

POPRAVAK ELEKTRIČNOG BRODSKOG VITLA

Lišnić, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:646735>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Stručni prijediplomski studij Konstrukcijsko strojarstvo

MARIO LIŠNIĆ

ZAVRŠNI RAD

POPRAVAK ELEKTRIČNOG BRODSKOG VITLA

Split, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Prijediplomski stručni studij Konstrukcijsko strojarstvo

Predmet: Proizvodni postupci 1

Z A V R Š N I R A D

Kandidat: Mario Lišnić

Naslov rada: Popravak električnog broskog vitla

Mentor: Slaven Šitić

Split, rujan 2023.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE U SPLITU
Sveučilišni odjel za stručne studije

Studij: Konstrukcijsko strojarstvo
Predmet: Proizvodni postupci 1
Nastavnik: Slaven Šitić, viši predavač

ZADATAK

Kandidat: Mario Lišnić

Zadatak: Popravak električnog broskog vitla

U radu je potrebno:

- Općenito o brodskim vitlima;
- Problematika postojećeg vitla
- Mogućnost sanacije vitla
- Izrada zamjenskog dijela
- Provjera proračuna
- Toplinska obrada
- Montaža i puštanje u probni rad
- Zaključak

Sažetak

Ovaj završni rad istražuje problem popravka električnog brodskog vitla Quick S.p.A G1000. Kroz detaljnu analizu strukture vitla, dijagnozu kvara, izradu zamjenskog dijela za slomljeno vratilo te provjeru čvrstoće materijala i toplinsku obradu, prikazuje se važnost stručnog pristupa u rješavanju tehničkih problema.

Kvar vitla identificiran je kao rezultat trenutnog loma, a mogao je proizaći iz proizvodnih nepravilnosti ili dizajnerskih nedostataka. Izrađeno je novo vratilo koje zadovoljava potrebne tehničke standarde i sigurnosne uvjete, koristeći proračune sila, momenta i čvrstoće materijala.

Montaža zamjenskog vratila provedena je uspješno, uz toplinsku obradu radi poboljšanja mehaničkih karakteristika materijala, te je vitlo temeljito testirano kako bi se osiguralo njegovo ispravno funkcioniranje. Ovaj rad ilustrira važnost inženjerskog pristupa i stručnog znanja u procesu popravka tehničkih uređaja te naglašava suradnju stručnjaka iz područja konstrukcijskog strojarstva.

Kroz praktičan primjer popravka brodskog vitla, ovaj rad pruža uvid u proces rješavanja tehničkih problema te ističe važnost preciznosti i analitičkog razmišljanja u inženjerskim izazovima.

Ključne riječi: vitlo, cementiranje, vratilo, tokarenje, sidreno vitlo, toplinska obrada

Summary (Repair of a boat's electric winch)

This final thesis investigates the issue of repairing the electric ship winch Quick S.p.A G1000. Through a detailed analysis of the winch's structure, fault diagnosis, manufacturing of a replacement part for the broken shaft, and verification of material strength and heat treatment, it demonstrates the importance of an expert approach in solving technical problems.

The winch malfunction was identified as a result of sudden breakage, which could have arisen from manufacturing irregularities or design flaws. A new shaft was fabricated that meets the necessary technical standards and safety requirements, employing calculations of force, torque, and material strength.

The assembly of the replacement shaft was carried out successfully, with heat treatment applied to improve the mechanical characteristics of the material, and the winch was thoroughly tested to ensure its proper functioning. This thesis illustrates the significance of an engineering approach and expertise in the process of repairing technical devices, emphasizing the collaboration of experts in the field of mechanical engineering.

Through a practical example of repairing a ship's winch, this thesis provides insight into the process of solving technical problems and underscores the importance of precision and analytical thinking in engineering challenges.

Keywords: winch, carburizing, shaft, turning, anchor winch, heat treatment

SADRŽAJ

Sažetak	ii
Summary (Repair of a boat's electric winch).....	iii
1. Uvod.....	1
1.1. Električna sidrena vitla	2
1.2. Quick S.p.A G1000 sidreno vitlo	2
2. Dijagnosticiranje kvara	5
2.1. Vizualna inspekcija i rastavljanje vitla	5
2.2. Uklanjanje slomljenog vratila iz jezgre rotora	7
3. Kontrolni proračun čvrstoće vratila	10
3.1. Moment na vratilu	10
3.2. Sile na vratilu.....	13
3.3. Određivanje potrebne čvrstoće materijala	17
3.4. Određivanje potrebnog preklopa steznog spoja.....	20
4. Izrada novog vratila	21
4.1. Izbor materijala za izradu	21
4.2. Gruba izrada vratila	22
4.3. Toplinska obrada vratila	24
4.4. Završna obrada vratila	29
4.5. Prilagodba među zupčanika.....	30
5. Montaža i puštanje u pogon	32
6. Zaključak.....	33
Literatura	34
Prilozi	36

Popis slika

Slika 1.1-Ručno upravljano vitlo[1].....	1
Slika 1.2-Moderno ručno sidreno vitlo[2].....	1
Slika 1.3-Električno sidreno vitlo[3].....	2
Slika 1.4-Quick G1000 električno sidreno vitlo.....	3
Slika 1.5-Pločica sa serijskim brojem i modelom	3
Slika 2.1-Vitlo nakon uklonjenog poklopca.....	5
Slika 2.2-Zupčanik odvojen od vratila	6
Slika 2.3-Rotor elektromotora s odlomljenim rukavcem	6
Slika 2.4-Mjesto loma na pogonskom vratilu	7
Slika 2.5-Bušenje prednjeg rukavca ležaja	8
Slika 2.6-Tokarenje tvrdom pločicom.....	8
Slika 2.7-Istokarivanje unutarnjeg promjera rotora	9
Slika 3.1-Pogonski, gonjeni i među zupčanik.....	11
Slika 3.2-Oznake planetarnih prijenosnika[6].....	11
Slika 3.3-Izvedba planetarnog prijenosa[7]	12
Slika 3.4-Aksonometrijski prikaz sila na vratilo [8]	13
Slika 3.5-geometrijske karakteristike zupčanika[9]	14
Slika 3.6-Dimenzije vratila potrebne za proračun[10]	15
Slika 3.7-Reakcijske sile i dijagrami unutarnjih sila vratila[11]	16
Slika 3.8-Oblici zaobljenja prijelaza[13]	18
Slika 3.9-vrijednosti veličine bp [14].....	19
Slika 3.10-Kalkulator za izračun preklopa steznog spoja[15].....	20
Slika 4.1-Ponuda materijala kod prodavača [16]	21
Slika 4.2-WNMG tvrda pločica iz WiC [19]	23
Slika 4.3-Pločica za izradu utora [20]	23
Slika 4.4- Glodalo korišteno za izradu utora[21]	24
Slika 4.5-Novouzrađeno vratilo	24
Slika 4.6-Mjerenje tvrdoće komada	25
Slika 4.7-Vratila zaštićena glinom	26
Slika 4.8-Vratila u kutiji za cementiranje.....	26
Slika 4.9-hodogram toplinske obrade za Č.4321[22].....	27

Slika 4.10-Nisko temperaturno popuštanje vratila.....	28
Slika 4.11-Vratilo u posudi s uljem.....	29
Slika 4.12- Vratilo u posudi za popuštanje	29
Slika 4.13-Završna obrada jezgre rotora	30
Slika 4.14-Zupčanik prilagođen za novi ležaj.....	31
Slika 5.1-Sklopni nacrt vitla[23]	32

Popis tablica

Tablica 1.1-Tehničke karakteristike vitla [4]	4
Tablica 3.1-Dimenzije din 766 lanca[5].....	10
Tablica 3.2-efektivni faktor koncentracije naprezanja[12]	18
Tablica 4.1-Mehanička svojstva Č.4321 čelika[17].....	22
Tablica 4.2-kemijski sastav i oznake čelika [18]	22

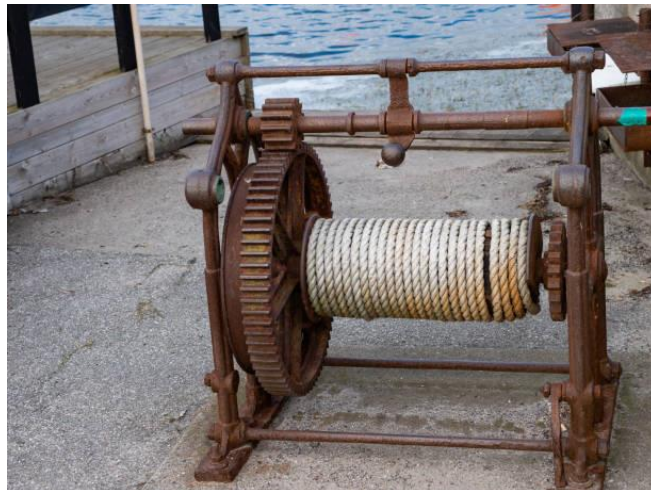
Popis oznaka

d	Promjer vratila, mm
m	Modul zupčanika, mm
d_a	Tjemeni promjer zupčanika, mm
d_1	Diobeni promjer zupčanika
F_t	Obodna sila, N
F_r	Radijalna sila, N
T	Moment uvijanja, Nmm
i	Prijenosni omjer
P	Snaga motora, W
ω	Kutna brzina, s^{-1}
$S\sigma$	Stupanj sigurnosti na savijanje

R_{-1s}	Dinamička čvrstoća na savijanje, MPa
β_{ks}	Efektivni faktor koncentracije naprezanja
b	Faktor stanja površine
σ_s	Naprezanje na savijanje, MPa
σ_a	Amplitudno naprezanje, MPa
σ_{min}	Minimalno naprezanje, MPa
σ_{max}	Maksimalno naprezanje, MPa
σ_{sr}	Srednje naprezanje, MPa
R_a	Površinska hrapavost
W_p	Polarni moment otpora

1. Uvod

Brodsko (sidreno) vitlo je uređaj koji podiže sidro broda i njegov lanac ili užu namata na bubanj. Prema izvoru snage može biti ručni, električni, hidraulični ili motorni. U povijesti su korištena ručna vitla koja su uz pomoć prijenosa svladavala težinu sidra, primjer takvog ručnog vitla prikazan je na slici 1.1.



Slika 1.1-Ručno upravljano vitlo[1]

Iako sadašnjost nudi brojne mogućnosti pokretanja, i danas se ručno pokretana vitla mogu pronaći u primjeni, ali se uglavnom koriste za manje brodove s malim masama sidra (slika 1.2).



