uzeti u obzir kod rada na suho.

Za zupčanik 4 iznosi:

$$W_m = \frac{0,45455 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,75 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{45 \cdot 17 \cdot 6} = 0,00066 \text{ mm} \quad (48)$$

Za zupčanik 3 iznosi:

$$W_m = \frac{1,80055 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,75 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{45 \cdot 40 \cdot 6} = 0,00066 \text{ mm} \quad (49)$$

Dopušteno linearno trošenje iznosi $W_{zul} = 0,6 \text{ mm}$

Kako je linearno trošenje oba zupčanika manje od dopuštenog oba zupčanika zadovoljavaju.

Potrebno je još izračunati deformaciju zupčanika.

Za oba zupčanika iznosi:

$$\lambda = \frac{7,5 \cdot 18,01}{45 \cdot \cos 0} \cdot \left(\frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} \right) = 0,0021 \text{ mm} \quad (50)$$

Dopuštena deformacija iznosi $\lambda_{dop} = 0,21 \text{ mm}$.

Kako je deformacija oba zupčanika manja od dopuštene znači da zupčanici zadovoljavaju.

7.4. Proračun prvog zupčaničkog para

Prvi zupčanički par čine zupčanik s unutarnjim i zupčanik s vanjskim ozubljenjem. Odabrani brojevi zubi su:

$z_1 = 57$; broj zubi pogonskog, odnosno zupčanika s unutarnjim ozubljenjem,

$z_2 = 19$; broj zubi gonjenog, odnosno zupčanika s vanjskim ozubljenjem.

Prema tim podacima prijenosni omjer prvog zupčanog para iznosi:

$$i_{1,2} = \frac{z_2}{-z_1} = \frac{19}{-57} = -\frac{1}{3} \quad (51)$$

Kako je broj okretaja n_2 jednak broju okretaja n_3 , može se dobiti broj okretaja zupčanika koji iznosi:

$$n_1 = n_2 \cdot i_{2,3} = 4,77 \cdot 1/3 = 1,59 \text{ s}^{-1} \quad (52)$$

Odabrani modul za ovaj zupčanički par iznosi $m = 3 \text{ mm}$.

Dimenzije zupčanika 1 su:

$$d_1 = z_1 \cdot m = 57 \cdot 3 = 171 \text{ mm} = d_{w1} \quad (53)$$

$$d_{a1} = d_1 - 2m = 171 - 2 \cdot 3 = 165 \text{ mm} \quad (54)$$

$$d_{f1} = d_1 + 2m + 2c = 171 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 0,25 \cdot 3 = 178,5 \text{ mm} \quad (55)$$

Dimenzije zupčanika 2 su:

$$d_2 = z_2 \cdot m = 19 \cdot 3 = 57 \text{ mm} = d_{w2} \quad (56)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 57 + 2 \cdot 3 = 63 \text{ mm} \quad (57)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2m - 2c = 57 - 2 \cdot 3 - 2 \cdot 0,25 \cdot 3 = 49,5 \text{ mm} \quad (58)$$

gdje je $c = 0,25m$ prema [12].

Proračunski, a ujedno i ugradbeni osni razmak iznosi:

$$a_{1,2} = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2} = 3 \cdot \frac{-57 + 19}{2} = -57 \text{ mm} \quad (59)$$

Moment na zupčaniku 2 iznosi $T_{Z2} = T_{Z3} = 1080,33 \text{ Nmm}$ dok moment na zupčaniku 1 iznosi:

$$T_{Z1} = \frac{T_{Z2}}{i_{1,2} \cdot \eta_z} = \frac{1080,33}{\frac{1}{3} \cdot 0,99} = 3273,73 \text{ Nmm} \quad (60)$$

Tangencijalna sila na oba zupčanika iznosi:

$$F_{t1,2} = \frac{2 \cdot T_{Z1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 3273,73}{171} = 38,29 \text{ N} \quad (61)$$

Kontrola zupčanika na naprezanje u korijenu.

Za zupčanik 2 naprezanje u korijenu iznosi:

$$\sigma_{F2} = K_F \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \frac{F_{t1,2}}{b \cdot m} = 1 \cdot 2,95 \cdot 1,58 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot \frac{38,29}{45 \cdot 3} = 0,94 \text{ N/mm}^2 \quad (62)$$

gdje je:

$$K_F = 1,$$

$$Y_{Fa} = 2,95, \text{ što je očitano sa slike 11.},$$

$$Y_{Sa} = 1,58, \text{ što je očitano sa slike 12.},$$

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,64} = 0,71$$

$$Y_\beta = 1.$$

Pošto je

$$\sigma_{F2} = 0,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{FP} = 90,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

znači da zupčanik zadovoljava.

Za zupčanik 1 naprezanje u korijenu iznosi:

$$\sigma_{F1} = K_F \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \frac{F_{t1,2}}{b \cdot m} = 1 \cdot 2,43 \cdot 1,77 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot \frac{38,29}{45 \cdot 3} = 0,87 \text{ N/mm}^2 \quad (63)$$

gdje je:

$$K_F = 1,$$

$$Y_{Fa} = 2,43, \text{ što je očitano sa slike 11.},$$

$$Y_{Sa} = 1,77, \text{ što je očitano sa slike 12.},$$

$$Y_\varepsilon = 0,25 + \frac{0,75}{\varepsilon_\alpha} = 0,25 + \frac{0,75}{1,64} = 0,71$$

$$Y_\beta = 1.$$

Pošto je

$$\sigma_{F1} = 0,87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{FP} = 90,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

znači da zupčanik zadovoljava.

Iduća provjera je provjera temperature zubi.

Sve konstante su jednake kao i za prošli zupčanički par.

Za zupčanik 2 iznosi:

$$\vartheta_{Root} = 20 + 32,37 \cdot 0,28 \cdot 1,16 \cdot \left(\frac{2100}{45 \cdot 19 \cdot (0,85 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 32,80 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (64)$$

gdje je:

$$P_2 = T_2 \cdot \omega_2 = 1,08 \cdot 29,97 = 32,37 \text{ W}$$

$$v_2 = \omega_2 \cdot r_2 = 29,97 \cdot 0,0285 = 0,85 \text{ m/s} = v_1$$

$$H_V = \frac{\pi \left(\frac{1}{3} + 1 \right)}{18 \cdot \cos 0} (1 - 2,12 - 1,87 + 2,12^2 + 1,87^2) = 1,16$$

gdje je:

$$\varepsilon_2 = \frac{\sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{31,5^2 - 26,78^2}}{\pi \cdot 3 \cdot \cos 20} = 1,87$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2}}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{82,5^2 - 80,34^2}}{\pi \cdot 3 \cdot \cos 20} = 2,12$$

Za zupčanik 1 iznosi:

$$\vartheta_{Root} = 20 + 32,74 \cdot 0,28 \cdot 1,16 \cdot \left(\frac{2100}{45 \cdot 57 \cdot (0,85 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 24,31 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (65)$$

gdje je:

$$P_1 = T_1 \cdot \omega_1 = 3,27373 \cdot 10 = 32,74 \text{ W}$$

Za zupčanik 2 temperatura boka iznosi iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 32,37 \cdot 0,28 \cdot 1,16 \cdot \left(\frac{9000}{45 \cdot 19 \cdot (0,85 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 74,84 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (66)$$

Za zupčanik 1 iznosi:

$$\vartheta_{Flank} = 20 + 32,74 \cdot 0,28 \cdot 1,16 \cdot \left(\frac{9000}{45 \cdot 57 \cdot (0,85 \cdot 3)^{0,75}} + \frac{0}{0} \right) \cdot 1^{0,64} = 38,49 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (67)$$

Dopuštena temperatura iznosi $\vartheta_{zul} = 80^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$

Vidimo kako i temperature korijena i boka zadovoljavaju.

Iduća provjera je otpornost na habanje koja se posebno mora uzeti u obzir kod rada na suho.

Za zupčanik 2 iznosi:

$$W_m = \frac{1,08 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,16 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{45 \cdot 19 \cdot 6} = 0,0037 \text{ mm} \quad (68)$$

Za zupčanik 3 iznosi:

$$W_m = \frac{5,45621 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 10^6 \cdot 1,16 \cdot 60,4 \cdot 10^{-8}}{45 \cdot 57 \cdot 6} = 0,0037 \text{ mm} \quad (69)$$

Dopušteno linearno trošenje iznosi $W_{zul} = 0,6 \text{ mm}$

Kako je linearno trošenje oba zupčanika manje od dopuštenog oba zupčanika zadovoljavaju.

Potrebno je još izračunati deformaciju zupčanika.

Za oba zupčanika iznosi:

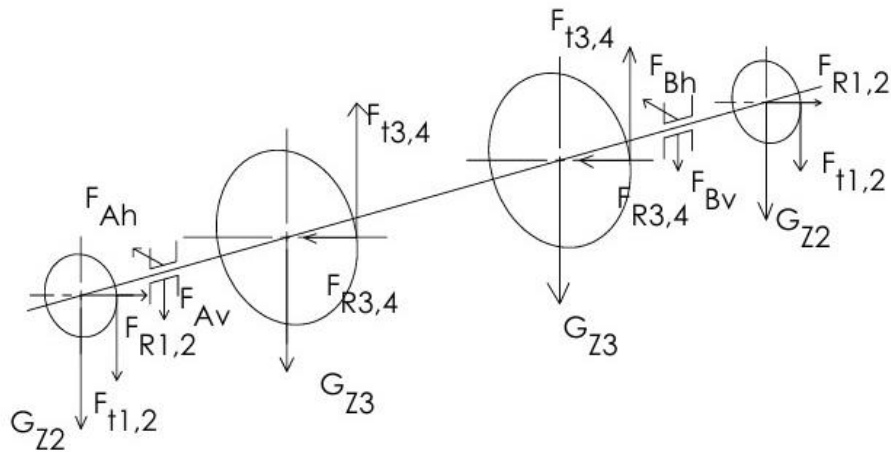
$$\lambda = \frac{7,5 \cdot 38,29}{45 \cdot \cos 0} \cdot \left(\frac{1}{2900} + \frac{1}{2900} \right) = 0,0044 \text{ mm} \quad (70)$$

Dopuštena deformacija iznosi $\lambda_{dop} = 0,21 \text{ mm}$.

Kako je deformacija oba zupčanika manja od dopuštene znači da zupčanici zadovoljavaju.

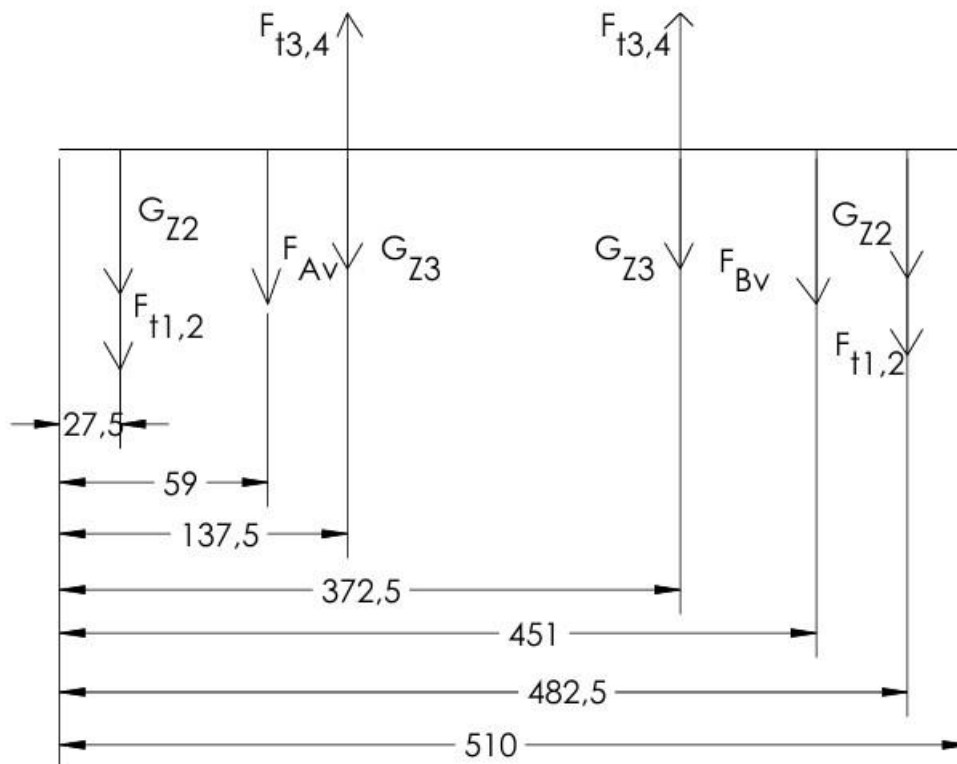
7.5. Proračun vratila 1

Dimenzije vratila 1 odrediti ćemo prema [10]. Prvo će se izračunati reakcije u osloncima A i B. Na slici 14. Mogu se vidjeti sile koje opterećuju vratilo 1.



Slika 14. Sile koje opterećuju vratilo 1

Skica na slici 15. prikazuje vratilo u vertikalnoj ravnini i sile koje djeluju na njega. Za izračunavanje sila u osloncima treba izračunati sumu momenata oko tih oslonaca.



Slika 15. Vertikalna ravnina vratila 1

$$\sum M_A = 0$$

$$\begin{aligned}
 & (G_{z2} + F_{t1,2}) \cdot 31,5 + (F_{t3,4} - G_{z3}) \cdot 78,5 + (F_{t3,4} - G_{z3}) \cdot 313,5 - F_{Bv} \cdot 392 \\
 & \quad - (F_{t1,2} + G_{z2}) \cdot 455 = 0 \\
 & (1,6 + 38,29) \cdot 31,5 + (18,01 - 7,5) \cdot 78,5 + (18,01 - 7,5) \cdot 313,5 - F_{Bv} \cdot 392 \\
 & \quad - (38,29 + 1,6) \cdot 455 = 0 \\
 & \quad \quad \quad F_{Bv} = -32,59 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{71}$$

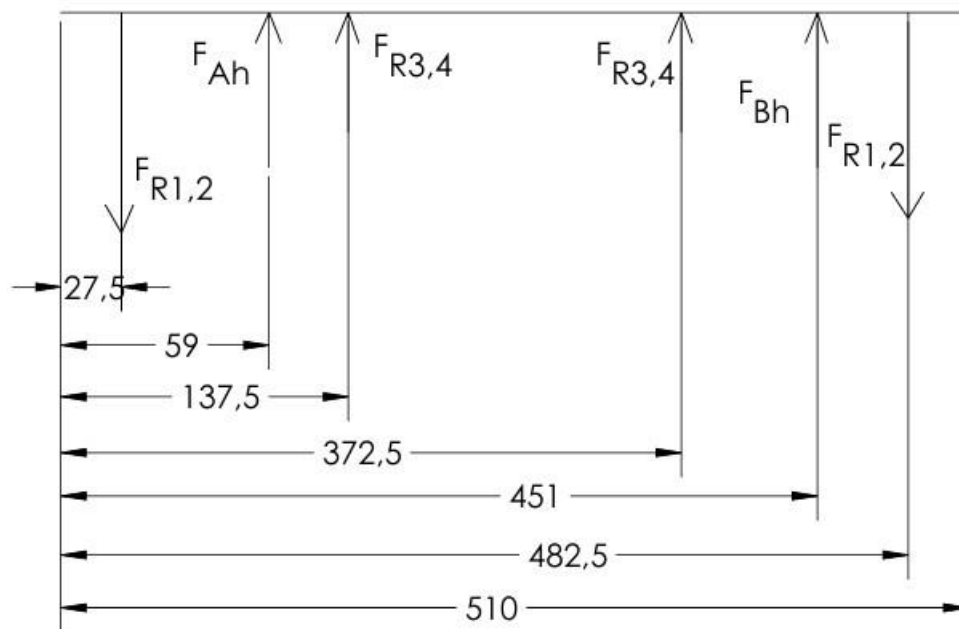
gdje je:

$$G_{z2} = m_{z2} \cdot g = 0,162 \cdot 10 = 1,6 \text{ N} \tag{72}$$

$$G_{z3} = m_{z3} \cdot g = 0,75 \cdot 10 = 7,5 \text{ N} \tag{73}$$

Kako je vratilo 1 simetrično vertikalna komponenta oslonca A jednaka je vertikalnoj komponenti oslonca B tj. $F_{Bv} = F_{Av} = -32,59 \text{ N}$.

