

# Fraktalna stega s motornim pogonom

---

**Borovac, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2025**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:371920>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Petar Borovac**

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Matija Hoić, mag. ing.

Student:

Petar Borovac

Zagreb, 2025.

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

Petar Borovac



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 brodostrojarški

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 25 – 06 / 1	
Ur.broj: 15 – 25 –	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Petar Borovac**

JMBAG: **0035235919**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Fraktalna stega s motornim pogonom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Motor-driven fractal clamp**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati fraktalnu stegu s motornim pogonom za prihvat objekata različitih formi. Stega se prihvaća vijcima na radni stol. Ostvarena sila pritezanja mora se održati uz isključeni motor.

Ciljano konstrukcijsko rješenje mora imati sljedeće karakteristike:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1) Najveća sila pritezanja:                  | $F = 10\,000\text{ N}$ , |
| 2) Najveća brzina zatvaranja stege:          | $v = 0,005\text{ m/s}$ , |
| 3) Širina zahvata stege:                     | $L = 250\text{ mm}$ ,    |
| 4) Visina zahvata stege:                     | $H = 60\text{ mm}$ ,     |
| 5) Broj kontaktnih točaka po čeljusti stege: | $n = 16$ .               |

Rad treba sadržavati:

- 1) Uvodno razmatranje o fraktalnim stegama,
- 2) Analizu radnih principa postojećih konstrukcijskih rješenja,
- 3) Nekoliko konceptijskih rješenja,
- 4) Izbor najpogodnijeg koncepta za zadane projektne zahtjeve,
- 5) Proračun i oblikovanje pogonskog sustava,
- 6) Proračun i oblikovanje čeljusti i okvira stege,
- 7) Sklopni crtež s potrebnim presjecima i detaljima.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

30. 11. 2024.

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.

2. rok: 10. i 11. 7. 2025.

2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Matija Hoić

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

*Hoić*

*V Soldo*

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE.....	IV
POPIS OZNAKA.....	V
SAŽETAK .....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVODNO RAZMATRANJE O FRAKTALNIM STEGAMA .....	1
2. ANALIZA RADNIH PRINCIPA POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA .....	2
3. NEKOLIKO KONCEPCIJSKIH RJEŠENJA.....	6
3.1. Prvo konceptijsko rješenje.....	6
3.2. Drugo konceptijsko rješenje .....	7
3.3. Treće konceptijsko rješenje .....	8
4. IZBOR NAJPOGODNIJEG KONCEPTA ZA ZADANE PROJEKTNE ZAHTJEVE .....	9
5. PRORAČUN I OBLIKOVANJE POGONSKOG SUSTAVA.....	11
5.1. Proračun navojnog vretena.....	11
5.1.1. Sile na vretenu.....	11
5.1.2. Promjer vretena .....	12
5.1.3. Proračun čvrstoće vretena .....	13
5.2. Odabir motora i reduktora.....	16
6. PRORAČUN I OBLIKOVANJE ČELJUSTI I OKVIRA STEGE.....	19
6.1. Oblikovanje čeljusti .....	19
6.1.1. Segment 4.....	19
6.1.2. Segment 3.....	20
6.1.3. Segmenti 2 i 1 .....	21
6.1.4. Sklapanje čeljusti .....	21
6.2. Oblikovanje kućišta.....	21
6.3. Čvrstoća čeljusti i kućišta.....	23
7. ZAKLJUČAK .....	24
LITERATURA.....	25
PRILOZI.....	26