Slika 1.2-Moderno ručno sidreno vitlo[2]

1.1. Električna sidrena vitla

Električna vitla koriste izvor električne energije (najčešće istosmjerni) kako bi podizala sidra. Spuštanje sidra se može obavljati radom motora ili u slobodnom padu uz reguliranje brzine ručnom kočnicom. Električna vitla su pogodna za manje brodove pogonjene motorom na unutarnje izgaranje pokretane elektropokretačem jer takva već nude izvor istosmjerne električne energije. Na slici 1.3 je prikazano vitlo s ugrađenim bubnjem za sidreno uže.



Slika 1.3-Električno sidreno vitlo[3]

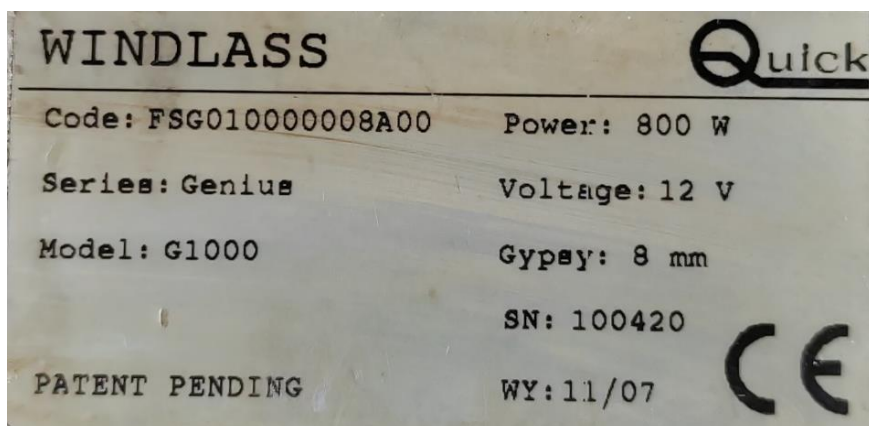
Električna vitla ne zahtijevaju poseban izvor energije, ne zauzimaju velik prostor i potreba održavanja je minimalna te su kao takva optimalan i ekonomičan izbor za manje brodove.

1.2. Quick S.p.A G1000 sidreno vitlo

Sidreno vitlo koje je razmatrano u radu je proizvedeno od strane talijanskog proizvođača "Quick S.p.A" sa sjedištem u Ravenni, Italija. Odabrani model prikazan je na slici 1.4, a njegova pločica sa serijskim brojem, modelom vitla i pripadnim karakteristikama na slici 1.5.



Slika 1.4-Quick G1000 električno sidreno vitlo



Slika 1.5-Pločica sa serijskim brojem i modelom

Iako je iz slike 1.5 vidljiva snaga elektromotora, kao i njegov nominalni napon, te informacije nisu dovoljne za montažu ili popravak vitla. Ostale tehničke karakteristike vitla su prikazane u tablici 1.1.

Tablica 1.1-Tehničke karakteristike vitla [4]

Snaga motora (W)	800
Nominalni napon motora (V)	12
Maksimalno radno opterećenje (kg)	350
Struja pri maksimalnom opterećenju (A)	96
Maksimalna brzina lanca pri radnom opterećenju (m/s)	0,3
Presjek žice za dovod napona (mm ²)	16
Prekidna struja osigurača (A)	80
Debljina palube (mm)	20-40
Veličina lanca DIN766 (mm)	8

2. Dijagnosticiranje kvara

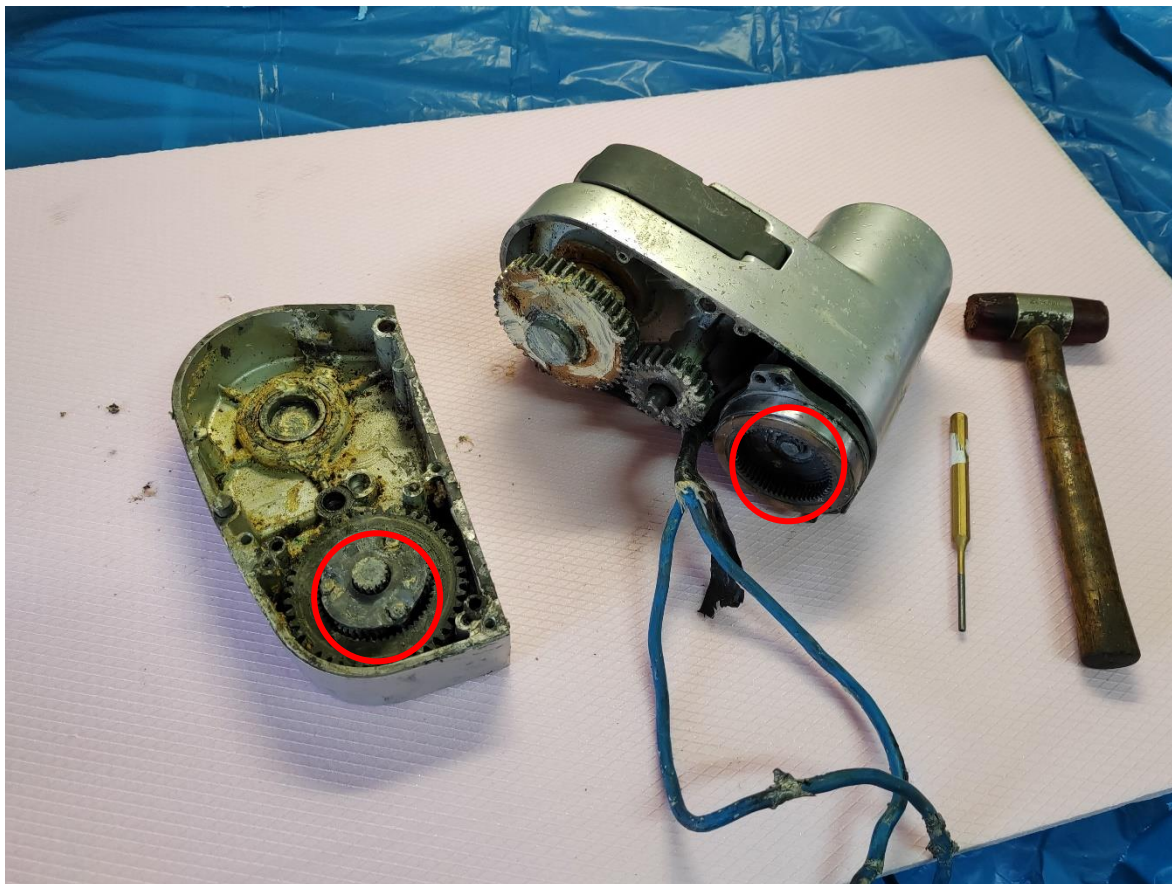
2.1. Vizualna inspekcija i rastavljanje vitla

Prema vizualnoj inspekciji s vanjske strane nije pronađen nikakav znak fizičkog oštećenja te je vitlo uklonjeno kako bi se lakše rastavilo. Puštanjem vitla u rad je uočeno da motor radi, ali na izlaznom vratilu nema okretnog momenta. Zatim je uklonjen poklopac s vitla kako bi se pristupilo mehaničkom prijenosu (slika 2.1).



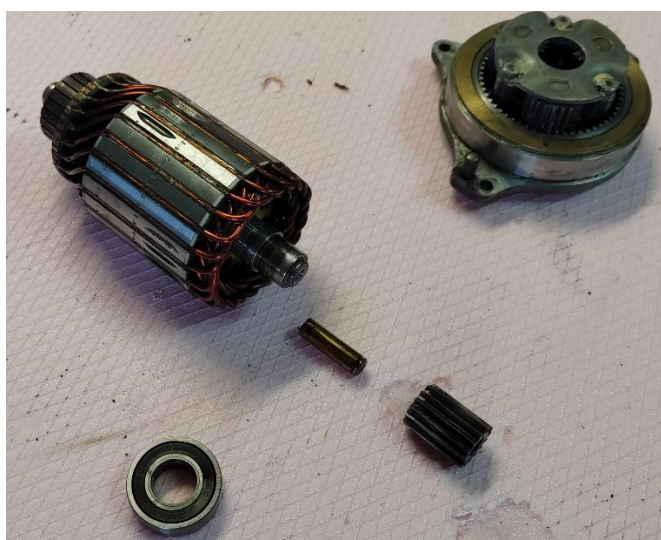
Slika 2.1-Vitlo nakon uklonjenog poklopca

Odmah je uočeno da sunčani zupčanic planetarnog prijenosa nije spojen na vratilo elektromotora već je zajedno s vodicom i planetarnim zupčanicima ostao u vijencu planetarnog prijenosa. (slika 2.2)



Slika 2.2-Zupčanik odvojen od vratila

Daljnjom inspekcijom je uočen lom vratila elektromotora na mjestu prijelaza s rukavca zupčanika na rukavac ležaja (slika 2.3 i 2.4)



Slika 2.3-Rotor elektromotora s odlomljenim rukavcem



Slika 2.4-Mjesto loma na pogonskom vratilu

Na mjestu loma nema tragova zamornog loma te se smatra da je lom trenutani. Lom je mogao nastati zbog greške u proizvodnji (zastajanje alata na mjestu prijelaza, zapinjanje strugotine između alata i obratka i sl.), zbog preopterećenja vratila (neispravnog osigurača) ili zbog greške u dizajnu (neadekvatno dizajniran ukop ili zaobljenje na mjestu prijelaza).

2.2. Uklanjanje slomljenog vratila iz jezgre rotora

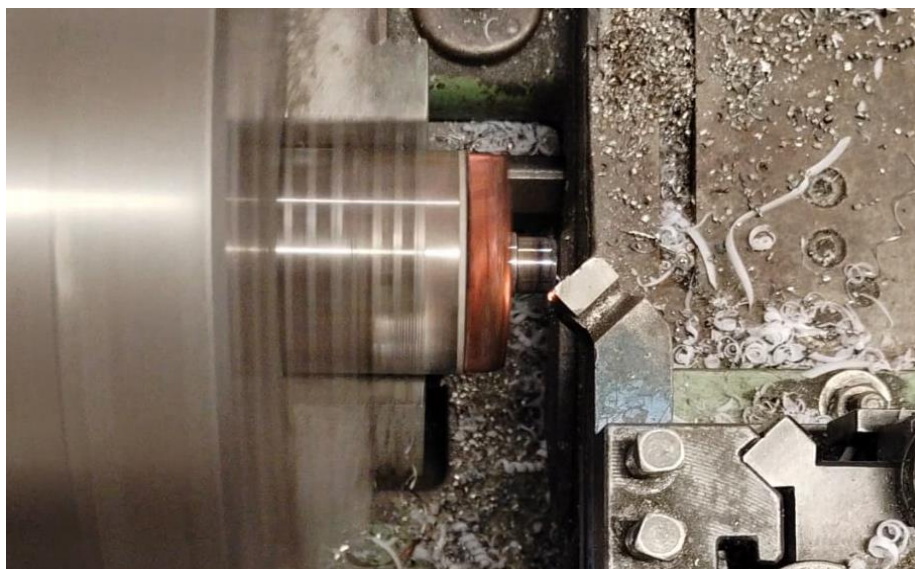
Vratilo je u jezgri rotora osigurano nerastavljivim steznim spojem te su opcije uklanjanja istiskivanje ili izbušivanje i istokarivanje. Kako ne bi došlo do oštećenja ili razdvajanja lamela rotora istiskivanje je izuzeto kao opcija uklanjanja te je odrađeno mjerenje vratila u svrhu izrade novog, a nakon toga je rotor učvršćen u steznu glavu tokarskog stroja. Vratilo je u početku probušeno cijelom duljinom svrdlom od alatnog čelika promjera 12 mm. Time je stražnji rukavac za ležaj u potpunosti odstranjen.