Skica na slici 16. prikazuje horizontalnu ravninu vratila i sile koje djeluju na njega.



Slika 16. Horizontalna ravnina vratila 1

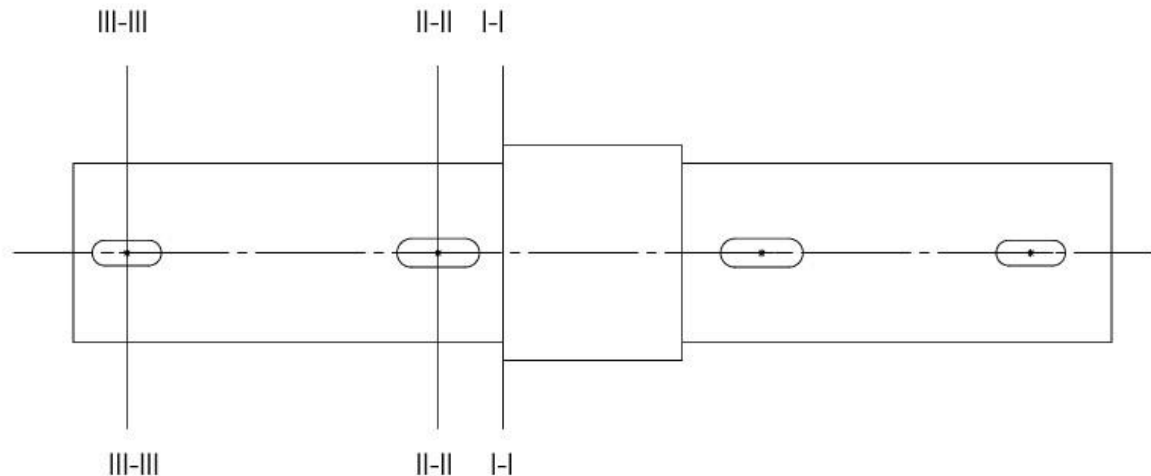
$$\begin{aligned}
 & \sum M_A = 0 \\
 & F_{r1,2} \cdot 31,5 + F_{r3,4} \cdot 78,5 + F_{r3,4} \cdot 313,5 - F_{Bh} \cdot 392 - F_{r1,2} \cdot 455 = 0 \\
 & 13,94 \cdot 31,5 + 6,56 \cdot 78,5 + 6,56 \cdot 313,5 - F_{Bh} \cdot 392 - 13,94 \cdot 455 = 0
 \end{aligned}$$

$$F_{Bh} = -8,5 \text{ N} = F_{Ah} \quad (74)$$

gdje je:

$$F_{r1,2} = F_{t1,2} \cdot \tan \alpha = 38,29 \cdot \tan 20^\circ = 13,94 \text{ N} \quad (75)$$

$$F_{r3,4} = F_{t3,4} \cdot \tan \alpha = 18,01 \cdot \tan 20^\circ = 6,56 \text{ N} \quad (76)$$



Slika 17. Presjeci vratila 1

Da bi se odredili promjeri vratila potrebno je izračunati iznose momenata savijanja na pojedinim presjecima. Pošto je vratilo 1 simetrično, proračunavati će se samo polovica vratila. Na slici 17. mogu se vidjeti presjeci koji su u daljnjem dijelu proračunati.

Presjek I-I

Presjek I-I se nalazi na prijelazu s najvećeg promjera na manji. Ukupni moment u presjeku I-I iznosi:

$$M_I = \sqrt{M_{Iv}^2 + M_{Ih}^2} = 3110 \text{ Nmm} \quad (77)$$

gdje je:

$$M_{Iv} = (G_{z2} + F_{t1,2}) \cdot 132,5 + F_{Av} \cdot 101 + (G_{z3} - F_{t3,4}) \cdot 22,5 = 1,76 \text{ Nm} \quad (78)$$

$$M_{Ih} = F_{r1,2} \cdot 132,5 - F_{Ah} \cdot 101 - F_{r3,4} \cdot 22,5 = 2,56 \text{ Nm} \quad (79)$$

Presjek II-II

Presjek II-II se nalazi na dijelu gdje je zupčanik 3 perom spojen za vratilo. Ukupni moment u presjeku II-II iznosi:

$$M_{II} = \sqrt{M_{IIv}^2 + M_{IIh}^2} = 2860 \text{ Nmm} \quad (80)$$

gdje je:

$$M_{IIv} = (G_{z2} + F_{t1,2}) \cdot 110 + F_{Av} \cdot 78,5 = 1,83 \text{ Nm} \quad (81)$$

$$M_{IIh} = F_{r1,2} \cdot 110 - F_{Ah} \cdot 78,5 = 2,20 \text{ Nm} \quad (82)$$

Presjek III-III

Presjek III-III se nalazi na spoju zupčanika 2 i vratila perom. Taj presjek opterećen je samo momentom uvijanja koji za cijelo vratilo iznosi $T_{V1}=1080,33 \text{ Nmm}$.

Odabran materijal vratila je St 60-2. Promjeri vratila računati će se pomoću iduće formule prema [11]:

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{red}}{dop\sigma_{fDN}}}$$

gdje je:

$$dop\sigma_{fDN} = \frac{\sigma_{fDN}}{4} = \frac{280}{4} = 70 \text{ N/mm}^2$$

$$M'_{red} = \sqrt{M^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2}$$

gdje je:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73 \cdot \tau_{tDI}} = \frac{280}{1,73 \cdot 220} = 0,736$$

Za $\sigma_{fDN} = 280 \text{ N/mm}^2$ i $\tau_{tDI} = 220 \text{ N/mm}^2$.

Reducirani momenti za presjeke I i II iznose:

$$M'_{redI} = \sqrt{M_I^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = \sqrt{75,23^2 + 0,75(0,736 \cdot 34,32)^2} = 3185,32 \text{ Nmm} \quad (83)$$

$$M'_{redII} = \sqrt{M_{II}^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = 2941,73 \text{ Nmm} \quad (84)$$

Promjeri redom iznose:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redI}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{3185,32}{70}} = 7,75 \text{ mm} \quad (85)$$

Odabran promjer je $d_1 = 25 \text{ mm}$.

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redII}}{\text{dop}\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{2941,73}{70}} = 7,55 \text{ mm} \quad (86)$$

Odabran promjer je $d_2 = 25 \text{ mm}$.

Na sredini vratila odabran je promjer $d_v = 30 \text{ mm}$ zbog naslona za zupčanik 3.

Idući korak je provjera sigurnosti pojedinih presjeka.

Vlačna čvrstoća odabranog materijala je $R_m = 660 \text{ N/mm}^2$. Sve potrebne vrijednosti određene su prema [10]. Sigurnost će se računati prema formuli:

$$S = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}}$$

Presjek I-I

$$b_1 = 0,925$$

$$b_2 = 0,95$$

$$\beta_{KfI} = 1,3$$

$$\beta_{KtI} = 1,42$$

Postojeća sigurnost je:

$$S_1 = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}} = \frac{0,925 \cdot 0,95 \cdot 280}{2,71} = 90,79 > S_{potr} = 1,5 \quad (87)$$

gdje je:

$$\sigma_{redI} = \frac{M_{redI}}{W_I} = \frac{4159,49}{1533,38} = 2,71 \text{ N/mm}^2 \quad (88)$$

$$M_{redI} = \sqrt{(\beta_{KfI} \cdot M_I)^2 + 0,75(\alpha_0 \beta_{KtI} T_{V1})^2} \quad (89)$$

$$= \sqrt{(1,3 \cdot 3110)^2 + 0,75(0,736 \cdot 1,42 \cdot 1080,33)^2} = 4159,49 \text{ Nmm}$$

$$W_I = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,38 \text{ mm}^3$$

Sigurnost u presjeku I-I zadovoljava.

Presjek II-II

$$b_1 = 0,925$$

$$b_2 = 0,95$$

$$\beta_{KfII} = 1,9$$

$$\beta_{KtII} = 1,9$$

Postojeća sigurnost je:

$$S_2 = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}} = \frac{0,925 \cdot 0,95 \cdot 280}{3,65} = 67,41 > S_{potr} = 1,5 \quad (90)$$

gdje je:

$$\sigma_{redII} = \frac{M_{redII}}{W_{II}} = \frac{5589,28}{1533,38} = 3,65 \text{ N/mm}^2 \quad (91)$$

$$M_{redII} = \sqrt{(\beta_{kF2} \cdot MI_1)^2 + 0,75(\alpha_0 \beta_{kt2} T_{V1})^2} \quad (92)$$

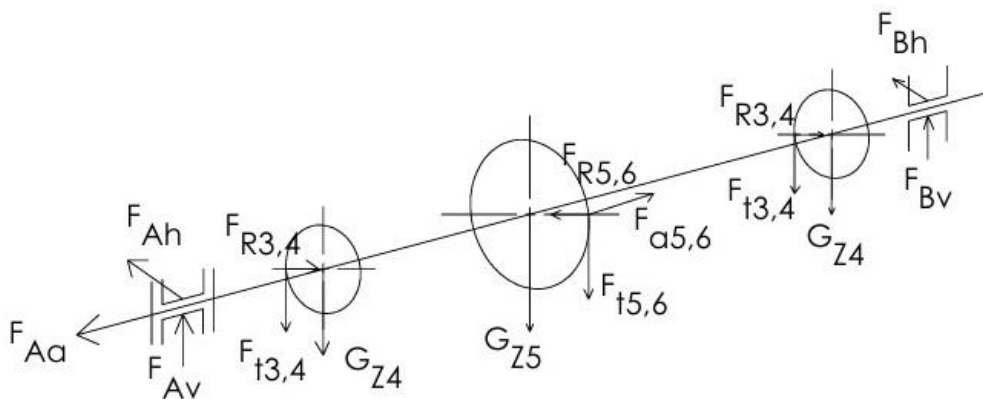
$$= \sqrt{(1,9 \cdot 2860)^2 + 0,75(0,736 \cdot 1,9 \cdot 1080,33)^2} = 5589,28 \text{ Nmm}$$

$$W_{II} = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,38 \text{ mm}^3$$

Sigurnost u presjeku II-II zadovoljava.

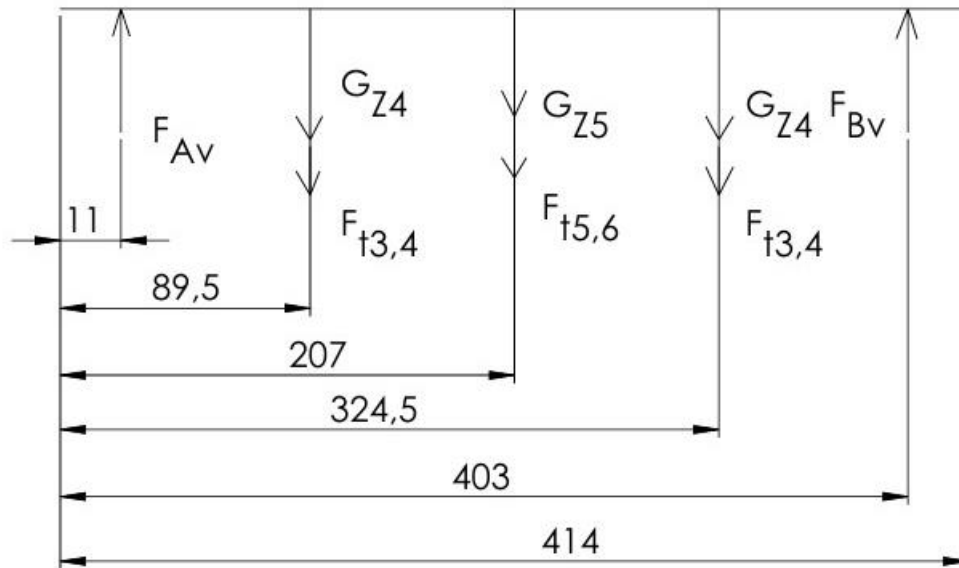
7.6. Proračun vratila 2

Vratilo 2 će biti proračunato na isti način kao i vratilo 1. Shema vratila s opterećenjem se nalazi na slici 18.



Slika 18. Sile koje opterećuju vratilo 2

Na slici 19. se nalazi shema opterećenja vratila u vertikalnoj ravnini.



Slika 19. Vertikalna ravnina vratila 2

Određivanje reakcija u osloncima:

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 \\
 -(G_{z4} + F_{t3,4}) \cdot 78,5 - (F_{t5,6} + G_{z5}) \cdot 196 + (F_{t3,4} + G_{z4}) \cdot 313,5 + F_{Bv} \cdot 392 &= 0 \\
 -(1,27 + 18,01) \cdot 78,5 + (23,97 + 1,1) \cdot 196 + (18,01 + 1,27) \cdot 313,5 + F_{Bv} \cdot 392 &= 0 \\
 F_{Bv} &= 1 \text{ N} \tag{93}
 \end{aligned}$$

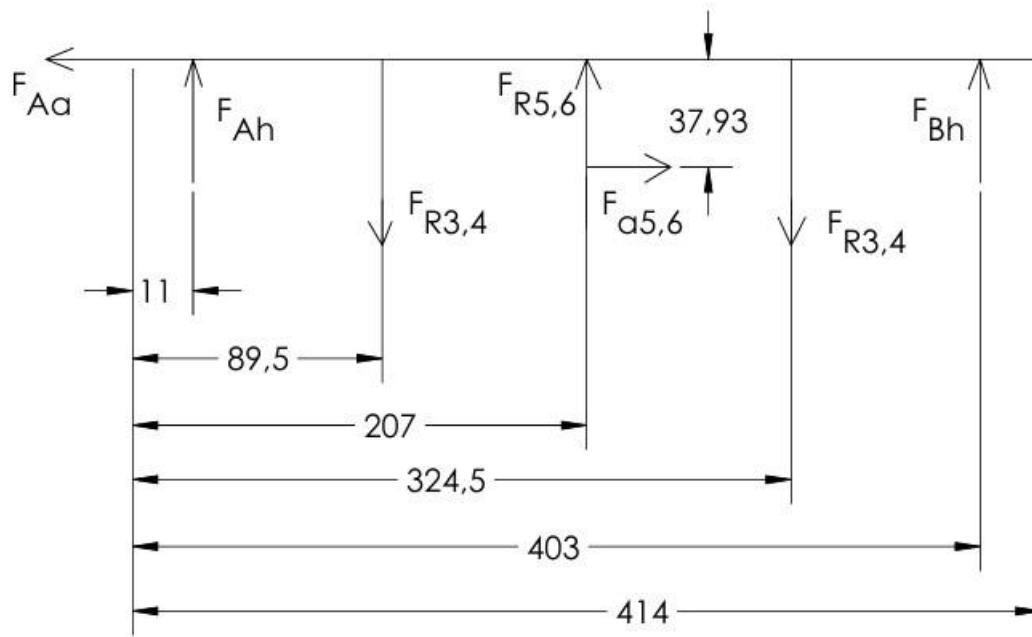
gdje je:

$$G_{z4} = m_z \cdot g = 0,16 \cdot 10 = 1,6 \text{ N} \tag{94}$$

$$G_{z4} = m_{z4} \cdot g = 0,127 \cdot 10 = 1,27 \text{ N} \tag{95}$$

Kako je vratilo 2 simetrično vertikalna komponenta oslonca A jednaka je vertikalnoj komponenti oslonca B tj. $F_{Bv} = F_{Av} = 1 \text{ N}$.

Skica na slici 20. prikazuje horizontalnu ravninu vratila i sile koje djeluju na njega. Kod ovog proračuna je jedna jednačba više jer na vratilu imamo stožnik koji ima aksijalnu silu.