**POPIS SLIKA**

Slika 2.1	Prvo konstrukcijsko rješenje .....	2
Slika 2.2	Drugo konstrukcijsko rješenje.....	3
Slika 2.3	Treće konstrukcijsko rješenje .....	4
Slika 2.4	Četvrto konstrukcijsko rješenje .....	5
Slika 3.1	Spoj segmenata(1) .....	6
Slika 3.2	Vreteno s dva navoja .....	7
Slika 3.3	Spoj segmentnih dijelova .....	8
Slika 5.1	Sila koja djeluje na vreteno .....	11
Slika 5.2	Sile reakcija na vretenu .....	12
Slika 5.3	T-vodilice .....	12
Slika 5.4	Tok snage .....	16
Slika 6.1	Dimenzije segmenta 4 .....	19
Slika 6.2	Izgled segmenta 4.....	19
Slika 6.3	Dimenzije segmenta 3 .....	20
Slika 6.4	Izgled segmenta 3 .....	20
Slika 6.5	Sklop čeljusti .....	21
Slika 6.6	Glavni dio kućišta.....	22
Slika 6.7	Pomični dio kućišta .....	22
Slika 6.8	Fraktalna stega.....	23

## **POPIS TABLICA**

Tablica 4.1 Odabir najpogodnijeg koncepta..... 10



## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

PB\_2025.0    Fraktalna stega

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_j$	$\text{mm}^2$	Poprečni presjek jezgre navoja
$d$	mm	Vanjski promjer navoja
$d_2$	mm	Srednji promjer navoja
$d_3$	mm	Promjer jezgre navoja
$F$	N	Sila pritezanja
$F_t$	N	Obodna sila na srednjem promjeru vretena
$F_{vr}$	N	Vlačna sila vretena
$i$		Prijenosni omjer
$n_{EM}$	okr/s	Brzina vrtnje elektromotora
$n_{vr}$	okr/s	Brzina vrtnje vratila
$P$	mm	Korak navoja
$P_{EM}$	W	Snaga elektromotora
$P_{izl}$	W	Snaga na izlazu
$P_{ul}$	W	Snaga na ulazu
$R_{sr}$	mm	Srednji promjer oslonca
$r_2$	mm	Srednji polumjer $d_2/2$
$T_{EM}$	Nmm	Moment torzije na motoru
$T_{pr}$	Nmm	Moment pritezanja
$T_R$	Nmm	Trenje podloge
$T_{vr}$	Nmm	Moment torzije vretena
$v$	m/s	Brzina pritezanja
$\alpha$	°	Kut boka navoja
$\beta$	°	Bočni kut navoja
$\eta_r$		Stupanj djelovanja reduktora
$\eta_{s1}$		Stupanj djelovanja spojke 1
$\eta_{s2}$		Stupanj djelovanja spojke 2
$\eta_{vr}$		Stupanj djelovanja navojnog vretena
$\rho'$	°	Kut trenja navoja
$\sigma_{red}$	$\text{N/mm}^2$	Reducirano naprezanje
$\sigma_{vr}$	$\text{N/mm}^2$	Normalno naprezanje vretena
$\sigma_{vr\_dop}$	$\text{N/mm}^2$	Dopušteno naprezanje vretena
$\tau_{vr}$	$\text{N/mm}^2$	Torzijsko naprezanje vretena
$\mu_N$		Koeficijent trenja na bokovima navoja
$\mu_a$		Koeficijent trenja između vretena i kućišta

## **SAŽETAK**

Ovaj završni rad bavi se konstrukcijom fraktalne stege s motornim pogonom, koja omogućava čvrsto i precizno stezanje objekata različitih oblika i dimenzija. Fraktalne stege, čiji dizajn proizlazi iz fraktalne geometrije, omogućuju prilagodljivo stezanje i ravnomjerniju raspodjelu naprezanja, čime smanjuju rizik od oštećenja obratka.

U radu se najprije analiziraju postojeća konstrukcijska rješenja fraktalnih stega, ocjenjuju njihove prednosti i nedostaci te se izrađuju konceptijska rješenja s ciljem postizanja optimalnog dizajna. Odabrano rješenje detaljno je razrađeno kroz proračune pogonskog sustava, uključujući određivanje parametara elektromotora, prijenosnog mehanizma i sistema stezanja. Također, komentira se oblikovanje i čvrstoća čeljusti i okvira stege kako bi se osigurala mehanička otpornost i dugovječnost uređaja.