Zatim je izvršeno bušenje prednjeg rukavca promjera 15 mm (slika 2.5), koje zbog visoke tvrdoće na površini vratila, svrdlo nije u mogućnosti prodrijeti te dolazi do vibracija popraćenih visokim tonom škripanja.



Slika 2.5-Bušenje prednjeg rukavca ležaja

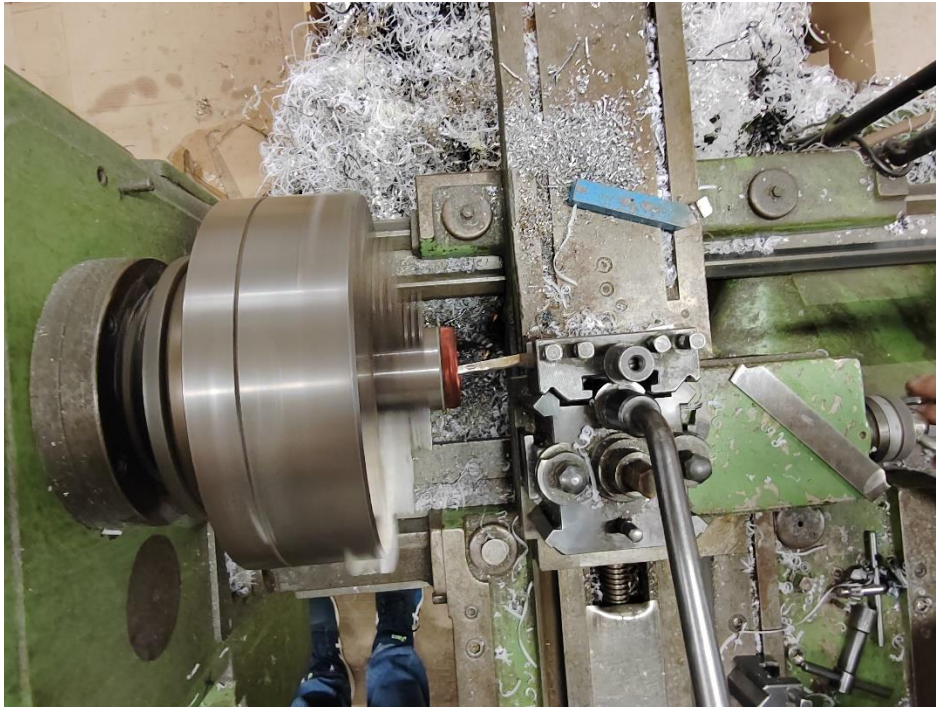
Zbog tvrdoće rukavca alati od alatnog i brzoreznog čelika su se za zadanu svrhu pokazali neprimjereni te je za odstranjivanje tog dijela odabrana pločica od tvrdog metala (volframov karbid) (slika 2.6).



Slika 2.6-Tokarenje tvrdom pločicom

Zbog visoke tvrdoće na površini rukavaca, a dobre žilavosti u jezgri vratila. Zaključeno je da je vratilo izrađeno od čelika za cementiranje, te da su cementirani samo rukavci prednjeg ležaja i zupčanika.

Konačno, dio vratila koji je utisnut u jezgru rotora je izbušen svrdlom promjera 16mm te je ostatak istokaren nožem od brzoreznog čelika za unutarnje tokarenje. (slika 2.7)



Slika 2.7-Istokarivanje unutarnjeg promjera rotora

3. Kontrolni proračun čvrstoće vratila

3.1. Moment na vratilu

Tokom provjere elektromotora na njemu nije pronađena nikakva naljepnica koja definira moment ili brzinu vrtnje elektromotora, stoga je moment potrebno odrediti preko brzine podizanja lanca i prijenosnog omjera.

Iz tablice 1.1 brzina lanca je 0.3 m/s , a bubanj za namatanje ima 5 utora za karike lanca. Lanac je standardan. DIN 766 8 mm, te se njegov korak može očitati iz tablice 3.1.

Tablica 3.1-Dimenzije DIN 766 lanca[5]

d		Pitch		
		t		
size	Per. Dev.		Permissible deviations	
4	±0,2	16	+0,3	-0,2
5	±0,2	18,5	+0,4	-0,2
6	±0,2	18,5	+0,4	-0,2
7	±0,3	22	+0,4	-0,2
8	±0,3	24	+0,4	-0,2
9	±0,4	27	+0,5	-0,3
10	±0,4	28	+0,5	-0,3
11	±0,4	31	+0,5	-0,3

Iz tablice za $d=8$ mm se iščitava korak $t=24$ mm

Iz zadanih veličina dobiven je izraz za brzinu izlaznog vratila:

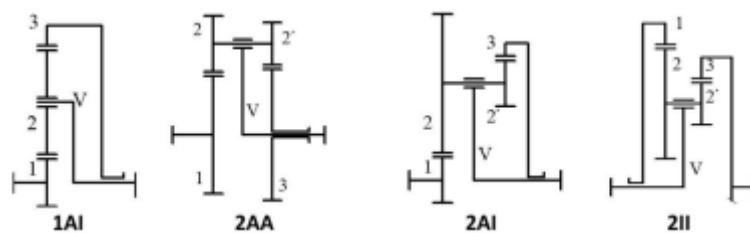
$$n_2 = \frac{v}{5 \cdot t} = \frac{0,3}{5 \cdot 0,024} = 2,4 \text{ s}^{-1} \quad (3.1)$$

Zupčanik na izlaznom vratilu kao i zupčanik na izlazu planetarnog prijenosa imaju jednak broj zubi $Z_1=Z_3=44$. Oni ne utječu na prijenosni omjer već služe da se izlazno vratilo, a samim time i bubanj pomaknu dalje od pogonskog vratila kako bi se osiguralo dovoljno mjesta za rad.(slika 3.1)

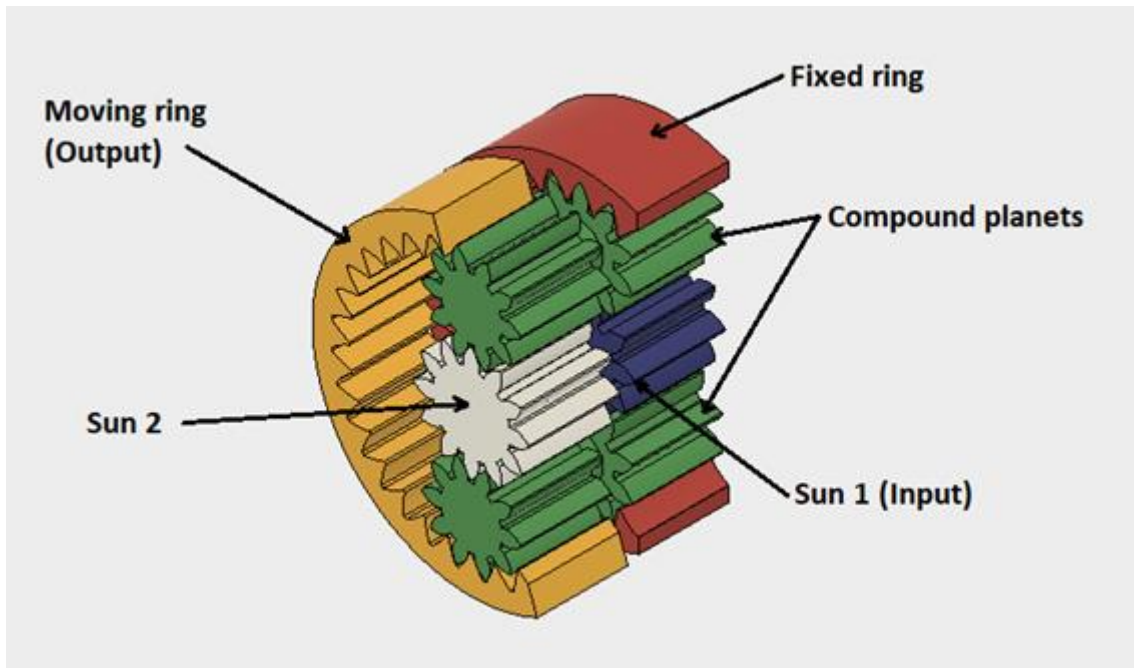


Slika 3.1-Pogonski, gonjeni i među zupčanik

Samim time, prijenosni omjer vitla je prijenosni omjer planetarnog prijenosa. Razmatrani prijenosnik je dvostupanjski 2II prijenosnik (slika 3.2). Pogonski zupčanik je sunčani zupčanik spojen na vratilo, a izlazni zupčanik je na vanjskom obodu vijenca drugog stupnja (slika 3.3).



Slika 3.2-Oznake planetarnih prijenosnika[6]



Slika 3.3-Izvedba planetarnog prijenosa[7]

Izraz za prijenosni omjer: $i = i_1 \cdot i_2$ (3.2)

Prvi stupanj prijenosa se može smatrati kao 1AI prijenos (slika 3.2).

Prvi stupanj prijenosa: $i_1 = \frac{Z_{v_1} + Z_{s_1}}{Z_{s_1}} = \frac{57 + 15}{15} = 4,8$ (3.3)

Drugi stupanj prijenosa: $i_2 = \frac{Z_{v_1}}{Z_{v_2} - Z_{v_1}} = \frac{57}{54 - 57} = -19$ (3.4)

Treba napomenuti da izrazi gore navedeni vrijede samo za ovaj slučaj prijenosnika kada sunčani i planetarni zupčanici u oba stupnja prijenosa imaju isti broj zubi. Prijenosni omjer drugog stupnja prijenosa ima negativan predznak, odnosno na izlazu je smjer vrtnje suprotan od smjera vrtnje motora.