Slika 20. Horizontalna ravnina vratila 2

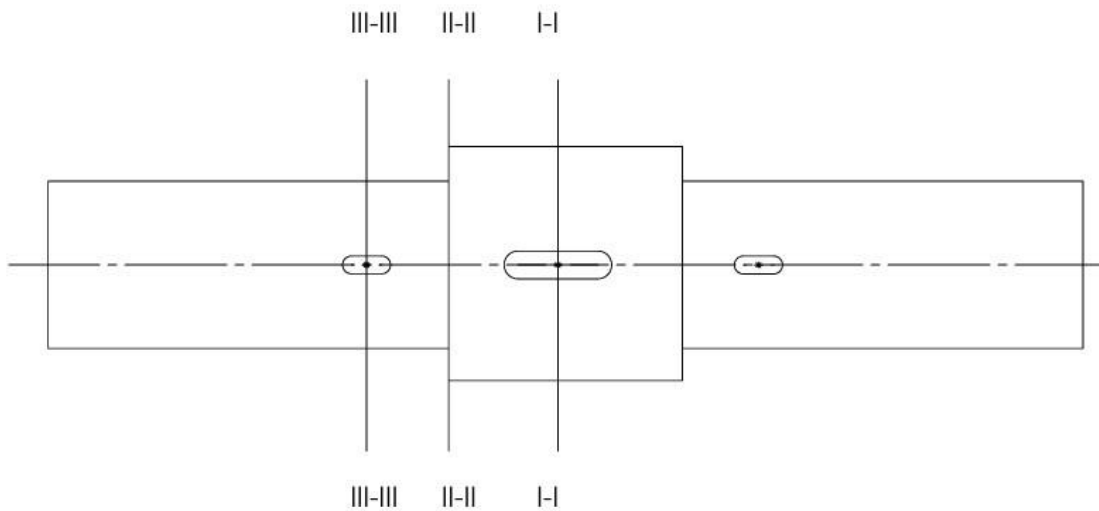
$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 \\
 -F_{r3,4} \cdot 78,5 + F_{r5,6} \cdot 196 + F_{a5,6} \cdot 37,93 - F_{r3,4} \cdot 313,5 + F_{Bh} \cdot 392 &= 0 \\
 -6,56 \cdot 78,5 + 6,17 \cdot 196 + 6,17 \cdot 37,93 - 6,56 \cdot 313,5 + F_{Bh} \cdot 392 &= 0 \\
 F_{Bh} &= 2,88\text{N} = F_{Ah}
 \end{aligned} \tag{96}$$

gdje je:

$$F_{r5,6} = F_{t5,6} \cdot \tan \alpha \cdot \sin \delta_5 = 23,97 \cdot \tan 20^\circ \cdot \sin 45^\circ = 6,17 = F_{a5,6} \tag{97}$$

$$\begin{aligned}
 \sum F_x &= 0 \\
 -F_{Aa} + F_{a5,6} &= 0 \\
 F_{Aa} &= 6,17\text{ N}
 \end{aligned}$$

Na slici 21. mogu se vidjeti presjeci koji su u daljnjem dijelu proračunati.



Slika 21. Presjeci vratila 2

Presjek I-I

Presjek I-I se nalazi na spoju stožnika 5 i vratila perom. Ukupni moment u presjeku I-I iznosi:

$$M_I = \sqrt{M_{Iv}^2 + M_{Ih}^2} = 1757,00 \text{ Nmm} \quad (98)$$

gdje je:

$$M_{Iv} = (G_{z4} + F_{t3,4}) \cdot 117,5 - F_{Av} \cdot 196 = 1700,92 \text{ Nmm} \quad (99)$$

$$M_{Ih} = F_{a5,6} \cdot 37,93 + F_{r3,4} \cdot 117,5 - F_{Ah} \cdot 196 = 440,35 \text{ Nmm} \quad (100)$$

Presjek II-II

Presjek II-II se nalazi na prijelazu s jednog promjera vratila na drugi. Ukupni moment u presjeku II-II iznosi:

$$M_{II} = \sqrt{M_{IIv}^2 + M_{IIh}^2} = 344,95 \text{ Nm} \quad (101)$$

gdje je:

$$M_{IIv} = (G_{z4} + F_{t3,4}) \cdot 22,5 - F_{Av} \cdot 101 = 332,8 \text{ Nmm} \quad (102)$$

$$M_{IIh} = F_{a5,6} \cdot 37,93 + F_{r3,4} \cdot 22,5 - F_{Ah} \cdot 101 = 90,75 \text{ Nmm} \quad (103)$$

Presjek III-III

Presjek III-III se nalazi na spoju zupčanika 4 i vratila perom. Ukupni moment u presjeku III-III iznosi:

$$M_{III} = \sqrt{M_{IIIv}^2 + M_{IIIh}^2} = 78,90 \text{ Nmm} \quad (104)$$

gdje je:

$$M_{IIIv} = -F_{Av} \cdot 78,5 = -78,5 \text{ Nmm} \quad (105)$$

$$M_{IIIh} = F_{a5,6} \cdot 37,93 - F_{Ah} \cdot 78,5 = 7,95 \text{ Nmm} \quad (106)$$

Moment uvijanja na prvom presjeku iznosi $T_{z5} = 909,10 \text{ Nmm}$, dok na ostalim presjecima vratila 2 iznosi $T_V = 454,55 \text{ Nmm}$.

Reducirani momenti za presjek od I do III redom iznose:

$$M'_{redI} = \sqrt{M_I^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = \sqrt{122,83^2 + 0,75(0,736 \cdot 28,880)^2} = 1850,09 \text{ Nmm} \quad (107)$$

$$M'_{redII} = \sqrt{M_{II}^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = 450,48 \text{ Nmm} \quad (108)$$

$$M'_{redIII} = \sqrt{M_{III}^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = 300,28 \text{ Nmm} \quad (109)$$

Promjeri redom iznose:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redI}}{\text{dop}\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{1850,09}{70}} = 6,46 \text{ mm} \quad (110)$$

Odabran promjer je $d_1 = 35 \text{ mm}$.

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redII}}{\text{dop}\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{450,48}{70}} = 4,04 \text{ mm} \quad (111)$$

Odabran promjer je $d_2 = 25 \text{ mm}$.

$$d_3 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redIII}}{\text{dop}\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{300,28}{70}} = 3,53 \text{ mm} \quad (112)$$

Odabran promjer je $d_3 = 25 \text{ mm}$.

Idući korak je provjera sigurnosti pojedinih presjeka.

Presjek I-I

$$b_1 = 0,875$$

$$b_2 = 0,95$$

$$\beta_{KfI} = 1,9$$

$$\beta_{KtI} = 1,9$$

Postojeća sigurnost je:

$$S_1 = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}} = \frac{0,875 \cdot 0,95 \cdot 280}{0,84} = 277,08 > S_{potr} = 1,5 \quad (113)$$

gdje je:

$$\sigma_{redI} = \frac{M_{redI}}{W_I} = \frac{3515,16}{4209,24} = 0,84 \text{ N/mm}^2 \quad (114)$$

$$M_{redI} = \sqrt{(\beta_{kF1} \cdot M_I)^2 + 0,75(\alpha_0 \beta_{Kt1} T_{V1})^2} \quad (115)$$

$$= \sqrt{(1,9 \cdot 1757)^2 + 0,75(0,736 \cdot 1,9 \cdot 909,1)^2} = 3515,16 \text{ Nmm}$$

$$W_I = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4209,24 \text{ mm}^3$$

Sigurnost u presjeku I-I zadovoljava.

Presjek II-II

$$b_1 = 0,925$$

$$b_2 = 0,95$$

$$\beta_{kFII} = 1,49$$

$$\beta_{KtII} = 1,6$$

Postojeća sigurnost je:

$$S_2 = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}} = \frac{0,925 \cdot 0,95 \cdot 280}{0,45} = 546,78 > S_{potr} = 1,5 \quad (116)$$

gdje je:

$$\sigma_{redII} = \frac{M_{redII}}{W_{II}} = \frac{692,14}{1533,38} = 0,45 \text{ N/mm}^2 \quad (117)$$

$$M_{redII} = \sqrt{(\beta_{kF2} \cdot M_{II})^2 + 0,75(\alpha_0 \beta_{Kt2} T_{V1})^2} \quad (118)$$

$$= \sqrt{(1,49 \cdot 344,95)^2 + 0,75(0,736 \cdot 1,6 \cdot 454,55)^2} = 692,14 \text{ Nmm}$$

$$W_{II} = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,38 \text{ mm}^3$$

Sigurnost u presjeku II-II zadovoljava.

Presjek III-III

$$b_1 = 0,925$$

$$b_2 = 0,95$$

$$\beta_{kF3} = 1,9$$

$$\beta_{Kt3} = 1,9$$

Postojeća sigurnost je:

$$S_3 = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\sigma_{red}} = \frac{0,925 \cdot 0,95 \cdot 280}{0,37} = 665 > S_{potr} = 1,5 \quad (119)$$

gdje je:

$$\sigma_{redIII} = \frac{M_{redIII}}{W_{III}} = \frac{570,53}{1533,38} = 0,37 \text{ N/mm}^2 \quad (120)$$

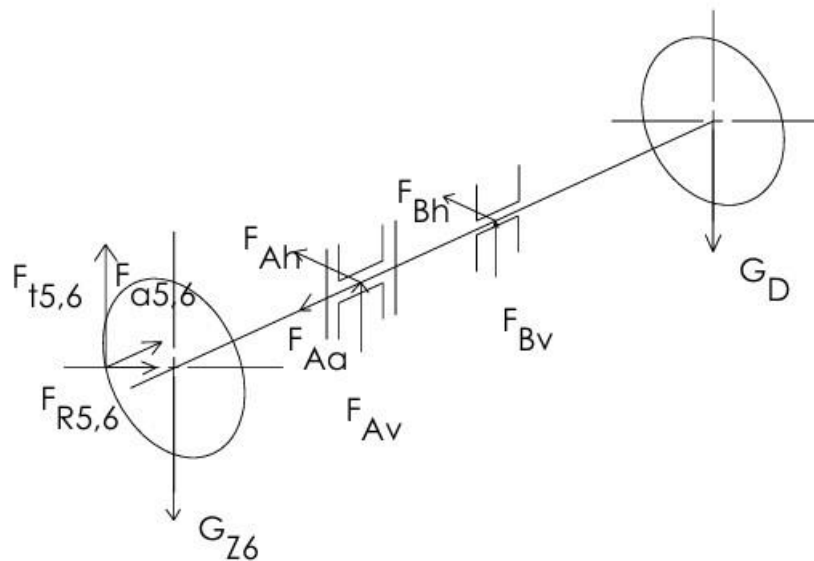
$$M_{redIII} = \sqrt{(\beta_{KF3} \cdot M_{III})^2 + 0,75(\alpha_0 \beta_{Kt3} T_{V1})^2} \quad (121)$$

$$= \sqrt{(1,9 \cdot 78,9)^2 + 0,75(0,736 \cdot 1,9 \cdot 454,55)^2} = 570,53 \text{ Nmm}$$

$$W_{III} = \frac{\pi \cdot d_3^3}{32} = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1533,38 \text{ mm}^3$$

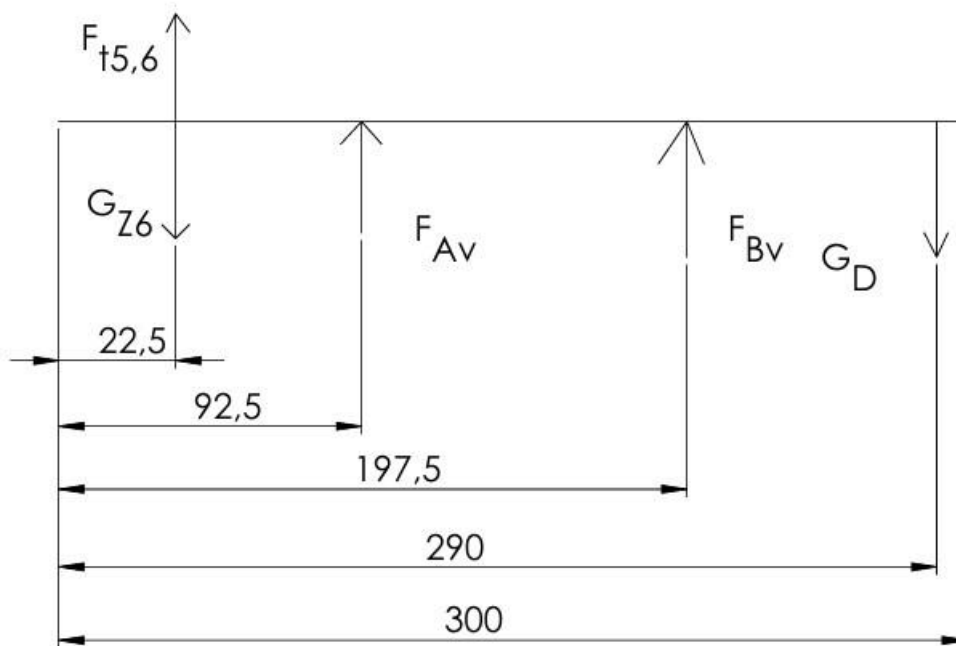
7.7. Proračun vratila 3

Vratilo 3 će biti kraće proračunato jer će odabrani promjer vratila biti predimenzioniran kako bi stožnici 5 i 6 bili jednaki. Proračun vratila 3 najpotrebniji je zbog poznavanja reakcija u osloncima. Na slici 22. vidi se shema vratila.



Slika 22. Sile koje opterećuju vratilo 3

Na slici 23. je shema vratila u vertikalnoj ravnini.



Slika 23. Vertikalna ravnina vratila 3

Određivanje reakcija u osloncima:

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 \\
 (G_{Z6} - F_{t5,6}) \cdot 70 + F_{Bv} \cdot 105 + G_D \cdot 197,5 &= 0 \\
 (1,1 - 23,97) \cdot 70 + F_{Bv} \cdot 105 + 8 \cdot 197,5 &= 0 \\
 F_{Bv} &= 0,2 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{122}$$

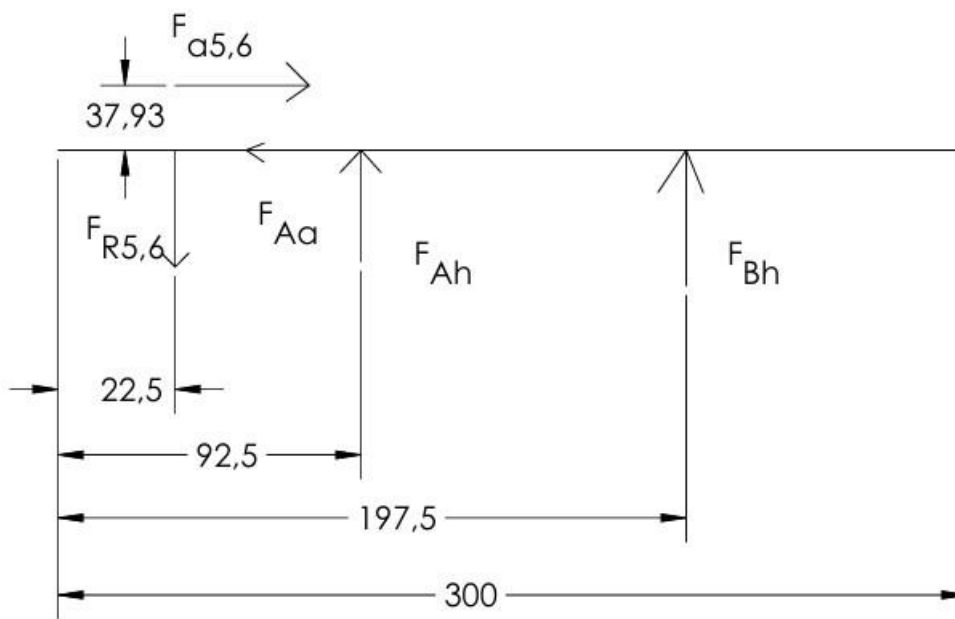
gdje je:

$$G_{Z6} = G_{Z5} = 1,1 \text{ N} \tag{123}$$

$$G_D = m_D \cdot g = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ N} \tag{124}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_B &= 0 \\
 (G_{Z6} - F_{t5,6}) \cdot 175 - F_{Av} \cdot 105 - G_D \cdot 92,5 &= 0 \\
 (1,1 - 23,97) \cdot 175 + F_{Bv} \cdot 105 + 8 \cdot 92,5 &= 0 \\
 F_{Av} &= -45,16 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{125}$$

Na slici 24. je shema vratila u horizontalnoj ravnini.