Cilj rada je razviti funkcionalno, učinkovito i konstrukcijski izvedivo rješenje fraktalne stege s motornim pogonom, koje bi moglo pronaći praktičnu primjenu u industriji i obrtništvu.

Ključne riječi: fraktalna stega, motorni pogon, stezanje obratka, proračun čvrstoće, konstrukcijska rješenja, oblikovanje

## **SUMMARY**

This thesis focuses on the design of a motor-driven fractal clamp, enabling firm and precise clamping of objects of various shapes and dimensions. Fractal vises, whose design is derived from fractal geometry, allow for adaptive clamping and even stress distribution, thereby reducing the risk of workpiece damage.

The study first analyses existing structural solutions for fractal vises, evaluates their advantages and disadvantages, and develops conceptual designs to achieve an optimal solution. The selected design is thoroughly elaborated through calculations of the drive system, including the determination of motor parameters, transmission mechanism, and clamping system. Additionally, the design and strength of the vise jaws and frame are discussed to ensure mechanical durability and long service life.

The goal of this thesis is to develop a functional, efficient, and structurally feasible solution for a motorized fractal vise that could find practical applications in industry and craftsmanship.

Key words: Fractal clamp, motorized drive, workpiece clamping, strength calculation, structural solutions, design

## 1. UVODNO RAZMATRANJE O FRAKTALNIM STEGAMA

U svijetu obrade materijala, stege su jedne od najbitnijih i neizostavnih alata koji omogućuju čvrsto držanje predmeta prilikom obrade. Bilo da se radi o obradi metala, drva ili drugih materijala, jako je bitno da obradak bude čvrsto i sigurno pričvršćen kako bi se posao mogao obaviti najpreciznije moguće i bez nepotrebnih pogrešaka. Klasične stege često nisu dobar izbor kada treba pričvrstiti predmete nepravilnih oblika ili materijale koji se lako mogu oštetiti.

U tom slučaju najbolje je koristiti fraktalne stege. To su stege koje imaju dizajn temeljen na geometriji fraktala. Za razliku od običnih stega koje imaju fiksne čeljusti, fraktalne stege se sastoje od mnogo manjih segmenata koji se prilagođavaju obliku obratka. Na taj način omogućuju bolje prijanjanje i ravnomjerniju raspodjelu naprezanja, smanjujući rizik od oštećenja obratka i povećavajući stabilnost tijekom obrade. Fraktalne stege osmišljene su prije gotovo sto godina, ali još uvijek nisu našle široku primjenu. Koncept proizlazi iz fraktalne geometrije, grani matematike koja se bavi obrascima koji se ponavljaju na različitim skalama. Tek u posljednjih nekoliko desetljeća došlo je do prve praktične upotrebe fraktalne geometrije u alatima. Njihov dizajn je stekao veću popularnost zahvaljujući suvremenim alatima za računalno projektiranje i novim materijalima koji omogućuju učinkovitu proizvodnju.

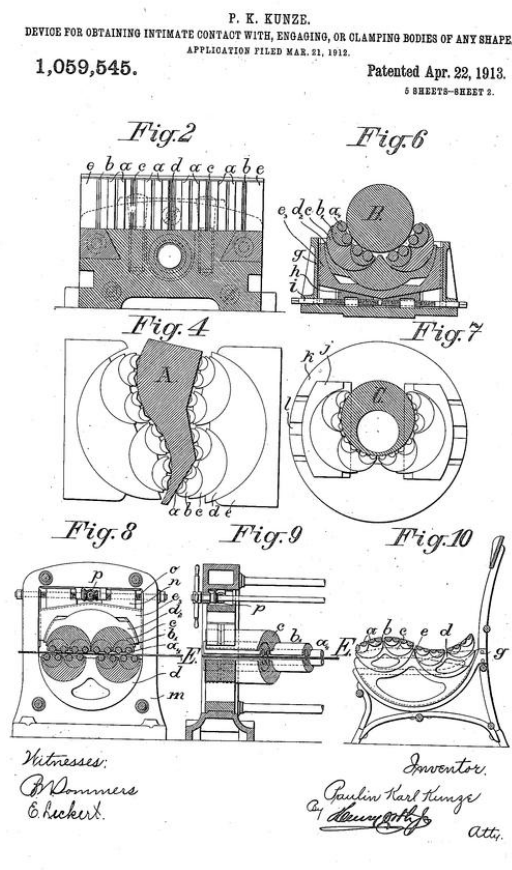
U ovom završnom radu biti će konstruirana fraktalna stega s motornim pogonom, koja omogućava čvrsto i precizno stezanje svih vrsta objekata različitih oblika i dimenzija.