Uvrštavanjem izraza (3.3) i (3.4) u (3.2) ukupni prijenosni omjer iznosi:

$$i = i_1 \cdot i_2 = 4,8 \cdot (-19) = -91,2 \quad (3.5)$$

Ovakav tip izvedbe planetarnog prijenosa s izlazom na vijencu drugog stupnja ima prednost velikog prijenosnog omjera u relativno malom prostoru i samo dva stupnja prijenosa, zadržavajući pritom iskoristivost prijenosnika manjeg prijenosnog omjera.

Konačno, brzina vrtnje elektromotora iznosi:

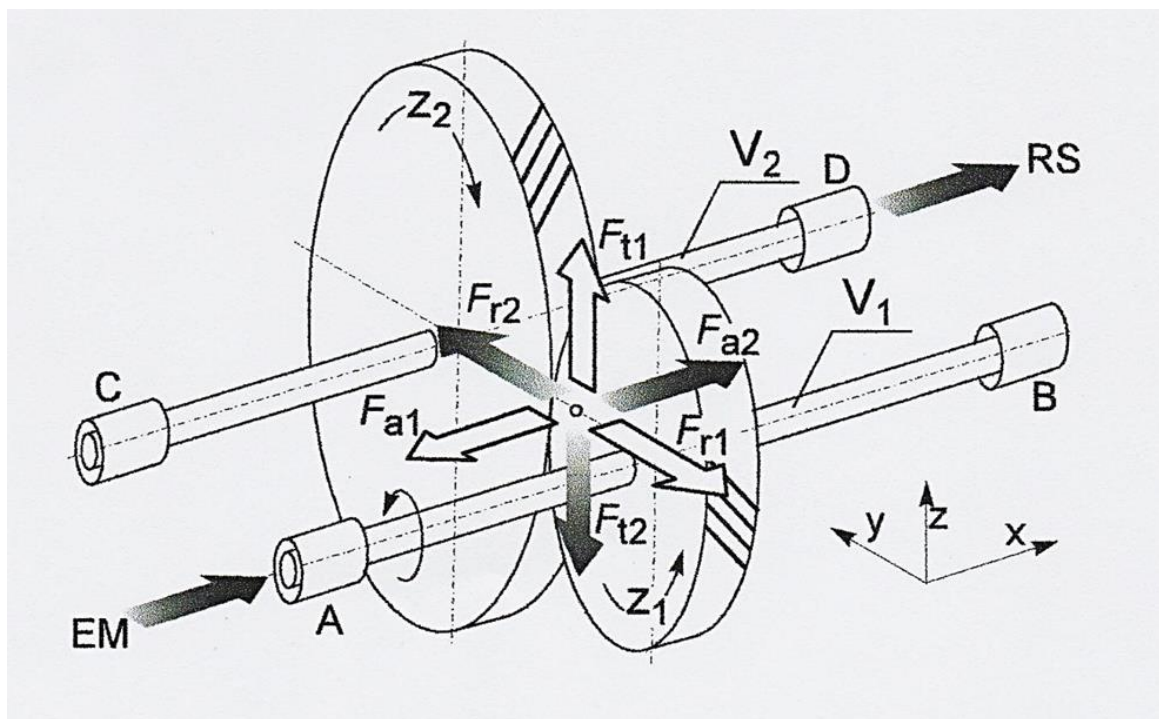
$$n_1 = i \cdot n_2 = 91,2 \cdot 2,4 = 218,88 \text{ s}^{-1} = 13133 \text{ o/min} = 1375,3 \text{ rad/s} \quad (3.6)$$

Tada je moment uvijanja:
$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{800}{1375,3} = 0,6 \text{ Nm} \quad (3.7)$$

Nizak moment i visoka brzina vrtnje su česta pojava kod manjih istosmjernih elektromotora te su najčešće upareni s reduktorom kako bi se došlo do željenih parametara rada.

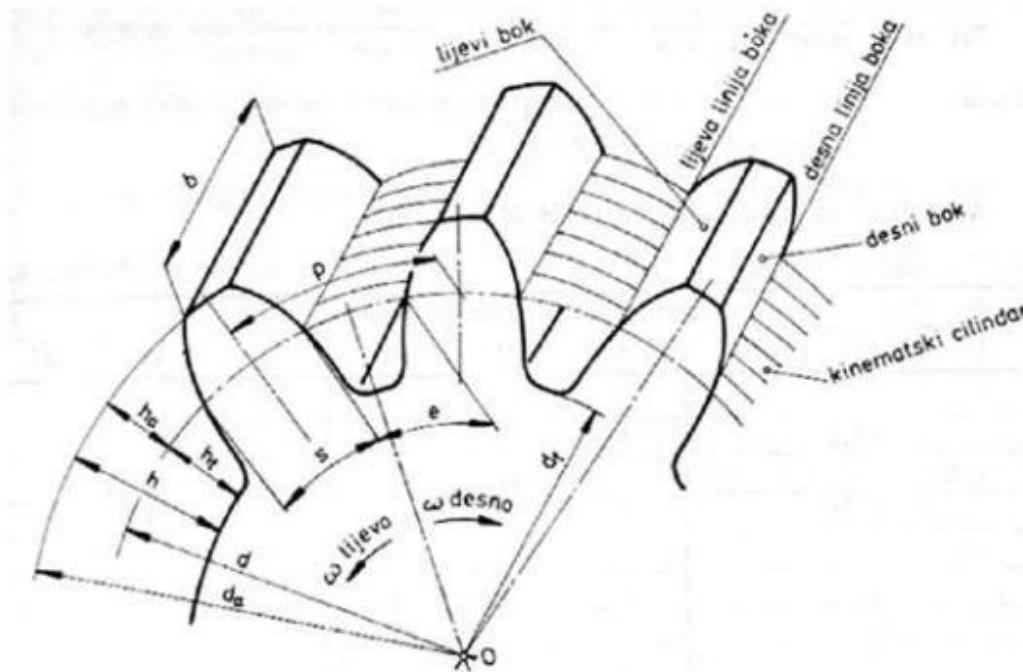
3.2. Sile na vratilu

Sile koje se javljaju na vratilima su posljedica zahvata zupčanika i reakcijskih sila u ležajevima. Na slici 3.4 prikazani su smjerovi djelovanja sila na vratilo.



Slika 3.4-Aksonometrijski prikaz sila na vratilo [8]

Razmatrani zupčanik nema kose zube pa aksijalna komponenta sile ne postoji. Da bi se izračunale radijalna i tangencijalna sila na vratilo potrebno je odrediti modul zupčanika. Modul je veličina koja opisuje udaljenost tjemena zuba od diobenog promjera te predstavlja veličinu zuba zupčanika. Geometriju jednog zupčanika s ravnim zubima prikazuje slika 3.5.



Slika 3.5-geometrijske karakteristike zupčanika[9]

Modul m se može prikazati preko izraza za tjemeni promjer zupčanika d_a . izmjereni tjemeni promjer zupčanika je $d_a=17\text{ mm}$, a broj zubi zupčanika je $Z=15$.

$$\text{Izraz za tjemeni promjer:} \quad d_a = m(Z + 2) \quad (3.8)$$

$$\text{Modul zupčanika:} \quad m = \frac{d_a}{Z \cdot 2} = \frac{17}{15 + 2} = 1\text{mm} \quad (3.9)$$

$$\text{Diobeni promjer:} \quad d_1 = Z \cdot m = 15 \cdot 1 = 15\text{mm} \quad (3.10)$$

$$\text{Obodna sila zupčanika:} \quad F_t = \frac{2T}{d_1} = \frac{2 \cdot 0,6}{0,015} = 80\text{N} \quad (3.11)$$

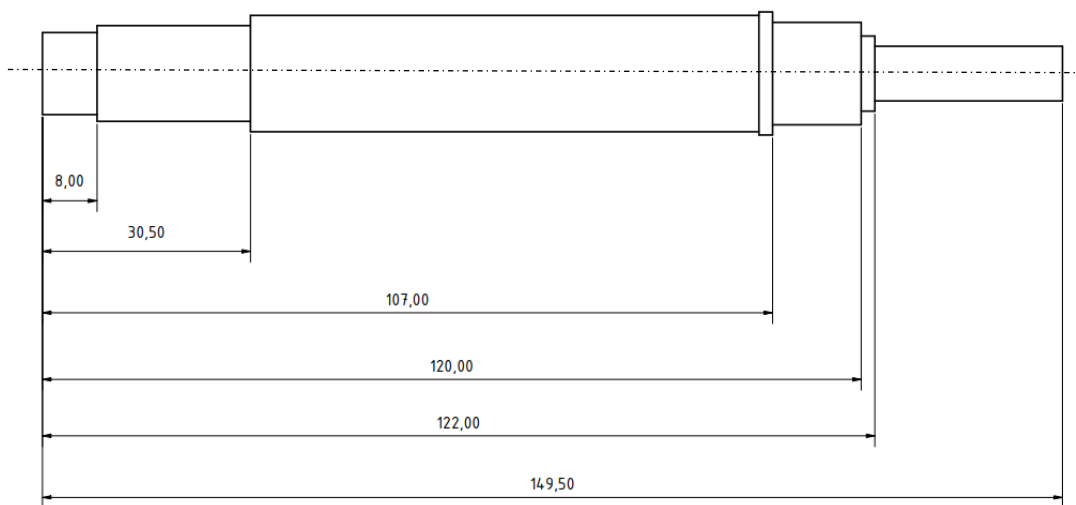
$$\text{Radijalna sila:} \quad F_r = F_t \cdot \tan(\alpha) = 80 \cdot \tan(20) = 29,11\text{N} \quad (3.12)$$

Rezultantna sila:

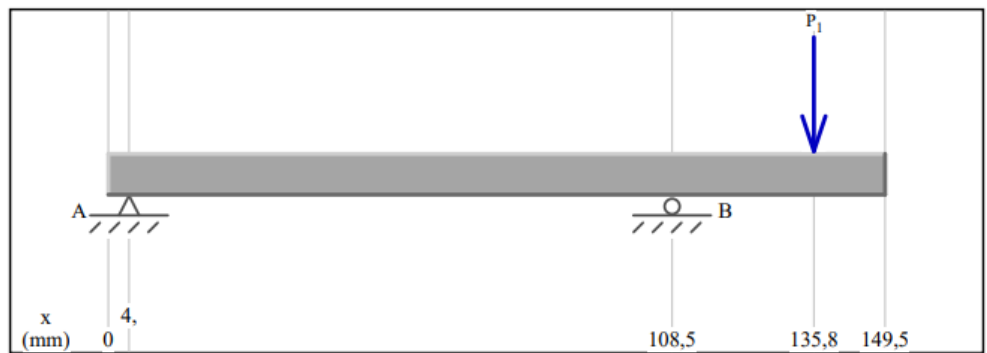
$$R = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} = \sqrt{80^2 + 29,11^2} \quad (3.13)$$
$$= 85,13\text{N}$$

Duljine potrebne za izračun reakcijskih sila i momenta savijanja su prikazane na slici 3.6.