Slika 24. Horizontalna ravnina vratila 3

Određivanje reakcija u osloncima:

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ F_{r5,6} \cdot 70 + F_{Bh} \cdot 105 - F_{a5,6} \cdot 37,93 &= 0 \\ 6,17 \cdot 70 + F_{Bh} \cdot 105 + 6,17 \cdot 37,93 &= 0 \\ F_{Bh} &= -1,88 \text{ N}\end{aligned}\quad (126)$$

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ F_{r5,6} \cdot 175 - F_{Ah} \cdot 105 - F_{a5,6} \cdot 37,93 &= 0 \\ 6,17 \cdot 175 - F_{Ah} \cdot 105 + 6,17 \cdot 37,93 &= 0 \\ F_{Av} &= 12,51 \text{ N}\end{aligned}\quad (127)$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F_{Aa} = F_{a5,5} &= 6,17 \text{ N}\end{aligned}\quad (128)$$

Pošto će vratilo biti glatko jedini presjek koji će se proračunati je onaj na spoju stožnika i vratila perom. Moment savijanja na tom mjestu je malen pa će se zanemariti u proračunu. Moment uvijanja koji opterećuje vratilo je $T_{V3} = 900 \text{ Nmm}$. Materijal je St 60-2.

Reducirani momenti za presjek I-I iznosi:

$$M'_{redl} = \sqrt{M_I^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_V)^2} = \sqrt{0^2 + 0,75(0,736 \cdot 900)^2} = 573,66 \text{ Nmm}\quad (129)$$

Promjer iznosi:

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M'_{redI}}{dop\sigma_{fDN}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{573,66}{70}} = 4,38 \text{ mm} \quad (130)$$

Odabran promjer je $d_1 = 35 \text{ mm}$. Iako bi i puno manji promjer zadovoljio odabran je isti kao što je i na vratilu 2 kako bi stožnici 5 i 6 bili u potpunosti jednaki. Pošto je vratilo predimenzionirano nema potrebe za provjerom sigurnosti.

7.8. Proračun pera

Pera se proračunavaju na bočni tlak prema formuli prema [2]:

$$p_{boč} = \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} \leq p_{dop}$$

Tangencijalnu silu na vratilu računamo iz poznatih iznosa momenata na vratilima. Na vratilu 1 nalaze se četiri jednaka pera. Moment na vratilu 1 iznosi $T_{V1} = 1080,33 \text{ Nmm}$ pa prema tome računamo:

$$F_{tV1} = \frac{2T_{V1}}{d_1} = \frac{2 \cdot 1080,33}{25} = 86,43 \text{ N} \quad (131)$$

Na vratilu 1 se nalazi standardno pero prema normi DIN 6885 za dimenzije vratila od 22 do 30 mm. Prema [1], ostale dimenzije pera su:

$$\begin{aligned} b &= 8 \text{ mm} \\ h &= 7 \text{ mm} \\ t &= 4,1 \text{ mm} \\ t_1 &= 2,4 \text{ mm} \\ l_t &= 14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Povratkom u izraz za bočni tlak dobije se:

$$p_{boč} = \frac{86,43}{0,5 \cdot 7 \cdot 14 \cdot 1} = 1,76 \text{ N/mm}^2 \quad (132)$$

Prema [15], dopušteni bočni tlak za zupčanik od polimera POM iznosi 22 N/mm^2 .

$$p_{boč} = 1,76 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq p_{dop} = 22 \text{ N/mm}^2 \quad (133)$$

Pera na vratilu 1 zadovoljavaju.

Za vratilo 2 se ponavlja isti postupak proračuna. Na vratilu dva se nalaze dva ista pera. Tangencijalna sila na vratilu 2 za moment $T_{V2} = 454,55$ Nmm iznosi:

$$F_{tV2} = \frac{2T_{V2}}{d_2} = \frac{2 \cdot 454,55}{25} = 36,36 \text{ N} \quad (134)$$

Na vratilu 2 se nalazi standardno pero prema normi DIN 6885 za dimenzije vratila od 22 do 30 mm. Dimenzije su iste kao kod pera na vratilu 1.

Iznos bočnog tlaka je:

$$p_{boč} = \frac{36,36}{0,5 \cdot 7 \cdot 14 \cdot 1} = 0,75 \text{ N/mm}^2 \quad (135)$$

Pošto je:

$$p_{boč} = 0,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq p_{dop} = 22 \text{ N/mm}^2 \quad (136)$$

Pera na vratilu 2 zadovoljavaju.

Za vratilo 3 provodi se isti proračun. Tangencijalna sila na vratilu za moment $T_{V3} = 900$ Nmm iznosi:

$$F_{tV3} = \frac{2T_{V3}}{d_3} = \frac{2 \cdot 9000}{35} = 51,43 \text{ N} \quad (137)$$

Na vratilu 3 se nalazi standardno pero prema normi DIN 6885 za dimenzije vratila od 30 do 38 mm. Prema [1], ostale dimenzije pera su:

$b = 10$ mm
 $h = 8$ mm
 $t = 4,7$ mm
 $t_1 = 2,8$ mm
 $l_t = 14$ mm

Iznos bočnog tlaka je:

$$p_{boč} = \frac{51,43}{0,5 \cdot 8 \cdot 14 \cdot 1} = 0,92 \text{ N/mm}^2 \quad (138)$$

Pošto je:

$$p_{boč} = 0,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq p_{dop} = 22 \text{ N/mm}^2$$

Pero na vratilu 3 zadovoljava.

7.9. Proračun ležajeva

Ležajeve ćemo proračunati prema dinamičkoj izdržljivosti koja se računa prema:

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

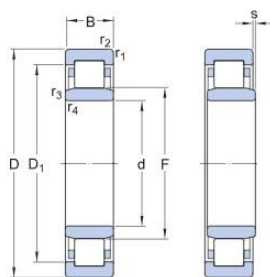
Na vratilu 1 su dva jednako opterećena radijalna ležaja. Broj okretaja vratila 1 je $n_{v1} = 286,2$ o/min, eksponent vijeka trajanja ležaja iznosi $10/3$ jer odabrani ležaj ima dodir u liniji. Zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja u satima prema [9] iznosi 6000 h. Dinamičko ekvivalentno radijalno opterećenje za ovaj ležaj iznosi:

$$P = \sqrt{F_{Av}^2 + F_{Ah}^2} = \sqrt{(-32,59)^2 + (-8,5)^2} = 33,68 \text{ N} \quad (139)$$

Kada se sve uvrsti, dinamička izdržljivost iznosi:

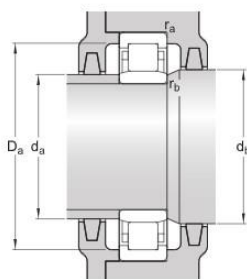
$$C_1 = 33,68 \cdot \left(\frac{60 \cdot 286,2 \cdot 6000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} = 135,29 \text{ N} \quad (140)$$

Odabran je ležaj NU 1005. Na slici 25. mogu se vidjeti njegovi podaci.



Dimensions

d	25 mm	Bore diameter
D	47 mm	Outside diameter
B	12 mm	Width
D ₁	≈ 38.8 mm	Shoulder diameter of outer ring
F	30.5 mm	Raceway diameter of inner ring
r _{1,2}	min. 0.6 mm	Chamfer dimension
r _{3,4}	min. 0.3 mm	Chamfer dimension
s	max. 1.5 mm	Permissible axial displacement



Abutment dimensions

d _a	min. 27.1 mm	Diameter of spacer sleeve
d _a	max. 29.5 mm	Diameter of spacer sleeve
d _b	min. 32 mm	Diameter of shaft abutment
D _a	max. 43.1 mm	Diameter of housing abutment
r _a	max. 0.6 mm	Radius of fillet
r _b	max. 0.3 mm	Radius of fillet

Slika 25. Ležaj NU 1005

Na isti način proračunavaju se i ležajevi na vratilu 2. Ovdje ležaj A uz radijalno prenosi i aksijalno opterećenje. Broj okretaja vratila 2 je $n_{v2} = 670,41$ o/min, eksponent vijeka trajanja ležaja A iznosi 3 jer odabrani ležaj ima dodir u točki dok za ležaj B iznosi 10/3 jer je dodir u liniji. Zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja u satima prema [9] iznosi 6000 h. Aksijalno opterećenje iznosi $F_a = 6,17$ N.

Radijalno opterećenje iznosi:

$$P_r = \sqrt{F_{Av}^2 + F_{Ah}^2} = \sqrt{1^2 + 2,88^2} = 3,05 \text{ N} \quad (141)$$

Pošto je omjer aksijalnog i radijalnog opterećenja veći od 0,15, $\frac{F_a}{F_r} = \frac{6,17}{3,05} = 2,02 > 0,15$, dinamičko ekvivalentno opterećenje za ovaj ležaj iznosi:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,56 \cdot 3,05 + 2,13 \cdot 6,17 = 14,85 \text{ N} \quad (142)$$

Gdje je prema [9]:

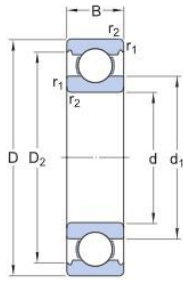
$$X = 0,56$$

$$Y = 2,13$$

Kada se sve uvrsti, dinamička izdržljivost iznosi:

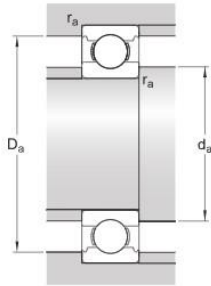
$$C_1 = 14,85 \cdot \left(\frac{60 \cdot 670,41 \cdot 6000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 92,46 \text{ N} \quad (143)$$

Odabran je ležaj 6005. Na slici 26. mogu se vidjeti njegovi podaci.



Dimensions

d	25 mm	Bore diameter
D	47 mm	Outside diameter
B	12 mm	Width
d ₁	≈ 32 mm	Shoulder diameter
D ₂	≈ 42.2 mm	Recess diameter
r _{1,2}	min. 0.6 mm	Chamfer dimension



Abutment dimensions

d _a	min. 28.2 mm	Diameter of shaft abutment
D _a	max. 43.8 mm	Diameter of housing abutment
r _a	max. 0.6 mm	Radius of shaft or housing fillet

Slika 26. Ležaj 6005

Ležaj B opterećen je samo radijalno, a to opterećenje iznosi:

$$P = \sqrt{F_{Bv}^2 + F_{Bh}^2} = \sqrt{1^2 + 2,88^2} = 3,05 \text{ N} \quad (144)$$

Dinamička izdržljivost iznosi:

$$C_1 = 3,05 \cdot \left(\frac{60 \cdot 670,41 \cdot 6000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} = 18,99 \text{ N} \quad (145)$$

Odabran je ležaj NU 1005. Na slici 25. mogu se vidjeti njegovi podaci.

Na isti način proračunavaju se i ležajevi na vratilu 3. Ovdje ležaj A uz radijalno prenosi i aksijalno opterećenje. Broj okretaja vratila 3 je $n_{v3} = 670,41$ o/min, eksponent vijeka trajanja ležaja iznosi 3 jer odabrani ležaj ima dodir u točki. Zahtijevani nazivni vijek trajanja ležaja u satima prema [9] iznosi 6000 h. Aksijalno opterećenje iznosi $F_a = 6,17$ N.

Radijalno opterećenje ležaja A iznosi:

$$P_r = \sqrt{F_{Av}^2 + F_{Ah}^2} = \sqrt{(-45,16)^2 + 12,51^2} = 46,86 \text{ N} \quad (146)$$

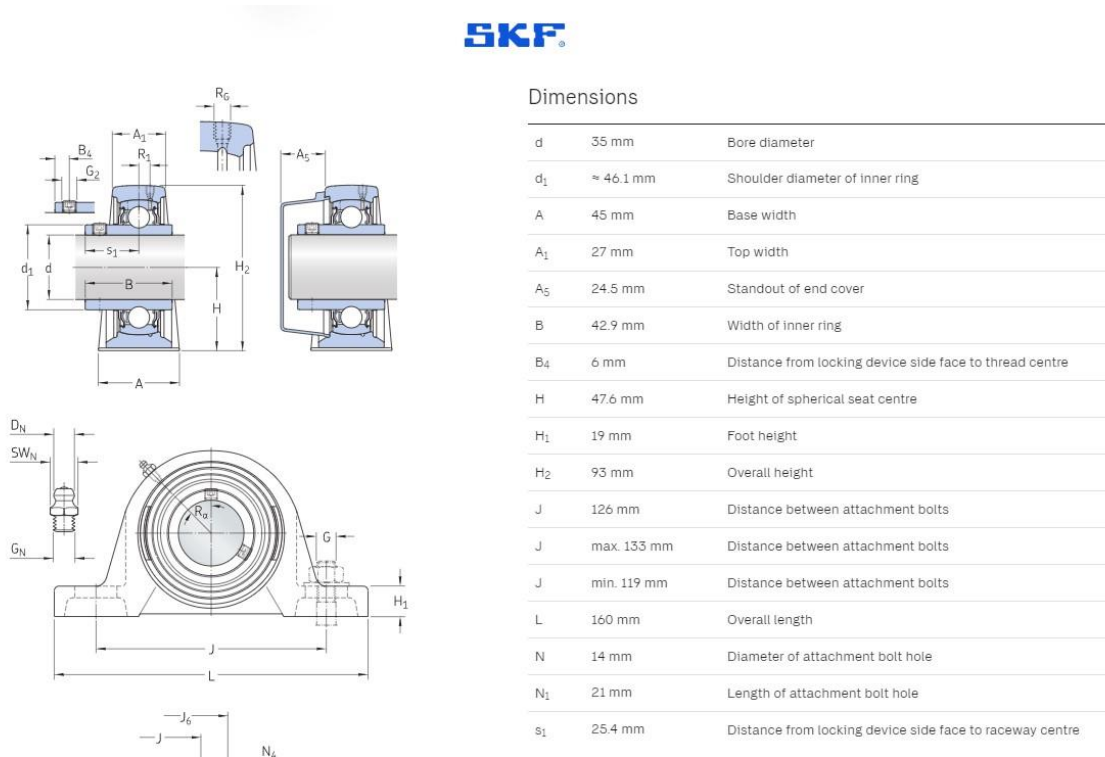
Pošto je omjer aksijalnog i radijalnog opterećenja manji od 0,15, $\frac{F_a}{F_r} = \frac{6,17}{46,86} = 0,13 < 0,15$, dinamičko ekvivalentno opterećenje za ovaj ležaj iznosi:

$$P = P_r = 46,8 \text{ N} \quad (147)$$

Kada se sve uvrsti, dinamička izdržljivost iznosi:

$$C_1 = 46,8 \cdot \left(\frac{60 \cdot 670,41 \cdot 6000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 291,38 \text{ N} \quad (148)$$

Odabran je ležaj SY 35 TF. Na slici 27. mogu se vidjeti njegovi podaci.



Slika 27. Ležaj SY 35 TF

Ležaj B opterećen je samo radijalno, a to opterećenje iznosi:

$$P = \sqrt{F_{Bv}^2 + F_{Bh}^2} = \sqrt{0,2^2 + (-1,88)^2} = 1,89 \text{ N} \quad (149)$$

Dinamička izdržljivost iznosi:

$$C_1 = 1,89 \cdot \left(\frac{60 \cdot 670,41 \cdot 6000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 45 \text{ N} \quad (150)$$

Odabran je isti ležaj kao za ležaj A, tj. SY 35 TF.

7.10. Proračun zavora

U sklopu se nalazi više zavora, ali proračunati će se samo oni najopterećeniji.