Prvo će se istražiti postojeća konstrukcijska rješenja kako bi se razumjele njihove prednosti i nedostaci. Na temelju postavljenih zahtjeva, izradit će se nekoliko konceptijskih rješenja, od kojih će svako biti detaljnije analizirano i bodovano prema definiranim kriterijima. Slijedit će odabir najboljeg rješenja i njegova detaljna tehnička i konstrukcijska razrada. U nastavku rada provest će se proračun pogonskog sustava, pri kojem će se definirati parametri elektromotora, prijenosnog mehanizma i sustava upravljanja. Izvest će se i proračun same stega, uključujući čeljusti i okvir, kako bi se osigurali zadovoljavajući kriteriji čvrstoće s obzirom na zadane početne uvjete i očekivana opterećenja. Cilj rada je ponuditi funkcionalno, učinkovito i konstrukcijski izvedivo rješenje fraktalne stega s motornim pogonom.

## 2. ANALIZA RADNIH PRINCIPA POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA

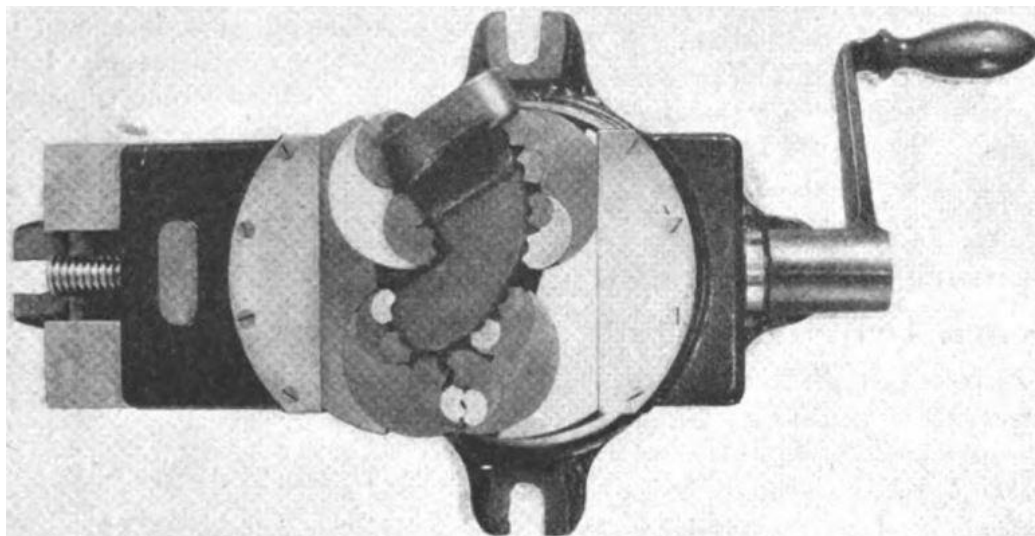
Prilikom istraživanja postojećih rješenja došlo je do mnogih prepreka, budući da su fraktalne stegje izuzetno rijetke i vrlo ih malo proizvođača proizvodi. Zbog toga, bilo je potrebno proširiti izvore pretraživanja ne oslanjajući se samo na proizvođače, već i na povijesne spise, objavljenu tehničku dokumentaciju i patente vezane uz fraktalne stegje.