Nakon određivanja rezultantne sile potrebno je odrediti reakcijske sile na mjestima ležajeva, kao i kreirati dijagrame unutarnjih sila. Za te potrebe korišten je programski paket "MD Solids" (slika 3.7).



Slika 3.6-Dimenzije vratila potrebne za proračun[10]

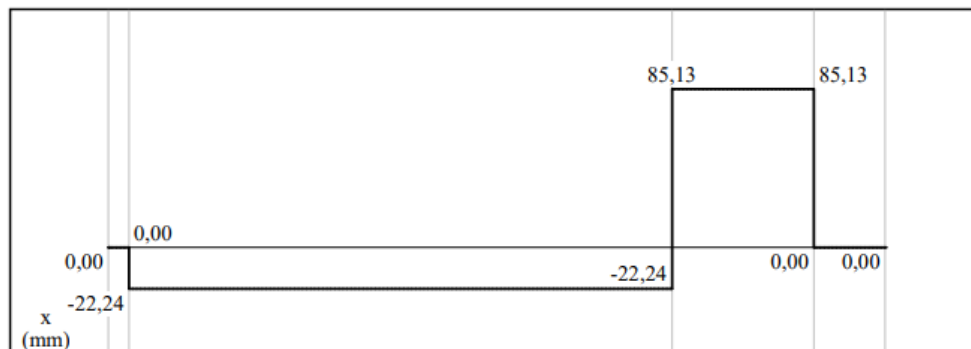


$$P_1 = 85,13 \text{ N (down)}$$

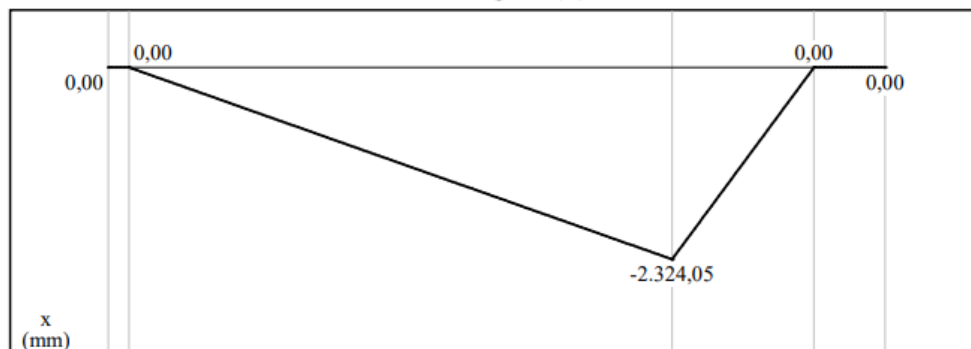
Load Diagram

$$A_y = 22,24 \text{ N (down)}$$

$$B_y = 107,37 \text{ N (up)}$$



Shear Diagram (N)



Moment Diagram (N-mm)

Slika 3.7-Reakcijske sile i dijagrami unutarnjih sila vratila[11]

Na mjestu loma vratila $x=122$ mm moment savijanja iznosi:

$$\text{Moment savijanja: } M_y = R \cdot (135,75 - 122) = 85,13 \cdot 13,75 = 1171 \text{ Nmm} \quad (3.14)$$

3.3. Određivanje potrebne čvrstoće materijala

3.3.1. Dinamička čvrstoća na savijanje

Čvrstoća materijala mora biti takva da zadovolji stupanj sigurnosti vratila $S=1,5$

Stupanj sigurnosti:

$$S\sigma = \frac{R_{-1s}}{\frac{\beta_{ks}}{b} \cdot \sigma_a + \psi \cdot \sigma_{sr}} \quad (3.13)$$

Naprezanje na savijanje:

$$\sigma_s = \frac{M_y}{W_y} = \frac{1171}{16\pi} = 23,29 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

Aksijalni moment otpora:

$$W_y = \frac{d^3\pi}{32} = 16\pi \text{ mm}^3 \quad (3.15)$$

Iz (3.13) proizlazi izraz za potrebnu dinamičku čvrstoću:

$$R_{-1s} = S\sigma \cdot \frac{\beta_{ks}}{b} \cdot \sigma_a + \psi \cdot \sigma_{sr} \quad (3.16)$$

$$R_{-1s} = 1,5 \cdot \frac{\beta_{ks}}{b} \cdot \sigma_a + \psi \cdot \sigma_{sr} \quad (3.17)$$

Faktor stanja površine:

$$b = b_v b_p = 0,75 \cdot 0,99 = 0,745 \quad (3.18)$$

Amplitudno naprezanje:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{23,29 - (-23,29)}{2} = 23,29 \text{ MPa} \quad (3.19)$$

Maksimalno naprezanje:

$$\sigma_{max} = \sigma_v + \sigma_s = 0 + 23,29 = 23,29 \text{ MPa} \quad (3.20)$$

Minimalno naprezanje:

$$\sigma_{min} = \sigma_v - \sigma_s = -23,29 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

Srednje naprezanje:

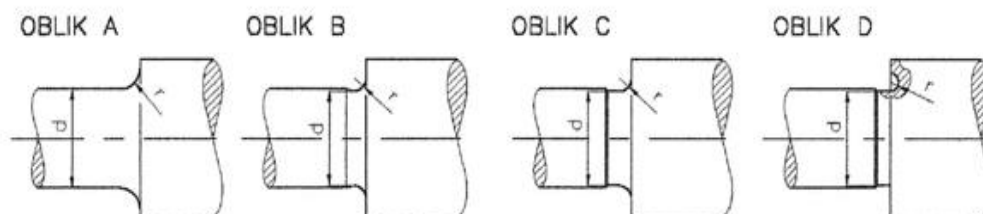
$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_{min} + \sigma_{max}}{2} = \frac{-23,29 + 23,29}{2} = 0 \text{ MPa} \quad (3.22)$$

Iz tablice 3.2 očitava se vrijednost za efektivni faktor koncentracije naprezanja β_{ks} :

Tablica 3.2-efektivni faktor koncentracije naprezanja[12]

Oblik prema slici	r/d	Čvrstoća materijala R_m (MPa)			
		400-600	800	1000	1200
A - D	0	2,2-2,7	3,4	3,5	4,5
	0,05	1,7-1,8	2,1	2,3	2,8
	0,1	1,5	1,7	1,8	2,1
	0,15	1,4	1,5	1,6	1,7
	0,2	1,3	1,35	1,4	1,6
	0,25	1,25	1,3	1,35	1,5
E	0,1	1,36	1,64	1,68	1,72
	0,2	1,22	1,4	1,42	1,45
	0,3	1,18	1,32	1,34	1,36
	0,4	1,13	1,24	1,26	1,27
	0,6	1,1	1,16	1,17	1,18
FIG	-	1,1	1,2	1,3	1,4

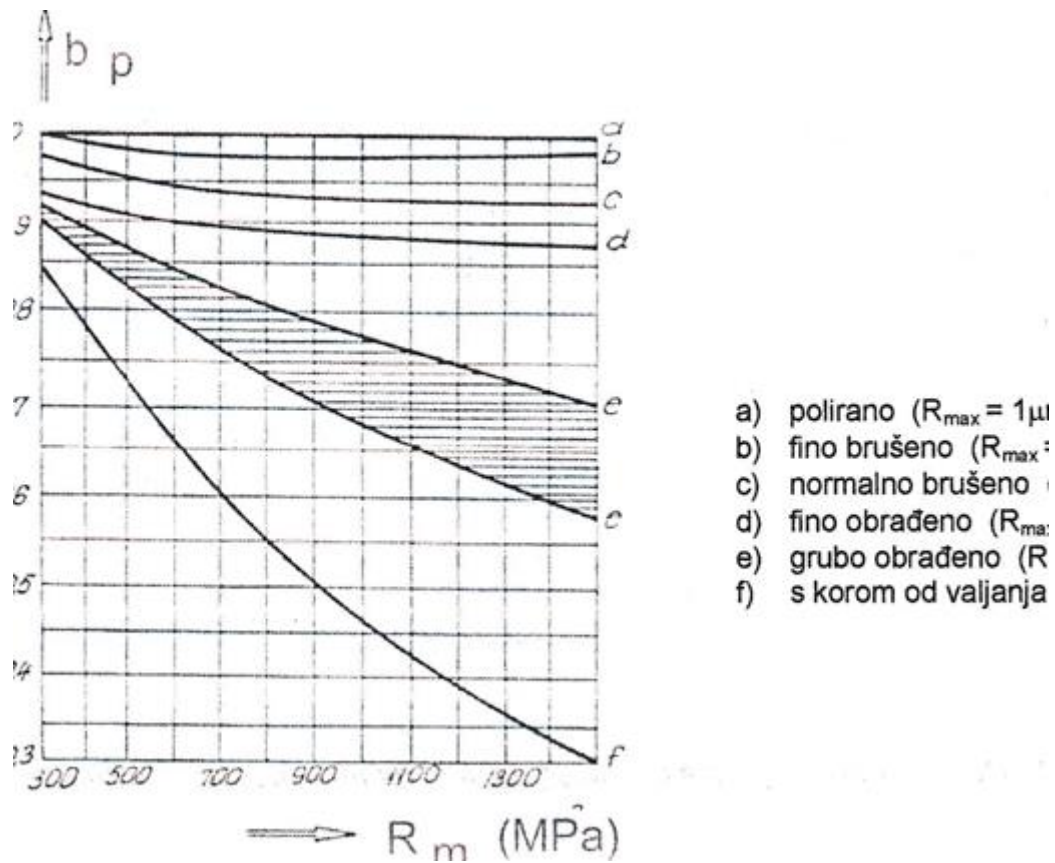
Zaobljenje na prijelazu je $r=0.3$ mm, omjer $r/d = 0.03$, a oblik je prema slici 3.8 oblik B.



Slika 3.8-Oblici zaobljenja prijelaza[13]

Zbog nepoznate čvrstoće materijala vratila uzima se veći $\beta_{ks} = 2,5$.

Zatim je potrebno odrediti veličine b_v i b_p veličinu b_p se može odrediti iz dijagrama sa slike 3.9 te je po krivulji "e" aproksimirano $b_p=0,75$.