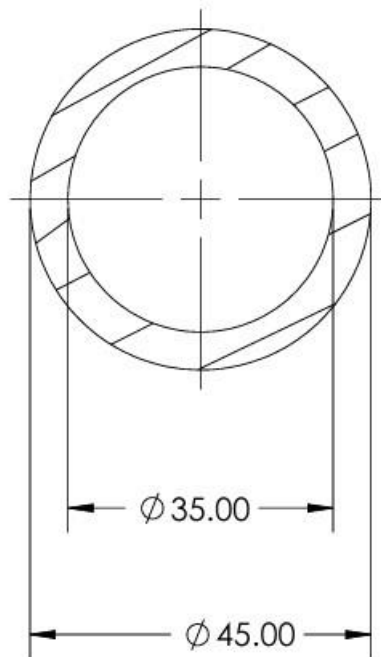
Zavar 1

Zavar 1 nalazi se na vratilu 3. Disk promjera $d_D = 80$ mm je zavaren za vratilo promjera $d_v = 35$ mm. Debljina diska je $b = 20$ mm. Moment na vratilu 3 iznosi $T_{V3} = 900$ Nmm.

Prema tome tangencijalna sila na disku iznosi:

$$F_{tD} = \frac{2 \cdot T_{V3}}{d_D} = \frac{2 \cdot 900}{80} = 22,5 \text{ N} \quad (151)$$

Na slici 28. može se vidjeti presjek zavora.



Slika 28. Presjek zavora 1

Da bismo proračunali naprezanje potrebno je prvo odrediti iduće podatke:

Površina zavora iznosi:

$$A_Z = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (45^2 - 35^2) = 628,32 \text{ mm}^2 \quad (152)$$

Geometrijske karakteristike zavora:

$$W_x = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{45^4 - 35^4}{45} = 5672,32 \text{ mm}^3 \quad (153)$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{45^4 - 35^4}{45} = 11344,64 \text{ mm}^3 \quad (154)$$

Naprezanja u zavaru iznose:

$$\sigma_s = \frac{F_{tD} \cdot \frac{b}{2}}{W_x} = \frac{22,5 \cdot \frac{20}{2}}{5672,32} = 0,04 \text{ N/mm}^2 \quad (155)$$

$$\tau_{uvijanije} = \frac{F_{tD} \cdot \frac{d_D}{2}}{W_p} = \frac{22,5 \cdot \frac{80}{2}}{11344,64} = 0,08 \text{ N/mm}^2 \quad (156)$$

$$\tau_{smik} = \frac{F_{tD}}{\frac{A_z}{2}} = \frac{22,5}{\frac{628,32}{2}} = 0,07 \text{ N/mm}^2 \quad (157)$$

$$\tau = \tau_{uvijanije} + \tau_{smik} = 0,08 + 0,07 = 0,15 \text{ N/mm}^2 \quad (158)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0,04^2 + 3 \cdot 0,15^2} = 0,26 \text{ N/mm}^2 \quad (159)$$

Prema [13] dopušteno naprezanje za pogonsku grupu B4, čisto naizmjenično opterećenje i materijal spoja St 37-2 iznosi 90 N/mm².

Kako je:

$$\sigma_{red} = 0,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{dop} = 90 \text{ N/mm}^2$$

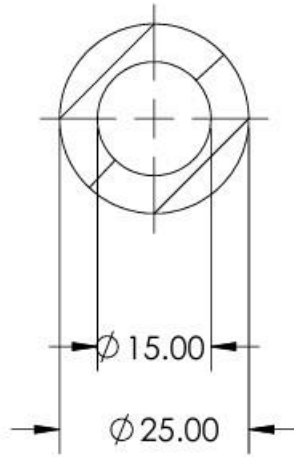
Zavar 1 zadovoljava.

Zavar 2

Zavar 2 nalazi se na spoju šipke za već spomenuti disk. Promjer šipke je $d_s = 15 \text{ mm}$, a njezina duljina je $l = 25 \text{ mm}$. Kako se zavar nalazi na istom vratilu, moment ostaje isti. Prema tome tangencijalna sila na šipci iznosi:

$$F_{tš} = \frac{2 \cdot T_{V3}}{d_s} = \frac{2 \cdot 900}{15} = 120 \text{ N} \quad (160)$$

Na slici 29. može se vidjeti presjek zavara 2.



Slika 29. Presjek zavar 2

Da bismo proračunali naprezanje potrebno je prvo odrediti iduće podatke:

Površina zavara iznosi:

$$A_z = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(25^2 - 15^2) = 314,16 \text{ mm}^2 \quad (161)$$

Geometrijske karakteristike zavara:

$$W_x = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{25^4 - 15^4}{25} = 1335,18 \text{ mm}^3 \quad (162)$$

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{25^4 - 15^4}{25} = 2670,35 \text{ mm}^3 \quad (163)$$

Naprezanja u zavaru iznose:

$$\sigma_s = \frac{F_{tš} \cdot \frac{l}{2}}{W_x} = \frac{120 \cdot \frac{25}{2}}{1335,18} = 1,12 \text{ N/mm}^2 \quad (164)$$

$$\tau_{uvijanje} = \frac{F_{tD} \cdot \frac{d_D}{2}}{W_p} = \frac{120 \cdot \frac{80}{2}}{2670,35} = 1,78 \text{ N/mm}^2 \quad (165)$$

$$\tau_{smik} = \frac{F_{tD}}{\frac{A_z}{2}} = \frac{120}{\frac{314,16}{2}} = 0,76 \text{ N/mm}^2 \quad (166)$$

$$\tau = \tau_{uvijanje} + \tau_{smik} = 1,78 + 0,76 = 2,54 \text{ N/mm}^2 \quad (167)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{1,12^2 + 3 \cdot 2,54^2} = 4,54 \text{ N/mm}^2 \quad (168)$$

Prema [13] dopušteno naprezanje za pogonsku grupu B4, čisto naizmjenično opterećenje i materijal spoja St 37-2 iznosi 90 N/mm^2 .

Kako je:

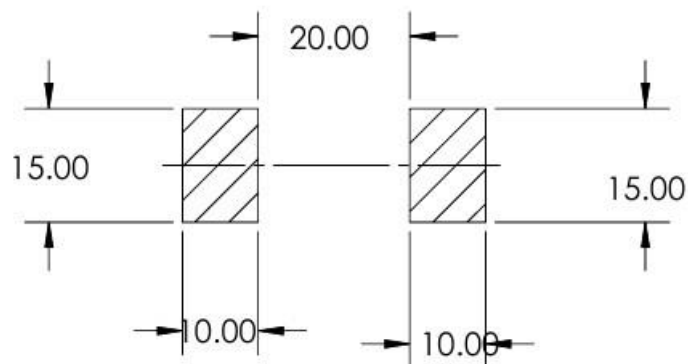
$$\sigma_{red} = 4,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{dop} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Zavar 2 zadovoljava.

Zavar 3

Zavar 3 se nalazi na nosaču donjih noževa za koji je zavaren pravokutni profil koji pretvara rotaciju u translaciju.

Na slici 30. može se vidjeti presjek zavora.



Slika 30. Presjek zavora 3

Da bismo proračunali naprežanje potrebno je prvo odrediti iduće podatke:

Površina zavora iznosi:

$$A_Z = 2 \cdot a \cdot b = 2 \cdot 10 \cdot 15 = 300 \text{ mm}^2 \quad (169)$$

Geometrijske karakteristike zavora:

$$W_x = \frac{b_1 \cdot h_1^3 - b_2 \cdot h_2^3}{12 \cdot z} = \frac{15 \cdot 40^3 - 15 \cdot 20^3}{12 \cdot 7,5} = 9333,33 \text{ mm}^3 \quad (170)$$

Naprežanja u zavaru iznose:

$$\sigma_s = \frac{F_{nož} \cdot l}{W_x} = \frac{35 \cdot 100}{9333,33} = 0,38 \text{ N/mm}^2 \quad (171)$$

$$\tau_{smik} = \frac{F_{nož}}{A_Z} = \frac{35}{300} = 0,12 \text{ N/mm}^2 \quad (172)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0,38^2 + 3 \cdot 0,12^2} = 0,43 \text{ N/mm}^2 \quad (173)$$

Prema [13] dopušteno naprežanje za pogonsku grupu B4, čisto naizmjenično opterećenje i materijal spoja St 37-2 iznosi 90 N/mm².

Kako je:

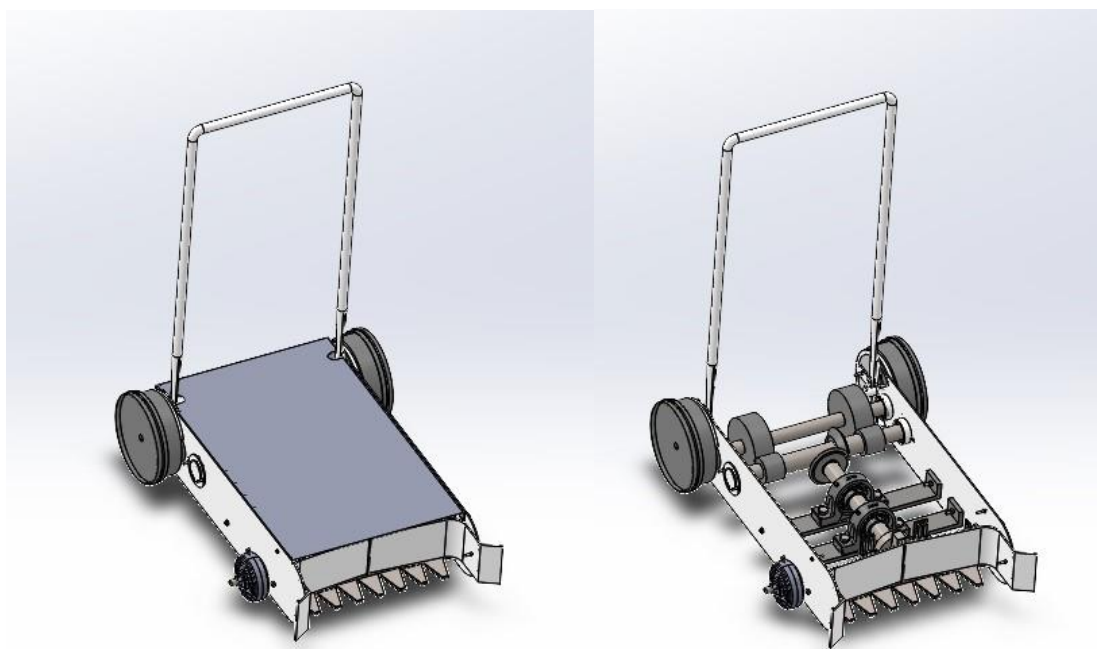
$$\sigma_{red} = 0,43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{dop} = 90 \text{ N/mm}^2$$

Zavar 3 zadovoljava.

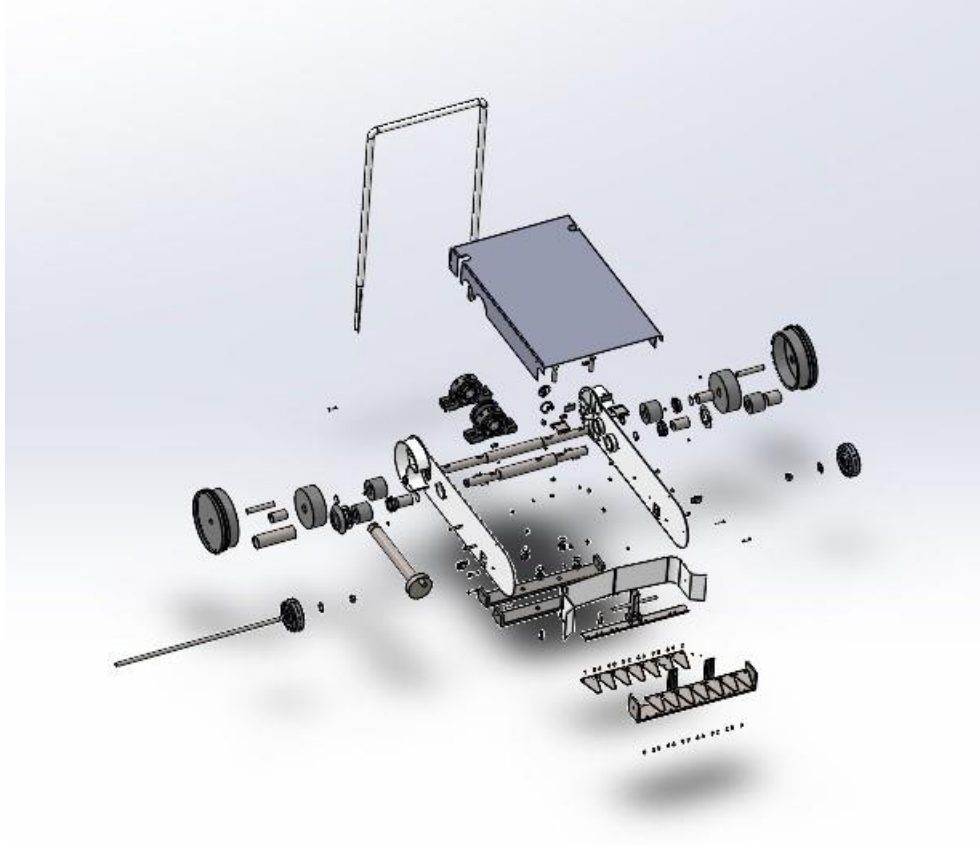
8. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu potreba za kosilicama je velika, a isto tako i njen izbor. Na tržištu se nalaze kosilice raznih veličina, pogona te različitih mehanizama za sječenje. U ovom radu prikazana su tri koncepta ručne strižne kosilice te konstrukcijska razrada jednog od njih. Kako na tržištu nema ručnih strižnih kosilica, za potrebe konceptata promatrala su se ručne cilindrične kosilice, strižne kosilice na pogon s motorom s unutarnjim izgaranjem te traktorske strižne kosilice. Razrađeni koncept ima dva stupnja multiplikacije te za okretanje osi za 90° koristi stožnike. Pomoću ekscentra, rotacija se pretvara u translaciju na principu škotskog jarma. Razrađeni koncept ima samo jedan oscilirajući nož. Proračunom su dobivene potrebne dimenzije raznih elemenata poput zupčanika, vratila te pera. Korištenjem materijala POM (acetal) za zupčanike koji ima visoku čvrstoću i otpornosti na habanje smanjena je težina proizvoda kao i proizvodnja buke te nema potrebe za podmazivanjem zupčanika. Na slici 31. može se vidjeti konačni model kosilice, a na slici 32. njezin „exploded view“.

Moguća su poboljšanja proizvoda. Korištenjem materijala manje gustoće, ali dovoljno dobrih svojstava smanjila bi se masa proizvoda. Također, uvođenjem još jednog oscilacijskog noža umjesto statičkog, povećala bi se efikasnost košnje, a proizvodnja buke bi se smanjila.