Prvo konstrukcijsko rješenje objavljeno je 1913. godine, koje je objavio Paulin Karl Kunze pod nazivom "Uređaj za uspostavljanje intimnog kontakta s, zahvaćanje ili stezanje tijela bilo kojeg oblika". U svom patentu bod brojem US1059545A prikazao je mnoge vrste naprava koje koriste sistem fraktala, međutim, ovdje će se prikazati samo crtež u kojem se pojavljuje tražena fraktalna stegja. Na Slika 2.1 pod naslovima *Fig.4* i *Fig.7* nalaze se konstrukcijska rješenja koja se traže [1].



Slika 2.1 Prvo konstrukcijsko rješenje

S obzirom da se iz Slika 2.1 ne vidi točno kako bi stegja izgledala, već prikazuje samo izgled dvije čeljusti, pronađeno je slično konstrukcijsko rješenje koje pokazuje izgled cijele stegje. Slika 2.2 objavljena je u časopisu „*American Machinist*“ 1923. godine. Proizvođač je tvrtka *Mantle & Co.* koja svoju stegju naziva „The Mantle vise“ u prijevodu „Plasna stegja“ [2].

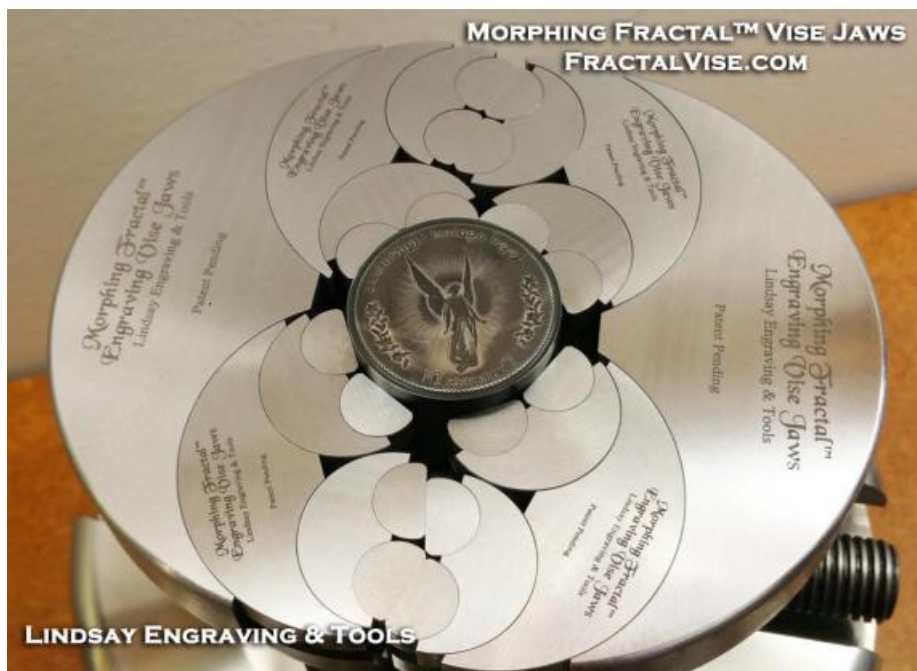


**Slika 2.2** Drugo konstrukcijsko rješenje

U ovom konstrukcijskom rješenju jasno se može uočiti njezin pogonski sustav, koji je se sastoji od ručke povezane s navojnim vretenom. Zakretanjem ručke moment se prenosi na vreteno, čime se lijeva čeljust primiče desnoj, omogućujući stezanje objekta. Pri tome kontaktne fraktali poprimaju oblik samog objekta i omogućuju ravnomjerno stezanje bez oštećenja.