Slika 3.9-vrijednosti veličine b_p [14]

Dok za b_v vrijedi izraz:
$$b_v = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,1133} = \left(\frac{8}{7,62}\right)^{-0,1133} = 0,99 \quad (3.23)$$

Konačno uvrštavanjem dobivenih vrijednosti u izraz (3.17) dobivena je potrebna dinamička čvrstoća na savijanje:

Dinamička čvrstoća:
$$R_{-1s} = 1,5 \cdot \frac{2,5}{0,745} \cdot 23,29 + 0,015 \cdot 0 = 117,2\text{MPa} \quad (3.24)$$

3.3.2. Čvrstoća na uvijanje

Osim savijanja zbog sila na zupčaniku, vratilo je opterećeno momentom uvijanja. Stupanj sigurnosti je i u ovom slučaju jednak $S_\tau=1,5$.

Sigurnost na uvijanje:
$$S_\tau = \frac{b_v \cdot R_{\tau p}}{\tau} \quad (3.25)$$

Potrebna čvrstoća:

$$R_{\tau p} = \frac{S_{\tau} \cdot \tau}{b_v} = \frac{1,5 \cdot 5,96}{0,99} = 9 \text{ MPa} \quad (3.26)$$

Tangencijalno naprezanje:

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{600}{32\pi} = 5,96 \text{ MPa} \quad (3.27)$$

Moment otpora:

$$W_p = \frac{d^3 \pi}{16} = \frac{8^3 \pi}{16} = 32\pi \text{ mm}^3 \quad (3.28)$$

Kontrolnim proračunom čvrstoće je osiguran pravilan izbor materijala te su izbjegnuti mogući problemi zbog koncentracije naprezanja.

3.4. Određivanje potrebnog preklopa steznog spoja

Za određivanje potrebnog preklopa korišten je kalkulator za dizajn i proračun steznog spoja integriran u programskom paketu Autodesk Inventor.. Rezultati su prikazani na slici 3.10. Potreban minimalni preklap spoja iznosi 0.011 mm, dok je maksimalni dozvoljen preklap 0,06 mm. U ovom slučaju nema gubitka preklopa zbog uglačavanja površina jer se vratilo pothlađuje u tekućem dušiku.

The screenshot shows the 'Press Fit Calculator' window with the following data:

- Required Load:** Required Torque (selected), Torque $M_p = 0,600 \text{ N m}$, Force $F_p = 15873,000 \text{ N}$, Safety Factor $k = 1,5$.
- Dimensions:** Outer Diameter $D_2 = 80,000 \text{ mm}$, Shaft Diameter $D_1 = 17,000 \text{ mm}$, Inner Diameter $D_3 = 0$, Connection Length $L = 55$.
- Limits and Fits:** Fit Symbol $H7/r6$, Fundamental Deviation: ES $0,030 \text{ r}$, es $0,060 \text{ r}$, EI $0,000 \text{ r}$, ei $0,041 \text{ r}$.
- Advanced:** Assembly Clearance $v = 0,0806226 \text{ mm}$, Surface Smoothness $H = 0,0192000 \text{ mm}$, Clamping Factor $v = 0,130 \text{ ul}$, Clamping Factor (pressing) $v_1 = 0,055 \text{ ul}$.
- Temperature:** Limitation of Shaft Cooling (selected), Hub Warming up $216,675 \text{ c}$, Base Temperature $20,000 \text{ c}$, Shaft Cooling $20,000 \text{ c}$.
- Hub Material:** Modulus of Elasticity $E = 210000,000 \text{ MPa}$, Allowable Stress $\sigma = 310,000 \text{ MPa}$, Poisson's Ratio $\mu = 0,300 \text{ ul}$, Thermal Expansion $\alpha = 0,0000110 \text{ m/(c r)}$, Surface Texture $R_a = 3,200 \text{ micron}$.
- Shaft Material:** Modulus of Elasticity $E = 210000,000 \text{ MPa}$, Allowable Stress $\sigma = 750,000 \text{ MPa}$, Poisson's Ratio $\mu = 0,300 \text{ ul}$, Thermal Expansion $\alpha = -0,0000085 \text{ m/(c r)}$, Surface Texture $R_a = 1,600 \text{ micron}$.
- Results:**

F_{pmax}	28835,810 N
F_{pmin}	-5795,432 N
p_{max}	32,916 MPa
p_{min}	-6,616 MPa
Δ_{D2max}	0,02293 mm
Δ_{D2min}	-0,00461 mm
Δ_{D3max}	0,01195 mm
Δ_{D3min}	-0,00240 mm
T_{cMax}	-148,398 N m
F_{pcMax}	-4566,098 N
p_{Ah}	100,416 MPa
p_{As}	121,982 MPa
l_{min}	-271,14922 mm
Δ_{max}	0,060 mm
Δ_{min}	0,011 mm
Δ_{max}	0,14367 mm
Δ_{min}	0,04771 mm

Slika 3.10-Kalkulator za izračun preklopa steznog spoja[15]

4. Izrada novog vratila

U svrhu izrade radioničkog nacrtu novog vratila je slomljeno vratilo detaljno pregledano i pažljivo izmjereno prije uklanjanja vratila iz jezgre rotora. Radionički nacrt nalazi se u prilogu rada.

4.1. Izbor materijala za izradu

Uz zaključak iz poglavlja 2.2 da je prethodno vratilo cementirano i zakaljeno, te uz potrebnu dinamičku i tangencijalnu čvrstoću provjeren je katalog lokalnog trgovca materijalima. Izbor materijala iz kataloga je prikazan na slici 4.1.

Dimenzije u mm	Teorijska težina cca. kg/m	RST37.2 S235JR	ST44.2 S275JR	ST52.3N S355J2G3	C15E	20Mn Cr5	18 CrNi8	C45E	42 CrMo4	34CrNiMo6 30CrNiMo8	C45E	42 CrMo4 31CrMo12	30 CrNiMo	24CrMoV5.5 Za povišene tempe	51CrV4 Opružni
		Konstrukcioni			Za cementaciju		Za poboljšanje			Poboljšani					
10	0,62	•	•	•	•	•		•	•					•	•
11	0,75	•	•	•	•	•		•	•					•	•
12	0,89	•	•	•	•	•		•	•					•	•
13	1,04	•	•	•	•	•		•	•					•	•
14	1,21	•	•	•	•	•		•	•					•	•
15	1,39	•	•	•	•	•		•	•					•	•
16	1,59	•	•	•	•	•		•	•					•	•
17	1,78	•	•	•	•	•		•	•					•	•
18	2,00	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
20	2,47	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
22	2,98	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
24	3,55	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
25	3,86	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
26	4,17	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
28	4,84	•	•	•	•	•		•	•	•				•	•
30	5,55	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
32	6,31	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Slika 4.1-Ponuda materijala kod prodavača [16]

Zbog potrebe toplinske obrade razmatrani su čelici za cementiranje. U ponudi su čelici C15E (HRN Č.1220) i 20MnCr5 (HRN Č.4321). U trenutku nabave materijala čelik Č.1220 nije bio dostupan u željenoj ili sličnoj dimenziji te je odabran čelik 20MnCr5 (Č.4321).

Mehanička svojstva čelika su prikazana u tablici 4.1.

Tablica 4.1-Mehanička svojstva Č.4321 čelika[17]

Promjer mm	Dinamička izdržljivost na savijanje N/mm ²	Dinamička izdržljivost na tlak-vlak N/mm ²	Dinamička izdržljivost na torziju N/mm ²
do 10	685	440	490
od 10 do 30	440	345	295
od 30 do 60	345	295	245

Iz tablice 4.1 je vidljivo da čelik posjeduje višestruko dovoljnu dinamičku čvrstoću na savijanje i tangencijalnu čvrstoću. U tablici 4.2 se mogu iščitati kemijski sastav i usporedbe oznaka različitih normi.

Tablica 4.2-kemijski sastav i oznake čelika [18]

Kemijski sastav u %: (JUS C.B9.020/74)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,17	0,15	1,10	max.	max.	1,00
—	—	—	0,035	0,035	—
0,22	0,40	1,40	—	—	1,30

Usporedbe:

SR Njemačka		Italija	Poljska	ČSSR
W. № DIN 17007	Oznaka DIN 17006	UNI	PN	ČSN
1.7147	20 MnCr 5	(25 MnCr 6)	20 HG	14221

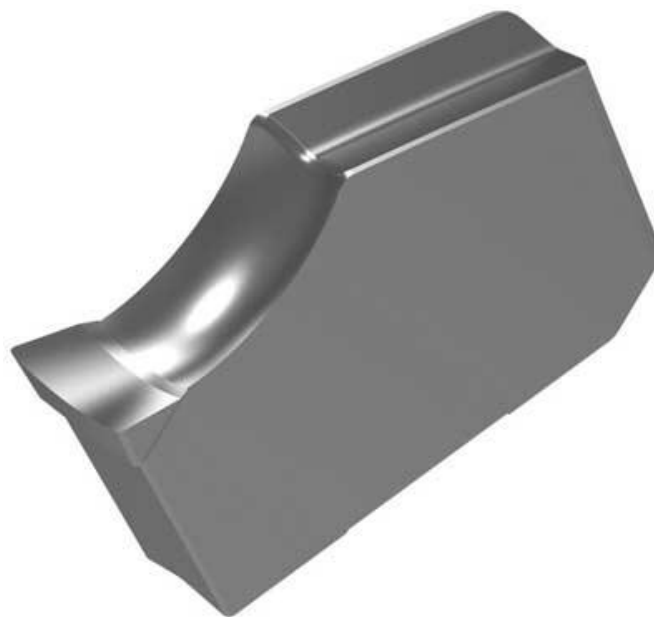
4.2. Gruba izrada vratila

Vratilo je izrađeno prema radioničkom nacrtu iz priloga 1. Izrađeno je iz odabranog materijala na CNC tokarskom stroju u meko žarenom stanju kako bi bio pogodan za grubu obradu, ali u takvom stanju dobiva loš izgled površine pogodan nastajanju korozije. Za grubo uzdužno tokarenje korištena je WNMG tvrda pločica vidljiva na slici 4.2.



Slika 4.2-WNMG tvrda pločica iz WiC [19]

Uz grubu obradu potrebna je izrada utora za uskočnik, utor je izrađen prema gotovom nacrtu zbog nemogućnosti naknadne obrade, a obrađen je nožem za utore širine 0.5 mm (slika 4.3).



Slika 4.3-Pločica za izradu utora [20]

Posljednja obrada je glodanje utora za pero, glodanje je izvršeno u istom stroju jer stroj posjeduje radno vreteno na revolver glavi za alate (*live tooling*). Glodanje je izvršeno karbidnim glodalom promjera 1.8mm (slika 4.4).