Slika 31. Model kosilice s poklopcem i bez poklopca



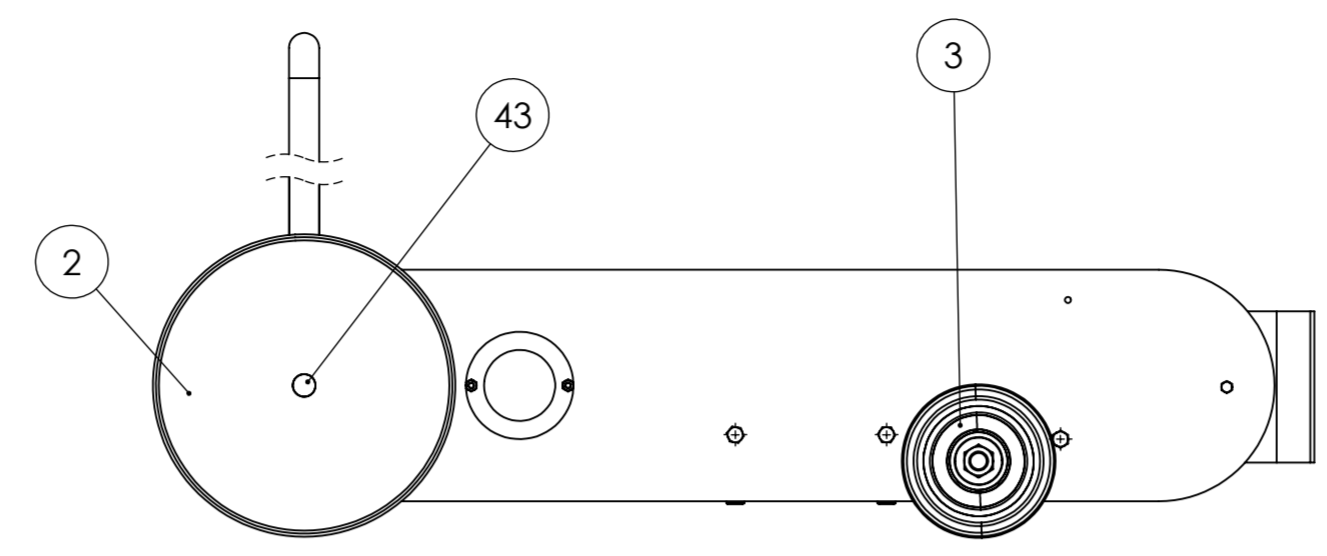
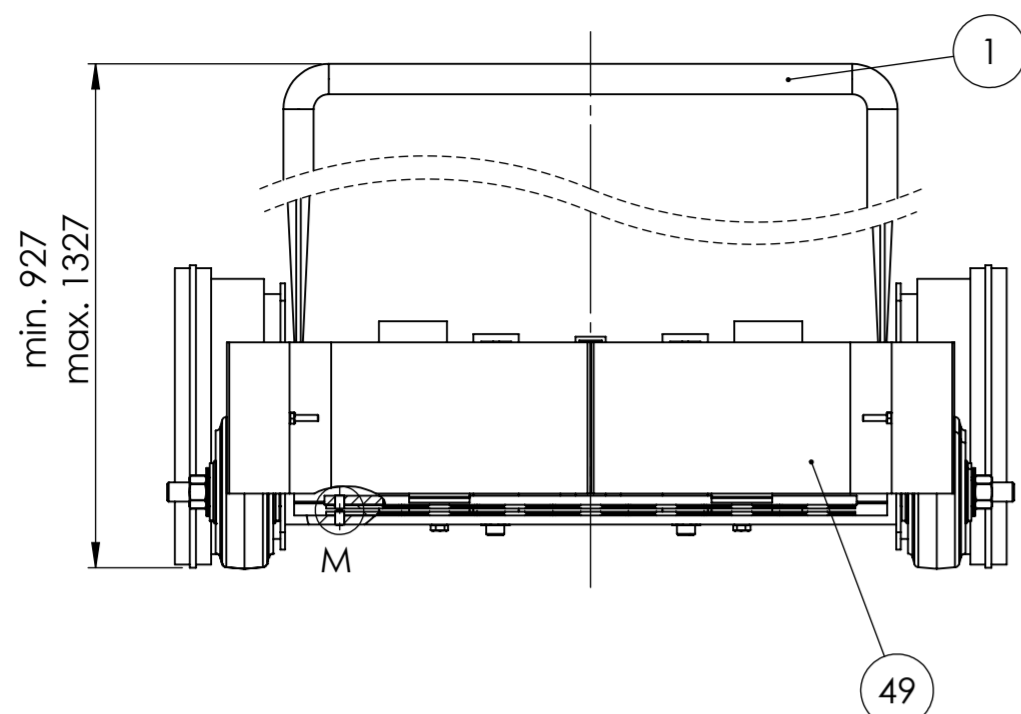
Slika 32. "Exploded view" modela kosilice

LITERATURA

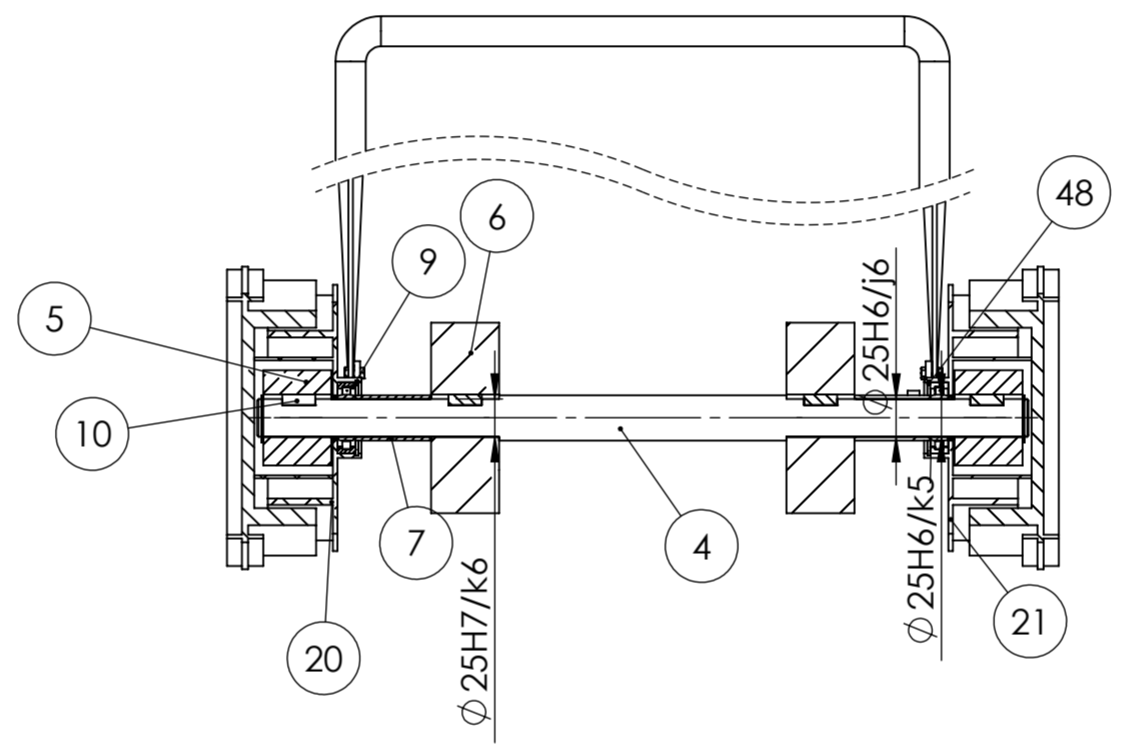
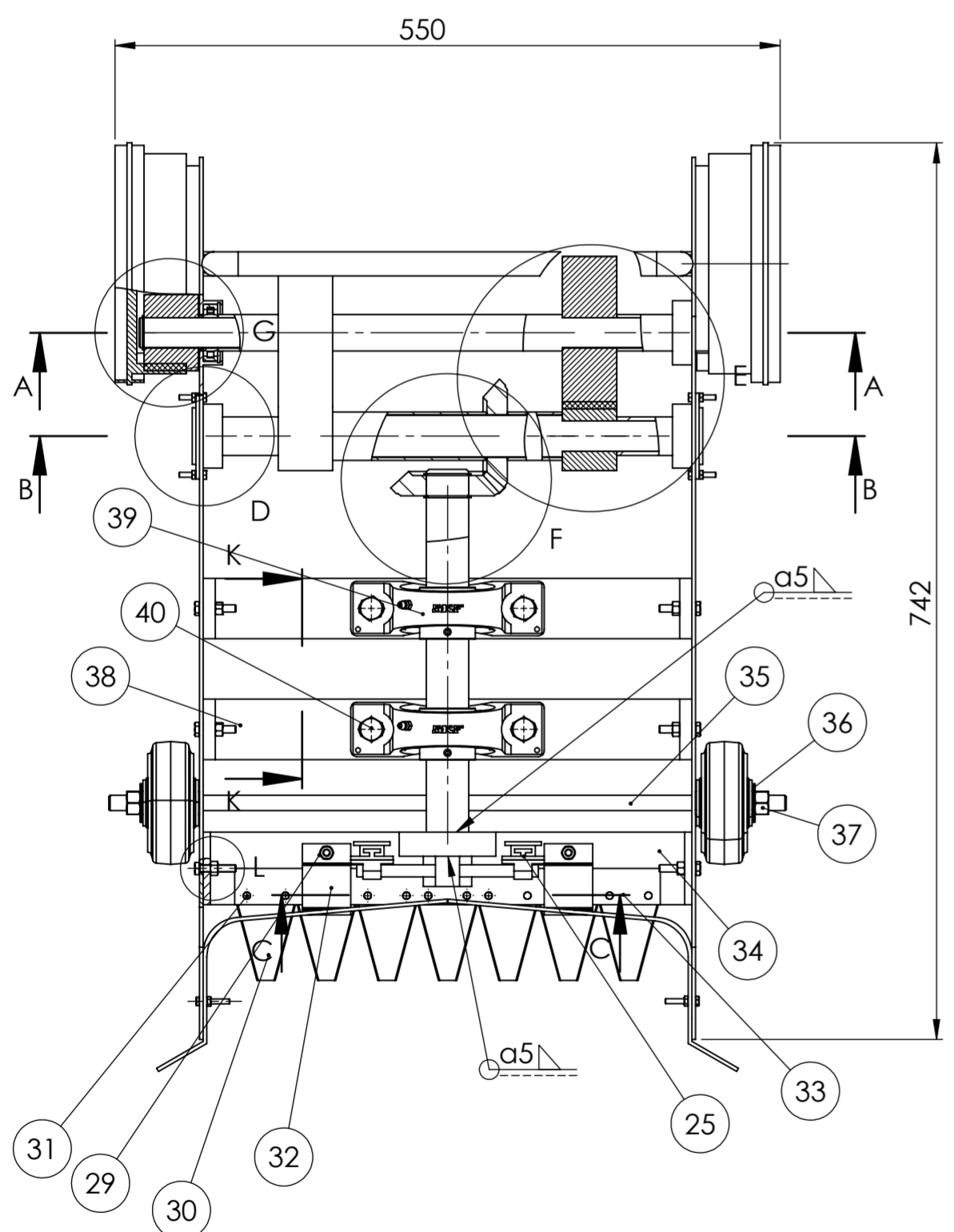
- [1] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [3] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Lawn_mower
- [5] <https://www.ealati.hr/proizvod/al-ko-strizna-kosilica-bm-875-iii-briggsstratton/>
- [6] <https://www.mall.hr/rucne-vretenaste-kosilice/gardena-comfort-rucna-cilindricna-kosilica-400-c-4022-20>
- [7] <https://temperament.hr/proizvod/fiskars-1015649-kosilica-s-bubnjem-stays-harp-plus-610-mm/>
- [8] Vučković K.: Vratila (podloge uz predavanja), FSB, 2020.
- [9] Vučković K.: Ležajevi (podloge uz predavanje), FSB, 2020.
- [10] Horvat Zvonimir i suradnici: Vratilo (Proračun), FSB
- [11] Opalić M., Rakamarić P.: Reduktor, FSB
- [12] Oberšmit E.: Ozubljenja i zupčanici, SNL, 1982.
- [13] Kranjčević N.: Elementi strojeva, FSB, 2012.
- [14] https://sh.wikipedia.org/wiki/Kilometar_na_sat
- [15] VDI 2736

PRILOZI

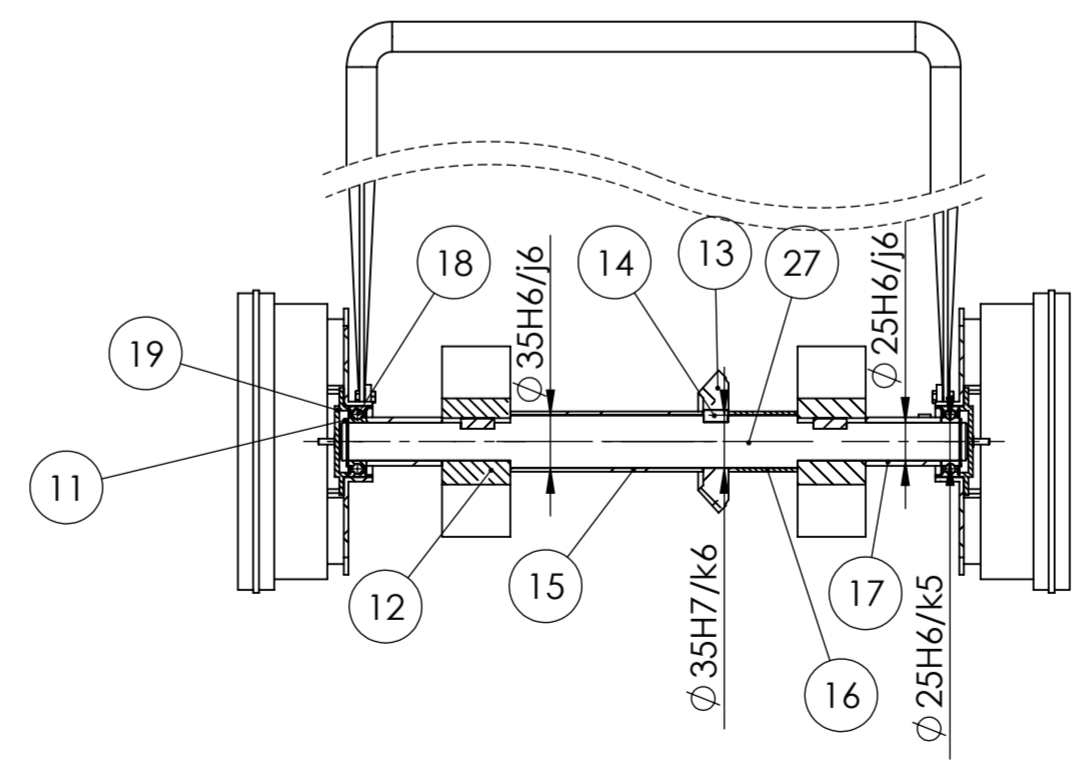
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