Dodani uvid u konstrukciju ove stege može se vidjeti u Youtube videu kanala „Hand Tool Rescue“ [3], u kojem je prikazan detaljan postupak rastavljanja i sastavljanja identične stege. Ovaj video omogućuje detaljno razumijevanje ključnih dijelova i prikazuje njihovu međusobnu vezu. Aksijalni pomak navojnog vretena svojim oblikom sprječava prsten koji je zatim spojeno na samo vreteno. Sami elementi fraktalnih čeljusti međusobno su povezani sistemom utor-pero, koji osigurava njihovu rotaciju. Kako bi se spriječilo njihovo ispadanje, kroz sredinu svakog elementa prolazi vijak. Ovakvo rješenje je jednostavno i praktično te je vrlo moguće da će se koristiti pri daljnjem konstruiranju tražene stege.

Treće konstrukcijsko rješenje koje se nalazi na Slika 2.3 je rješenje tvrtke „Lindsay Engraving & Tools“ pod nazivom „Morphing™ Fractal jaws“ [4]. Tvrtka još nije započela s proizvodnjom stega, međutim objavili su par slika i videa koji će se koristiti za pronalaženje najboljeg rješenja za konstruiranje fraktalne stege.



**Slika 2.3 Treće konstrukcijsko rješenje**

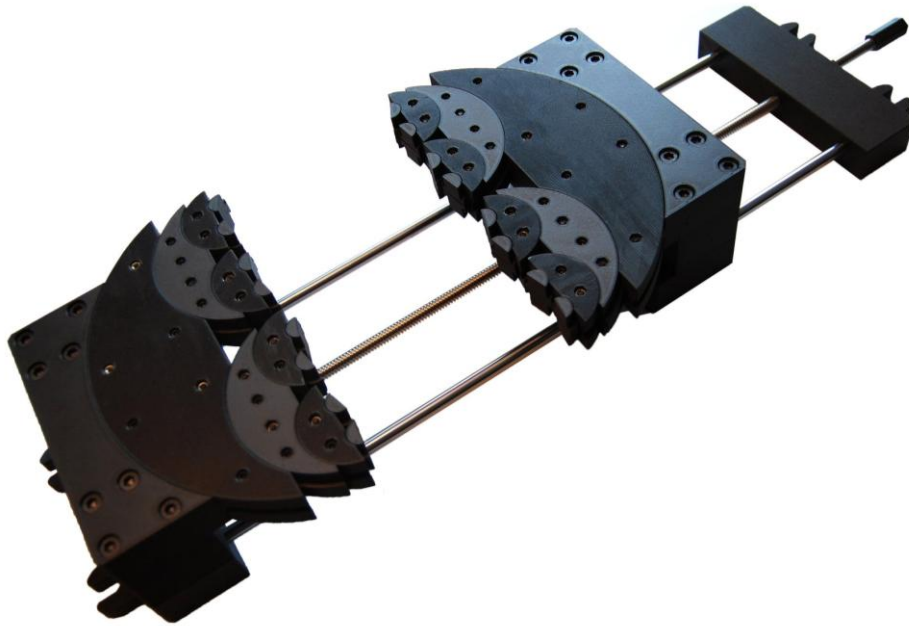
Ovo konstrukcijsko rješenje fraktalne stege se od prošloga razlikuje po tome što umjesto jedne pomične čeljusti ima dvije koje omogućuju simetrično stezanje objekta. Glavna razlika ovog rješenja je navojno vreteno, koje je čvrsto pričvršćeno za sredinu konstrukcije i služi kao glavni mehanizam za pomicanje čeljusti. Specifičnost ovog vretena je njegov dvosmjerni navoj – na spoju s lijevom čeljusti nalazi se desnovojni navoj, dok se na spoju s desnom čeljusti nalazi lijevovojni navoj. Okretanjem vretena, obje se čeljusti istovremeno pomiču prema unutra ili prema van, ovisno o smjeru rotacije. Time se omogućava brže i ravnomjernije stezanje objekta, bez potrebe za dodatnim prilagodbama.