Slika 4.4- Glodalo korišteno za izradu utora[21]

Za potrebe rada izrađena su dva nova vratila, jedno na točnu mjeru, a drugo s dodatkom za završnu obradu te je zbog toga na svakom presjeku promjer veći za 0,2 mm. Novo vratilo se može vidjeti na slici 4.5



Slika 4.5-Novoizrađeno vratilo

4.3. Toplinska obrada vratila

Izvorno vratilo je cementirano na mjestima dosjedanja ležajeva i zupčanika te je za novo vratilo potrebno izvršiti toplinsku obradu cementiranja i kaljenja te naknadno popuštanje. Na odlomljenom komadu vratila izvršeno je mjerenje tvrdoće te se ono može vidjeti na slici 4.6. Tvrdoća je mjerena tri puta, a nakon svakog mjerenja komad je zakrenut kako bi se izbjegla nesigurnost postojanja faza različitih tvrdoća na površini komada. Izmjerena tvrdoća na površini je 57 HRC te se u sva tri mjerenja pokazala jednaka.



Slika 4.6-Mjerenje tvrdoće komada

Zatim je odrađena priprema vratila za cementiranje, površine koje nije potrebno cementirati su zaštićene glinom postojanom do 1200 °C (slika 4.7), a pripravljena je smjesa drvenog ugljena i barijevog karbonata. Zaštićena vratila su potom stavljena u čeličnu kutiju zajedno s fino mljevenom smjesom za cementiranje osiguravajući ravnomjernu pokrivenost površina koje je potrebno cementirati (slika 4.8).

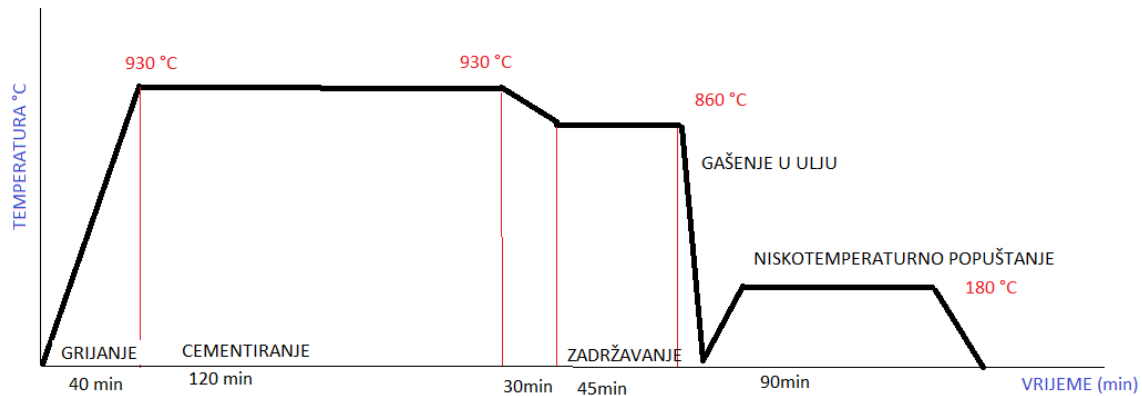


Slika 4.7-Vratila zaštićena glinom



Slika 4.8-Vratila u kutiji za cementiranje

Zatim je kutija ubačena u peć na 930 °C dok traje cementiranje, a potom je temperatura spuštena na 860 °C prije kaljenja. Temperature i vrijeme držanja se mogu iščitati iz dijagrama na slici 4.9.



Slika 4.9-hodogram toplinske obrade za Č.4321[22]

Nakon grijanja su vratila gašena u ulju te su ostavljena na zraku da se hlade do sobne temperature. Nakon hlađenja su mjerene deformacije te je ustanovljeno da su se komadi deformirali te je nakon pokušaja ispravljanja vratila bez dodatka za obradu slomljen rukavac zupčanika. Međutim, na drugom vratilu je dodatak za završnu obradu dovoljan da vratilo nakon završne obrade zadovoljava zadane tolerancije.

Također, prije završne obrade mjerena tvrdoća zakaljenih površina te je izmjerena tvrdoća 61 HRC. Tvrdoća se nakon završne obrade ne smije mjeriti jer bi postupak mjerenja ostavio trag na rukavcu koji bi mogao prouzročiti koncentraciju naprezanja.

Posljednji potreban proces je popuštanje. Vratilo je popuštanje na 180 °C u duljini trajanja od 90 minuta kako bi mu porasla žilavost (slika 4.10).



Slika 4.10-Nisko temperaturno popuštanje vratila

Popuštanje je obavljeno u uljnoj kupki (slika 4.11), a za potrebe popuštanja je izrađena aluminijska posuda za kupku.(slika 4.12) Popuštanjem se tvrdoća na površini smanjila te sada iznosi 57 HRC.



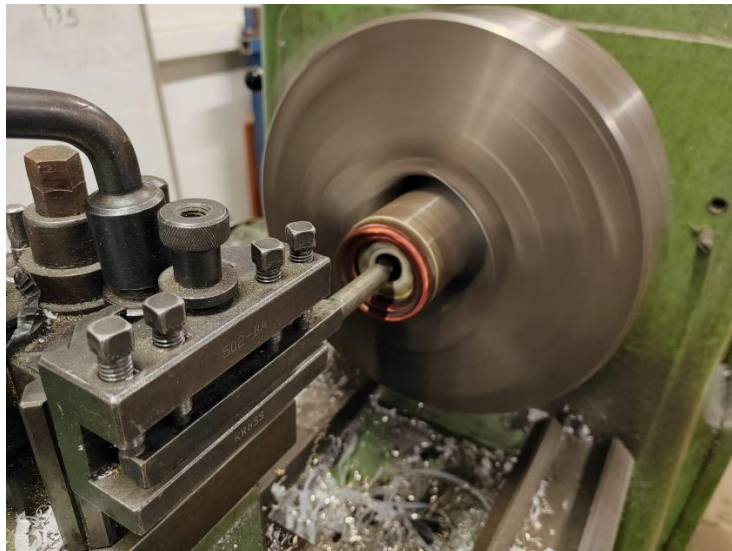
Slika 4.11-Vratilo u posudi s uljem



Slika 4.12- Vratilo u posudi za popuštanje

4.4. Završna obrada vratila

Jezgra rotora je istokarena na prvu cijelobrojnu dimenziju $d=17\text{mm}$ (slika 4.13), a vratilo je tokareno na CNC tokarskom stroju prateći dimenziju provrta u jezgri rotora tako da se ostvari potreban preklop, kako će se jezgra rotora grijati na 100 °C , a vratilo pothladiti na -40 °C . Vratilo je obrađeno za 0.02 mm preklopa kako bi se postigla sigurnost od $0,06\text{ mm}$ zbog relativno manje preciznosti obrade jezgre.



Slika 4.13-Završna obrada jezgre rotora

Zatim su potrebne površine vratila, koje nalaže radionički nacrt, brušene kako bi se postigla površinska hrapavost $R_a=0,8$.

4.5. Prilagodba među zupčanika

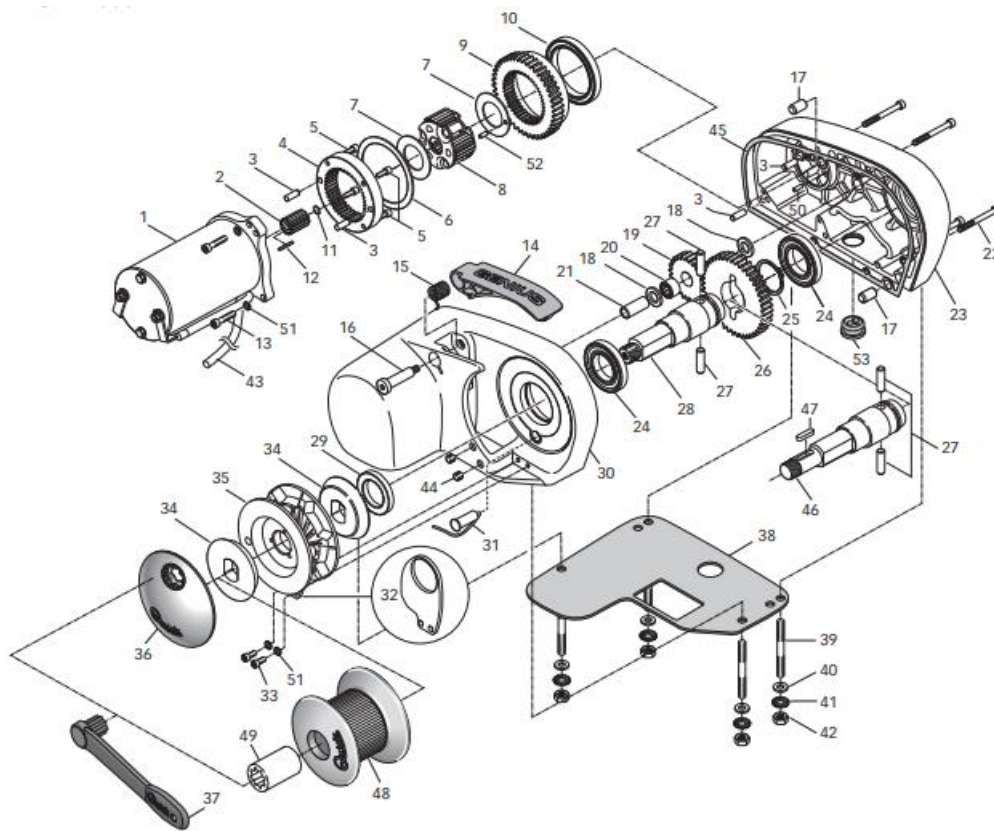
Kako u zatečenom stanju među zupčanik nije bio pravilno montiran na osovinu, te je nedostajao njegov ležaj, a u standardnom katalogu ležaj s potrebnim dimenzijama postoji samo kao igličasti ležaj bez kaveza, rukavac vratila je istokaren sa 18mm na 28mm kako bi primio standardni 63001 ležaj (slika 4.14). Upotreba igličastog ležaja bez kaveza nije moguća jer ni rukavac zupčanika ni pripadajuće osovine ne posjeduju potrebnu tvrdoću ni preciznost obrade.