A-A
M 1:5



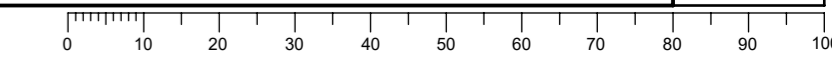
B-B
M 1:5



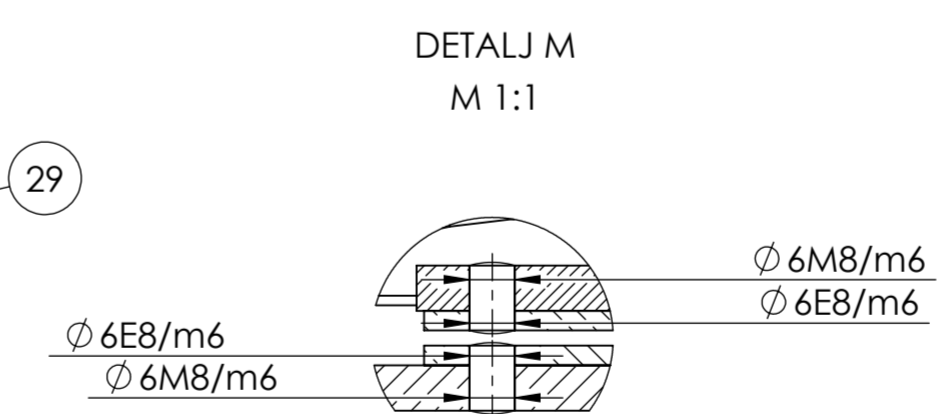
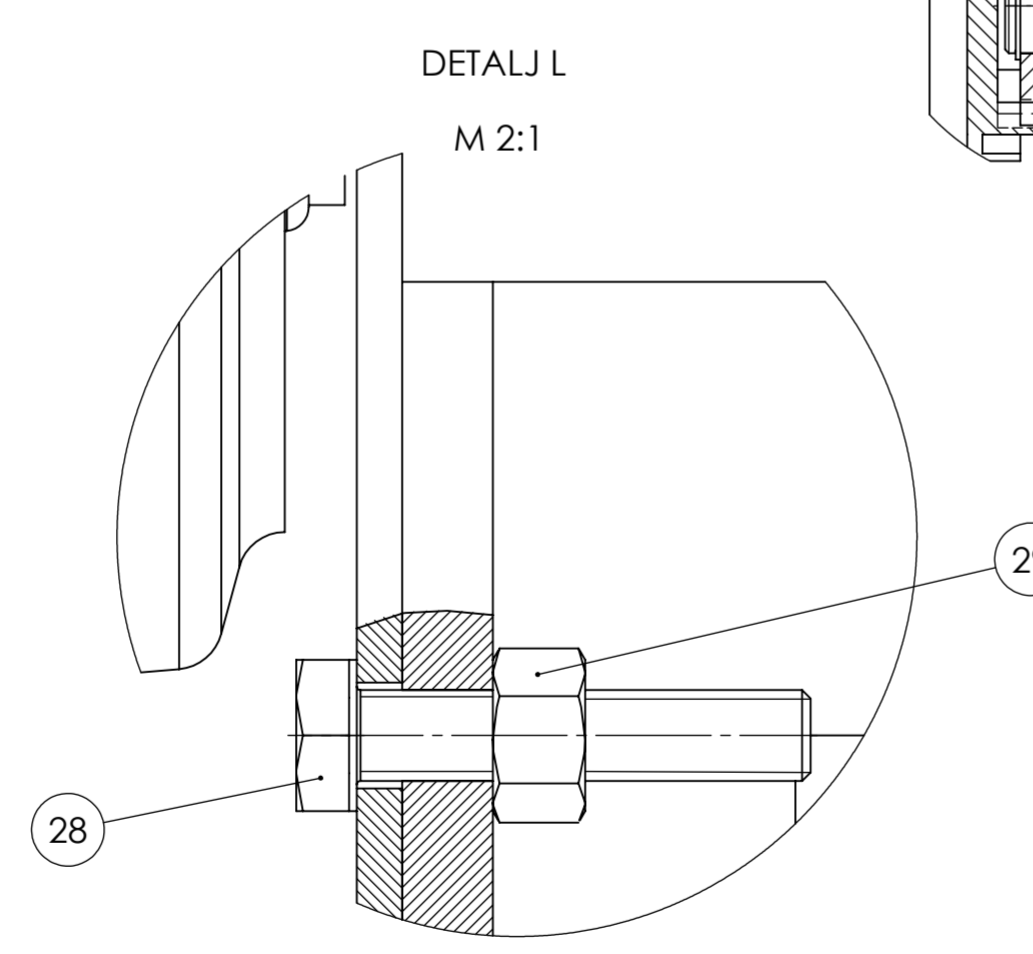
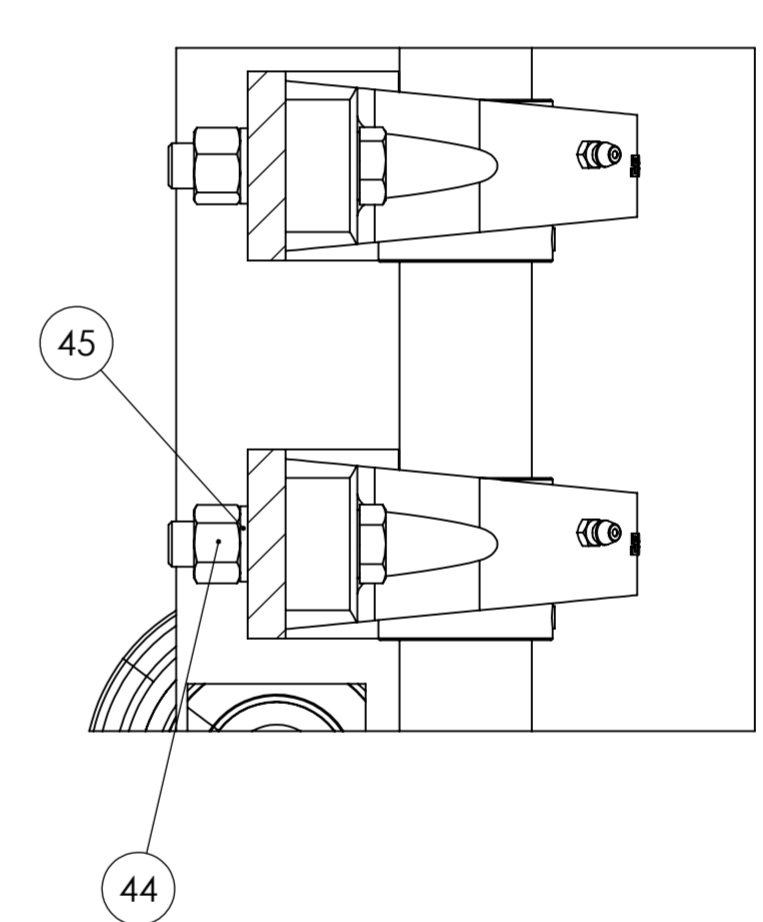
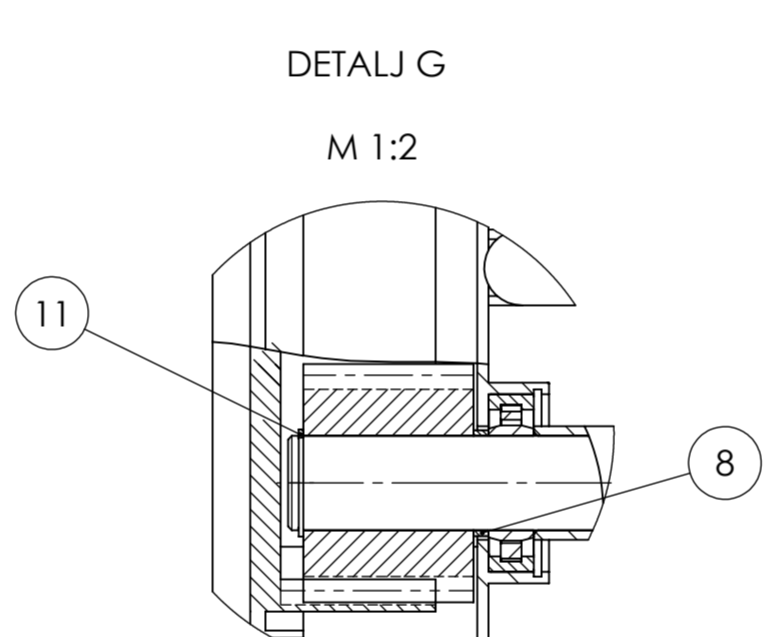
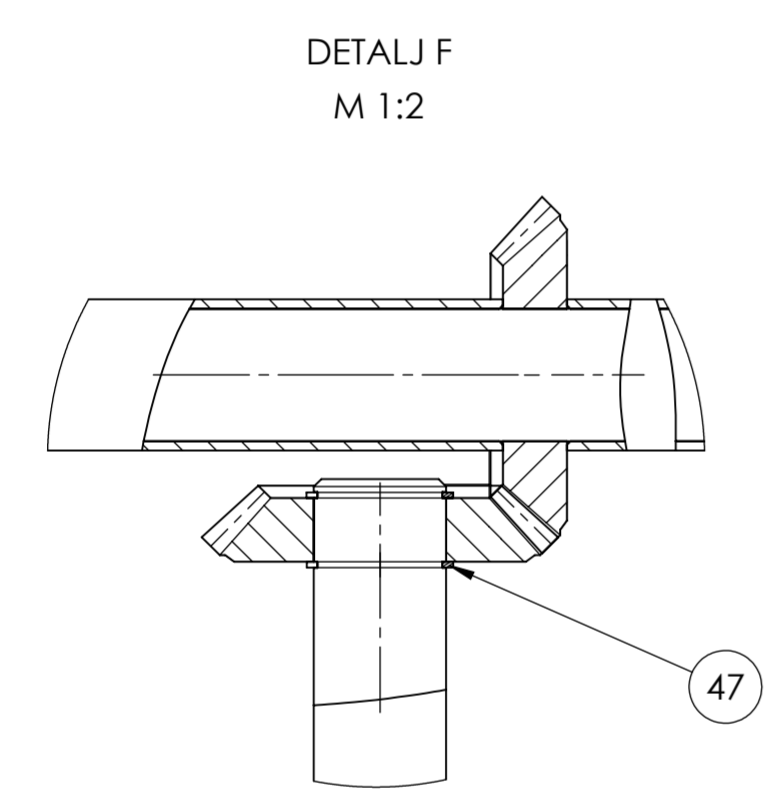
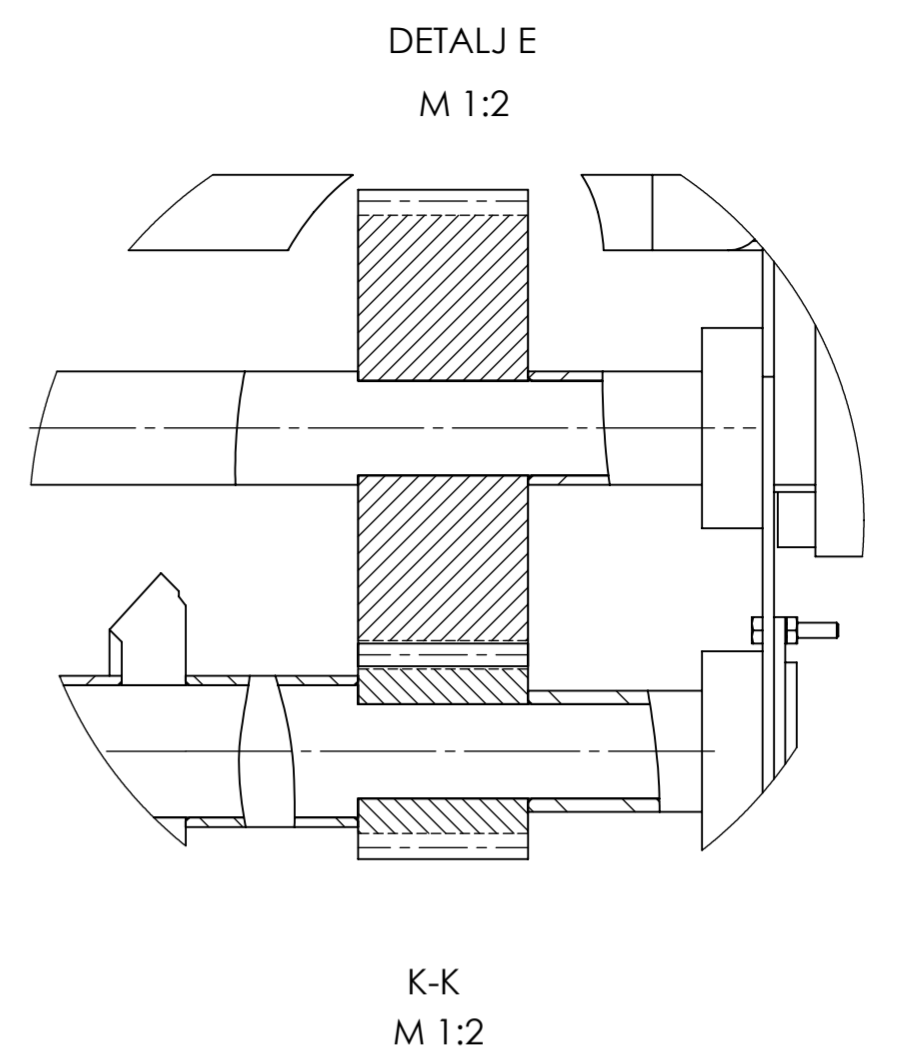
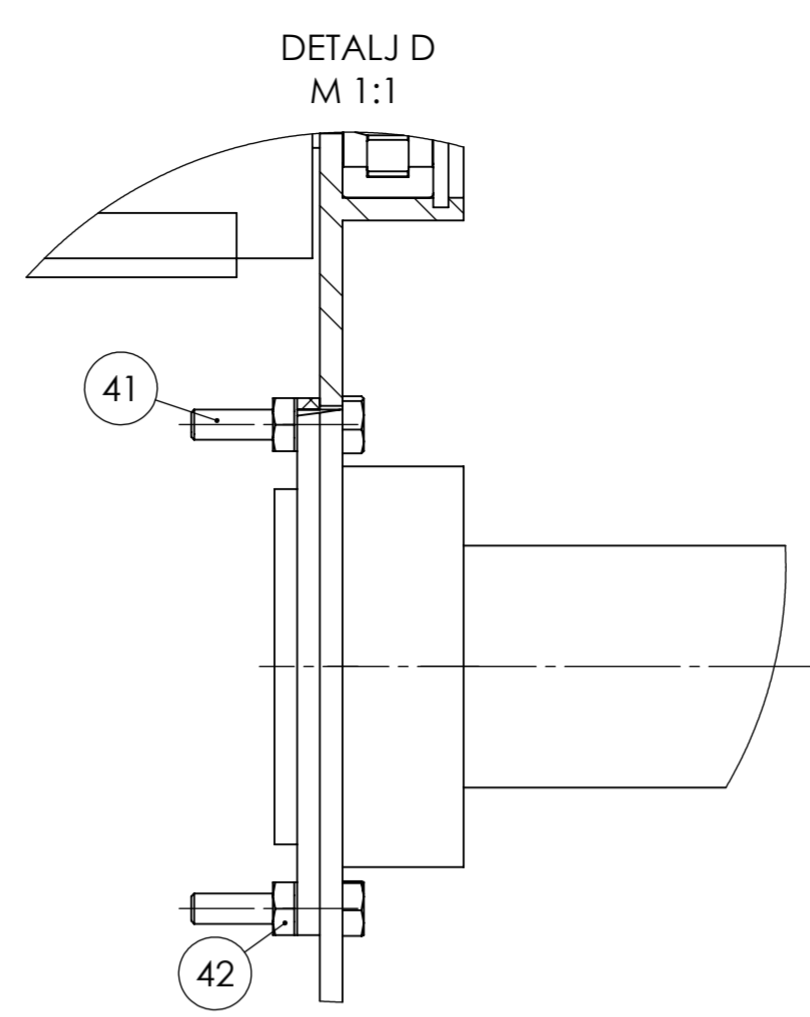
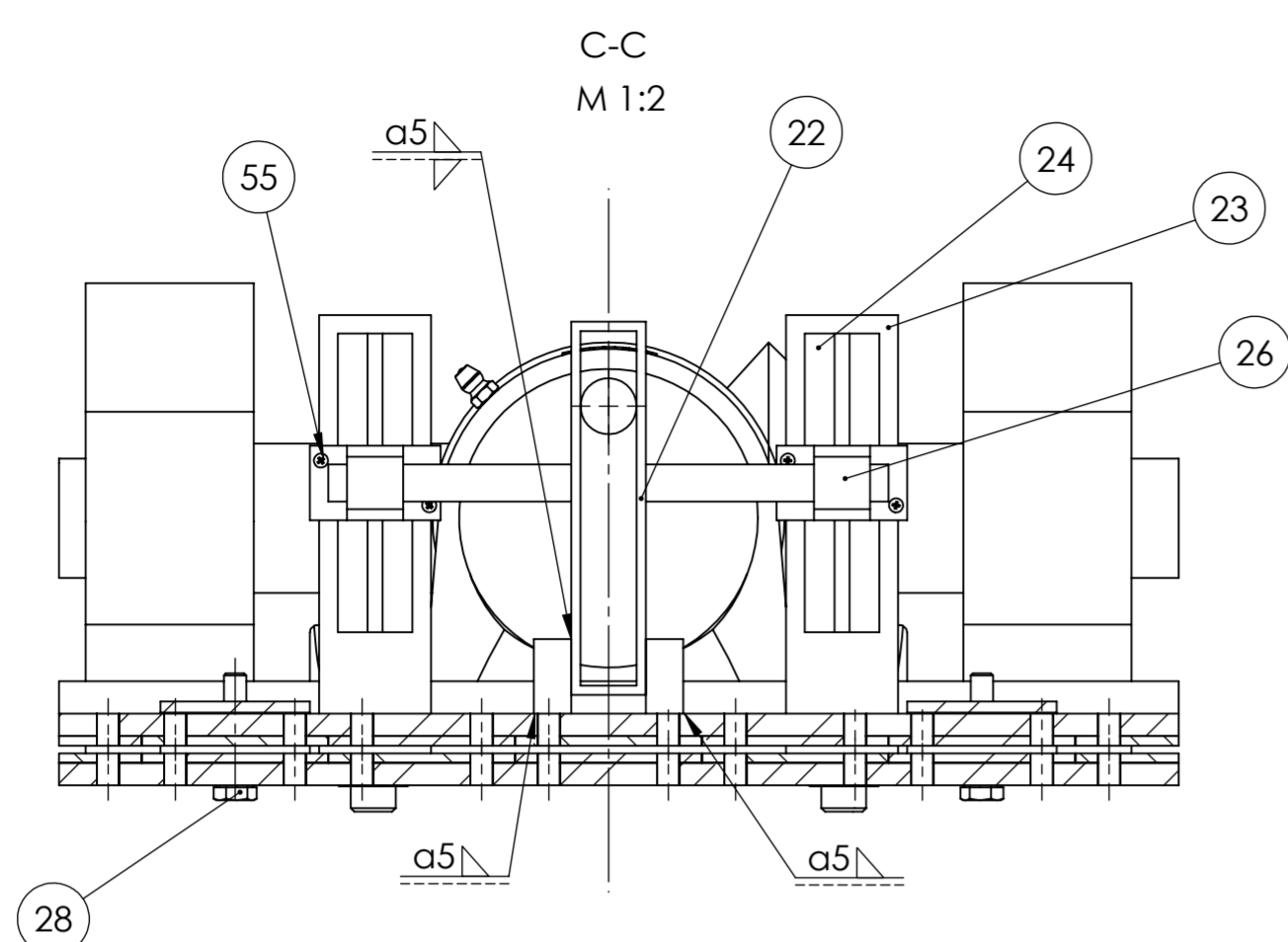
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
49	Usmjerivač	1	R-2024-27	ABS	130x100x3	0,2
48	Uskočnik 3	2	DIN 472	čelik	Seeger	0,002
47	Uskočnik 2	2	DIN 471	čelik	Seeger	0,001
46	M2x5	4	DIN 965	8.8	M2x5	0,003
45	Podloška 12	4	DIN 125A	čelik	M12	0,002
44	Matica M12	4	DIN 555	čelik	M12	0,006
43	Svornjak 2	2	DIN 7	čelik	Ø 15x90	0,1
42	Matica M4	10	DIN 555	čelik	M4	0,004
41	Vijak M4x20	10	DIN 931	8.8	M4x20	0,006
40	Vijak M12x50	4	DIN 931	8.8	M12x50	0,008
39	Ležaj SY 35 TF	2	SY 35 TF	-	SKF	1,2
38	Nosač ležaja	2	R-2024-26	čelik	484x50x10	1,6
37	Matica 1/2" x 7/16"	2	-	čelik	1/2" x 7/16"	0,004
36	Podloška 1/2"	2	-	čelik	1/2"	0,001
35	Osovina kotača	1	R-2024-25	čelik	Ø 12,7x560	0,5
34	Nosač donjih noževa	1	R-2024-24	čelik	536x60x6	1,4
33	Nosač gornjih noževa	1	R-2024-23	čelik	352x30x6	0,47
32	Vodilica noževa	2	R-2024-22	čelik	60x40x3	0,07
31	Svornjak 1	28	DIN 7	čelik	Ø 6x9	0,002
30	Nož	14	-	čelik	ESM 80x50x2	0,005
29	Matica M6	8	DIN 555	čelik	M6	0,005
28	Vijak M6x30	8	DIN 931	8.8	M6x30	0,007
27	Vratilo 2	1	R-2024-21	St 60 - 2	Ø 35x414	2,2
26	Ležaj šipke na okviru	2	R-2024-20	čelik	35x20x16	0,03
25	Gornji dio vodilice	2	R-2024-19	čelik	35x20x9	0,02
24	Donji dio vodilice	2	R-2024-18	čelik	80x20x9	0,08
23	Lim vodilice	2	R-2024-17	čelik	120x30x3	0,08
22	Okvir sa šipkama	1	R-2024-16	St 60 - 2	150x100x25	0,2
21	Čeljust - desna	1	R-2024-15	ABS	730x85x3	0,4
20	Čeljust - lijeva	1	R-2024-14	ABS	730x85x3	0,4
19	Poklopac ležaja	2	R-2024-13	ABS	Ø 71x9	0,02
18	Ležaj 6005	2	6005	-	SKF	0,2
17	Čahura 5	2	R-2024-12	St 42	Ø 32x Ø 25x50	0,12
16	Čahura 4	1	R-2024-11	St 42	Ø 40x Ø 35x46	0,12
15	Čahura 3	1	R-2024-10	St 42	Ø 40x Ø 35x128	0,29
14	Pero 2	2	DIN 6885	St 60 - 2	10x8x16	0,009
13	Štožnik	2	R-2024-09	POM	Ø 94,24x Ø 35x20	0,11
12	Zupčanik 4	2	R-2024-08	POM	Ø 57x Ø 25x45	0,13
11	Uskočnik 1	4	DIN 471	čelik	Seeger	0,0003
10	Pero 1	6	DIN 6885	St 60 - 2	7x8x22	0,008
9	Ležaj NU 1005	2	NU 1005	-	SKF	0,1
8	Čahura 2	2	R-2024-07	St 42	Ø 28x Ø 25x4	0,004
7	Čahura 1	2	R-2024-06	St 42	Ø 30x Ø 25x50	0,082
6	Zupčanik 3	2	R-2024-05	POM	Ø 126x45	0,75
5	Zupčanik 2	2	R-2024-04	POM	Ø 63x45	0,16
4	Vratilo 1	1	R-2024-03	St 60-2	Ø 30x510	2,2
3	Mali kotač	2	-	-	McMASTER-CARR	0,26
2	Veliki kotač i zupčanik 1	2	R-2024-02	POM	Ø 200x59	0,62
1	Ručka	1	R-2024-01	ABS	Ø 20x Ø 15x1200	0,28