Još jedna od bitnijih razlika koju valja spomenuti su dodirne površine fraktala sa steznim objektom. Na samom vrhu fraktala koji su u neposrednom dodiru s objektom se nalazi jedna ravna površina, dok su se u prošlim rješenjima nalazile dvije manje površine koje su dodirnu silu raspoređivale na dvije točke.

Na stranici “Plasmatio“ pronađeno je četvrto konstrukcijsko rješenje prikazano na Slika 2.4 [5]. Glavna razlika ovog konstrukcijskog rješenja naspram ostalih je sustav primicanja jedne čeljusti prema drugoj. Može se vidjeti da je opet korišteno navojno vreteno, međutim korištene su još dvije šipke koje osiguravaju stabilnost čeljusti. One se tu nalaze zbog toga što je navojno vreteno nešto manjih dimenzija nego na drugim rješenjima. To bi također značilo da se njime ne može ostvariti prevelika sila stezanja.

Još jedna razlika je u spajanju samih segmenata čeljusti odnosno fraktala. Ne može se točno vidjeti kakav sistem je korišten, ali se po količini vijaka može pretpostaviti da je svaki segment izrađen iz tri dijela. Srednji dio nešto je manjih dimenzija dok su vanjska dva dijela malo šira i njihovim sklapanjem ostvaruje se spoj s prethodnim segmentom.





**Slika 2.4** Četvrto konstrukcijsko rješenje

### 3. NEKOLIKO KONCEPCIJSKIH RJEŠENJA

U ovom koraku napraviti će se par konceptijskih rješenja koja će biti napravljena na temelju unaprijed istraženih konstrukcijskih rješenja. Svako konceptijsko rješenje će se razlikovati u nekom segmentu te će biti popraćeno detaljima koji su potrebni za izradu samog rješenja. S obzirom da u prethodnom koraku istraživanja konstrukcijskih rješenja nije pronađeno niti jedno rješenje s motornim pogonom, kroz konceptijska rješenja ponudit će se različite mogućnosti povezivanja stege s pogonskim sustavom.

#### 3.1. Prvo konceptijsko rješenje

Prvo konceptijsko rješenje izrađeno je na temelju prvog i drugog konstrukcijskog rješenja. Sastoji se od dvije čeljusti, od kojih je jedna fiksna, a druga vrši aksijalnu translaciju za stezanje obratka. Segmenti čeljusti spojeni su sistemom utor-pero te se po sredini svakog segmenta nalazi vijak da spriječi ispadanje pojedinih dijelova (Slika 3.1). U prvom redu segmenata, onom koji je u neposrednom dodiru s obratkom, nalazi se osam dijelova, od kojih svaki ima po dvije dodirne točke (ispunjavanje uvjeta 5) broj dodirnih točaka po čeljusti  $n=16$ ). U drugom redu nalazi se četiri, u sljedećem dvije te konačno dolazimo do glavnog segmenta koji je sa samim kućištem stege povezan također sistemom utor-pero. Pomična čeljust na dnu je povezana s navojnim vretenom koji ne smije vršiti aksijalno gibanje. To će se omogućiti tako da će se, na mjestu gdje vreteno prolazi kroz konstrukciju stege, na vreteno zatikom spojiti malo zadebljanje koje će oblikom sprječavati gibanje vretena, ali dodatno opterećivati pogonski sustav budući da će se na tom mjestu javljati sila trenja. Spoj navojnog vretena s pogonskim sustavom ostvarit će se pomoću elastične školjkaste spojke koja će biti direktno spojena na izlazno vratilo reduktora.