Slika 4.14-Zupčanik prilagođen za novi ležaj

5. Montaža i puštanje u pogon

Za potrebe spajanja vratila i jezgre rotora vratilo je ohlađeno na $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok je istovremeno jezgra grijana na $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Grijanje ne šteti izolacijskoj zaštiti namotaja rotora za kojeg proizvođač garantira neprekinut rad do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Iako se za razliku temperatura spajanje odvija bez potrebe utiskivanja vratila, kao mjera sigurnosti spajanje je obavljeno u blizini pneumatske prese. Sklapanje cijelog rotora obavljeno je prema sklopnom nacrtu kojeg je proizvođač priložio u priručniku za korisnike. (slika 5.1)



Slika 5.1-Sklopni nacrt vitla[23]

Poslije sklapanja svih dijelova vitlo je ukopčano na izvor struje te pokrenuto, pri pokretanju se obratila pozornost na potencijalne zvukove koji mogu opisati kvalitetu rada vitla, no osim zvuka rada elektromotora s četkicama, nije zapažen nikakav zvuk koji može ukazati na neispravan rad vitla. Nakon praznog rada bez opterećenja podignut je probni teret mase 20 kg.

6. Zaključak

Važnost stručnog pristupa pri rješavanju tehničkih problema istaknuta je kroz analizu kvara koji je utvrđen kao posljedica trenutnog loma, vjerojatno zbog nepravilnosti u proizvodnji ili dizajnu. Nakon detaljnog dijagnosticiranja kvara, uspješno je izrađeno novo vratilo s obzirom na potrebnu čvrstoću materijala i preklop steznog spoja.

Također, naglašena je važnost pravilnog proračuna i inženjerskog pristupa u procesu popravka i održavanja tehničkih uređaja. Kroz analizu sile i momenta na vratilu, kao i proračun čvrstoće materijala, osigurano je da novo vratilo zadovoljava potrebne tehničke standarde i sigurnosne uvjete.

U konačnici, montaža zamjenskog vratila izvršena je uspješno, toplinska obrada provedena je kako bi se poboljšale mehaničke karakteristike materijala, a vitlo je testirano kako bi se osiguralo njegovo ispravno funkcioniranje. Popravak električnog broskog vitla Quick S.p.A G1000 predstavlja primjer uspješnog inženjerskog rješenja i suradnje između stručnjaka iz područja konstrukcijskog strojarstva.

Ovaj završni rad pruža praktičan uvid u proces popravka tehničkih uređaja i ističe važnost stručnog znanja, preciznosti i analitičkog razmišljanja u rješavanju tehničkih problema.

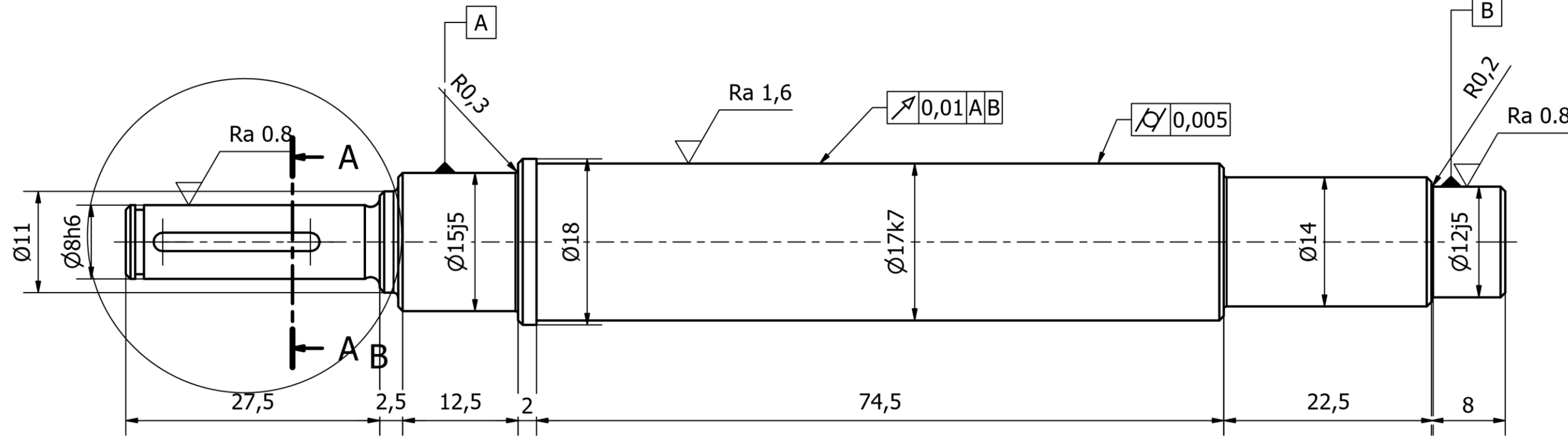
Literatura

- 1- iStock photo, dostupno na: <https://www.istockphoto.com/photo/old-rusty-winch-gm1356829120-430908918>
- 2- SVB GmbH, dostupno na : <https://www.svb24.com/en/lofrans-royal-manual-anchor-windlass.html>
- 3- Quick Italy, dostupno na: <https://www.quickitaly.com/en/products/windlasses-and-capstans/only-rope-windlasses/pt-r-g/>
- 4- G1000 priručnik za uporabu, dostupno na:
https://www.navinordic.com/pub_docs/files/Ladda_ner/Quick/Ankarspel/GP2_1500_2000-Rev-01A_GB.pdf
- 5- Fasteners.eu, dostupno na: <https://www.fasteners.eu/standards/DIN/766/>
- 6- Predavanje 12: Planetarni prijenosnici i prijenosnici sa smanjenom zračnošću 2022/23, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije
- 7- JUANGG PROJECTS, dostupno na:
<https://juangg-projects.blogspot.com/2018/02/split-ring-compound-epicyclicplanetary.html>
- 8- Vratilo - upute za proračun, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije
- 9- Predavanje 9: Cilindrični zupčanici: I. dio 2022/23,
- 10- Autodesk Inventor 2022
- 11- MD Solids 2013
- 12- Vratilo - upute za proračun, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije
- 13- Vratilo - upute za proračun, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije
- 14- Vratilo - upute za proračun, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije
- 15- Autodesk Inventor 2022
- 16- strojopromet-katalog-2020, dostupno na:
<https://strojopromet.com/wp-content/uploads/2020/07/strojopromet-katalog-2020.pdf>
- 17- Slovenske železarne- Železarna Ravne- Ravne na Koroškem, čelici za cementiranje, nitiranje i poboljšavanje
- 18- Slovenske železarne- Železarna Ravne- Ravne na Koroškem, čelici za cementiranje, nitiranje i poboljšavanje

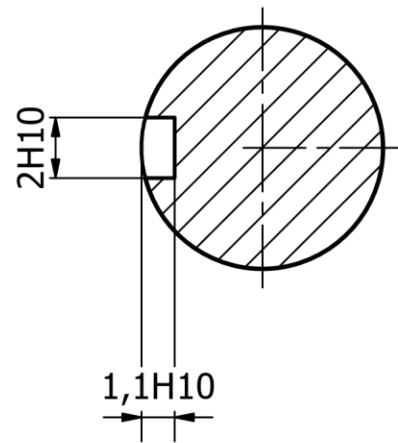
- 19- metal-kovis.hr, dostupno na: <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/plocica-wnmg-060404-uf-yg801-yg-1>
- 20- metal-kovis.hr, dostupno na: <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/plocica-fx2.2n0.10-27p-ht216t-ceratizit>
- 21- metal-kovis.hr, dostupno na: <https://metal-kovis.hr/shop/cijena/glodalo-tm-o2-4-pera-ttk-ssce-4020ac>
- 22- - Shan M. ISSN 1392–1320 MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA). Vol. 26, No. 2. 2020 (str. 193)
- 23- G1000 priručnik za uporabu, dostupno na:
https://www.navinordic.com/pub_docs/files/Ladda_ner/Quick/Ankarspel/GP2_1500_2000-Rev-01A_GB.pdf

Prilozi

1. Prilog 1 – Radionički nacrt vratila

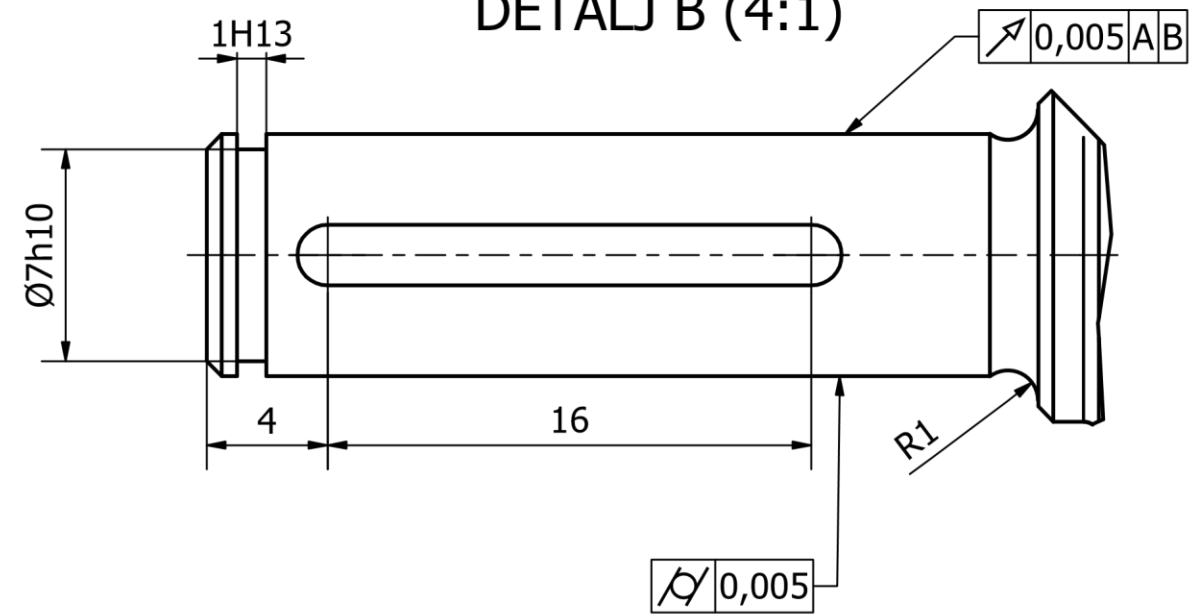


PRESJEK A-A(4:1)



ISO TOLERANCIJA	
VELIČINA	TOLERANCIJA
Ø12j5	+0,005 -0,003
Ø15j5	+0,005 -0,003
Ø8h6	+0 -0,009
Ø17k7	+0,019 -0,001
2H10	+0,040 -0
1,1H10	+0,040 -0
7h10	+0 -0,058
1H13	+0,140 -0

DETALJ B (4:1)



VANJSKE BRIDOVE SKOSITI 0,5/45°
PRIJELAZE KOJI NISU DEFINIRANI ZA OBLITI R=1mm

Designed by Mario Lišnić	Checked by 2:1	Approved by	Date	Date 9/7/2023	
Sveučilišni odjel za stručne studije			Vratilo		
ZAVRŠNI RAD			Edition	37	Sheet 1 / 1