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao		04.09.2024.	Natalia Baković		
Razradio		04.09.2024.	Natalia Baković		
Crtao		04.09.2024.	Natalia Baković		
Pregledao			Dragan Žeželj		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Φ35H7/k6	0,023 -0,018	Napomena:		R. N. broj:	
Φ35H6/j6	0,021 -0,011	Materijal:		Masa: 24,2 kg	
Φ25H7/k6	0,019 -0,015	Mjerilo originala		1:5	
Φ25H6/k5	0,011 -0,011	Naziv:		RUČNO POGONJENA STRIŽNA KOSILICA	
Φ6E8/m6	0,032 0,008	Materijal:		Materijal: 24,2 kg	
ΦM8/m6	-0,002 -0,028	Mjerilo originala		1:5	
10P9/h9	0,021 -0,051	Naziv:		RUČNO POGONJENA STRIŽNA KOSILICA	
8P9/h9	0,021 -0,051	Materijal:		Materijal: 24,2 kg	
Crtež broj: S-2024-00		Materijal:		Materijal: 24,2 kg	
Crtež broj: S-2024-00		Materijal:		Materijal: 24,2 kg	

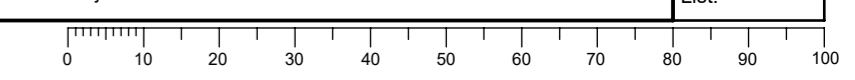
Φ6E8/m6	0,032 0,008
ΦM8/m6	-0,002 -0,028
10P9/h9	0,021 -0,051
8P9/h9	0,021 -0,051

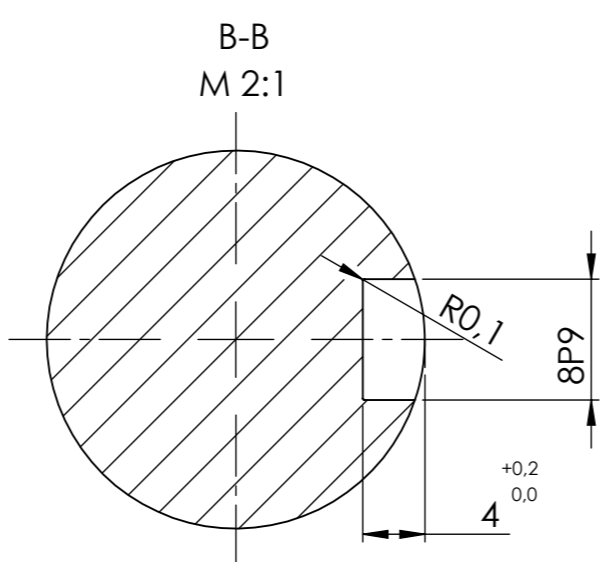
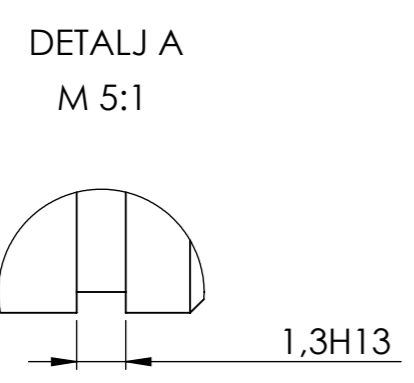
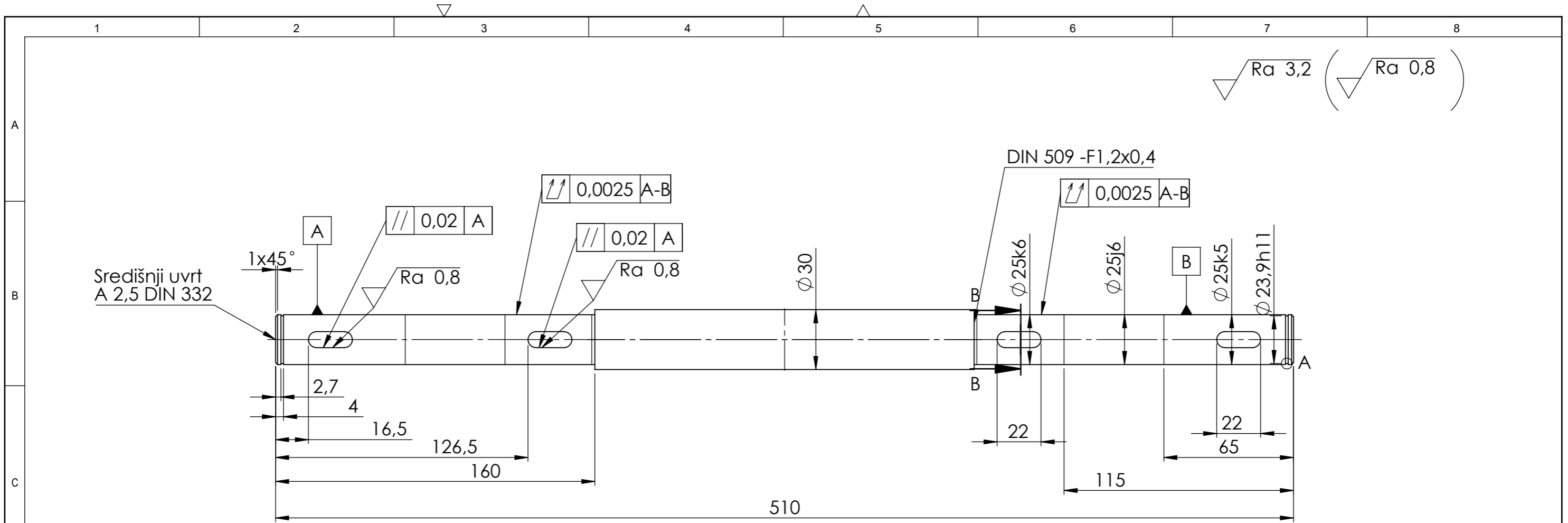


Design by CADLab



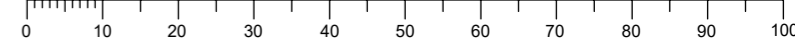
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao		04.09.2024.	Natalia Baković			
Razradio		04.09.2024.	Natalia Baković			
Crtao		04.09.2024.	Natalia Baković			
Pregledao			Dragan Žeželj			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
				R. N. broj:		
Napomena:					Kopija	
Materijal:		Masa: 24,2 kg			Format: A2 Listova: 2 List: 2	
Mjerilo originala		Naziv: RUČNO POGONJENA STRIŽNA KOSILICA				
1:5		Crtež broj: S-2024-00				



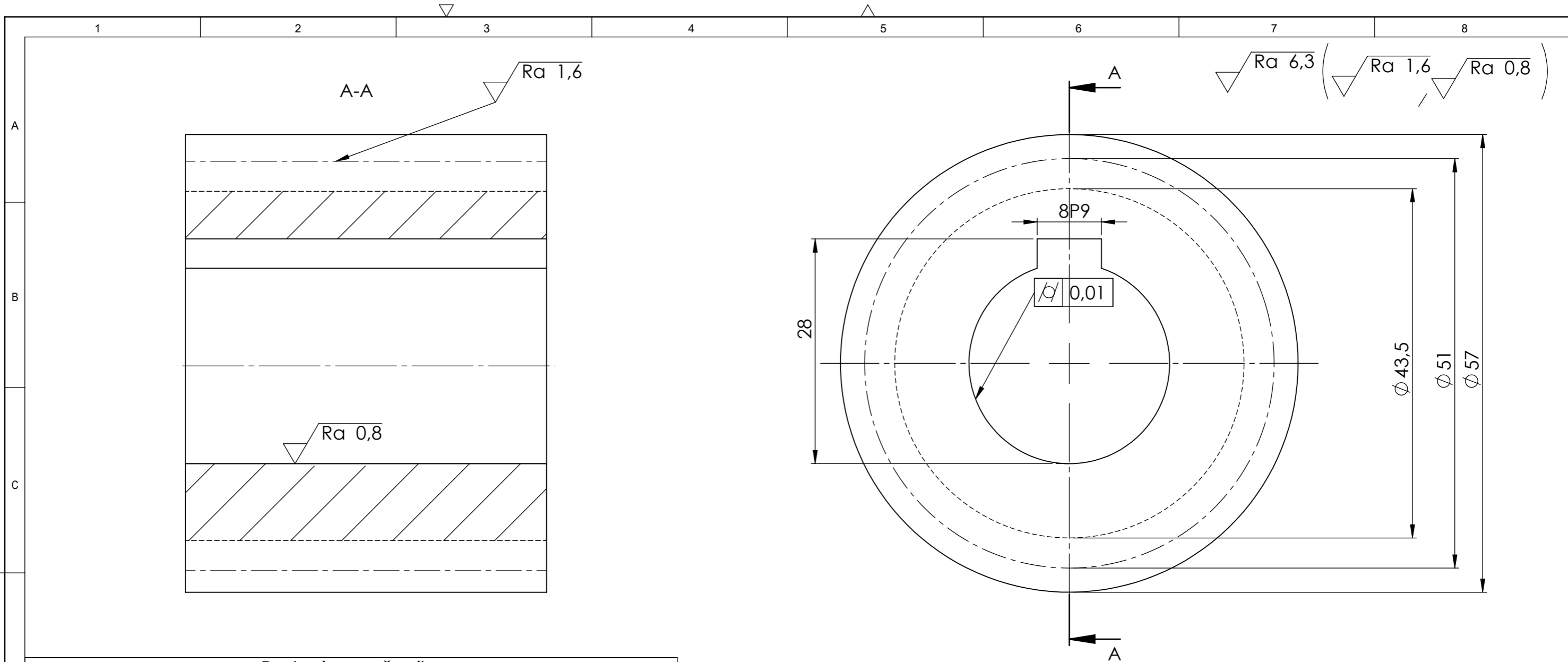


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	12.09.2024.	Natalia Baković	
Razradio	12.09.2024.	Natalia Baković	
Crtao	12.09.2024.	Natalia Baković	
Pregledao		Dragan Žeželj	

Objekt:		Objekt broj:	
		R. N. broj:	
Napomena:			Kopija
Materijal:		Masa:	
Naziv: Vratilo 1		Pozicija:	
Mjerilo originala: M 1:2		Format: A3	
Crtež broj: R-2024-03		Listova: 1	
		List: 1	



Design by CADLab



Podaci o zupčaniku

broj zuba	z_4	17
modul	m	3 mm
promjer diobene kružnice	d_4	51 mm
pomak profila	$x_1 m$	0 mm
promjer temeljne kružnice	d_{b1}	47,92 mm
promjer kinematske kružnice	d_{w1}	51 mm
broj zubi zupčanika u zahvatu	z_3	40
razmak osi vratila	a	85,5 mm
kut zahvatne linije	α_w	20°
broj okretaja	n_4	$673,41 \text{ min}^{-1}$

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	13.09.2024.	Natalia Baković		
Crtao	13.09.2024.	Natalia Baković		
Pregledao		Dragan Žeželj		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:	POM	Masa:	0,13	
Mjerilo originala	2:1	Naziv:	Zupčanik 4	
Crtež broj:			R-2024-08	Format: A3
				Listova: 1
				List: 1