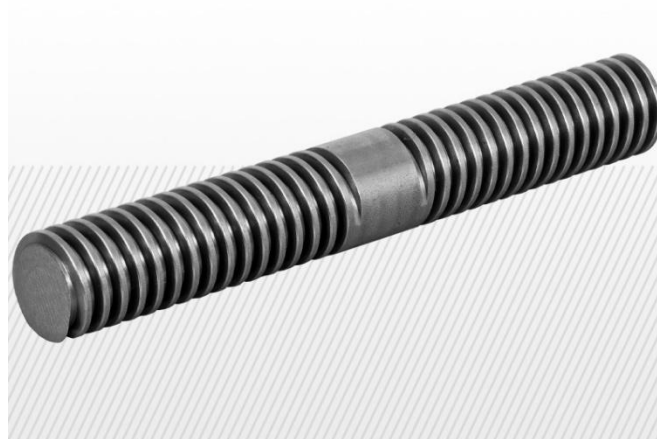


Slika 3.1 Spoj segmenata(1)

### 3.2. Drugo konceptijsko rješenje

Drugo konceptijsko rješenje izvedeno je nalik trećem konstrukcijskom rješenju s dodanim šipkama za stabilnost. U sredini kućišta same stege nalazi se spoj navojnog vretena s kućištem omogućujući vretenu samo rotacijsko gibanje. Vreteno je izvedeno kao na Slika 3.2 tako da je lijevo od spoja vreteno je desnovojno, a desno lijevovojno. To bi značilo da su u ovom rješenju obje čeljusti pomične te tako simetrično stežu obradak. Spojevi segmenata na čeljusti izvedeni su isto kao u prvom konceptijskom rješenju prikazanim na Slika 3.1 osim zadnjeg, koji je s kućištem povezan zatikom, oko kojeg vrši rotaciju. U ovom rješenju prvi red segmenata, onaj koji je u dodiru s obratkom ima samo jednu dodirnu površinu, pa će ih zbog toga biti duplo više nego u prvom rješenju da bi ispunili uvjet 5) (broj kontaktnih točaka po čeljusti stege:  $n=16$ ). Prvi red 16, drugi 8... te zadnji segment koji je također za kućište spojen utor-pero sistemom. Zbog znatno povećane širine čeljusti s 16 segmenata u prvom redu paralelno s navojnim vretenom dodane su šipke koje podržavaju čeljusti da ne bi došlo do neželjenog savijanja. Na lijevoj i desnoj strani napravljeno je malo kućište koje povezuje dvije šipke i navojno vreteno, kao kod četvrtog konstrukcijskog rješenja.

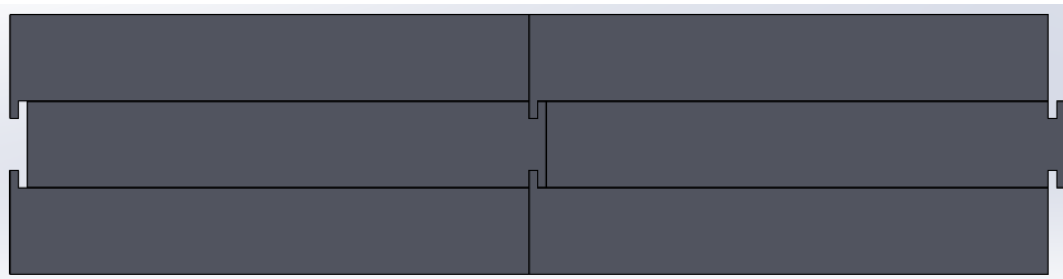
Spoj navojnog vretena s pogonskim sustavom izvedeno je tako što se na kraju navojnog vretena nalazi remenica koja je remenom direktno povezana s remenicom na izlazu iz elektromotora.



Slika 3.2 Vreteno s dva navoja

### 3.3. Treće konceptijsko rješenje

Treće konceptijsko rješenje izvedeno je nalik prvom, ali su segmentni dijelovi povezani drukčije. Povezani su kao u četvrtom konstrukcijskom rješenju i kao na Slika 3.3. Svaki segment izrađen je od tri dijela: unutarnji dio, malo izmaknut u stranu s utorima za zube prema unutra, a vanjska dva s zubima prema unutra kako bi se zakačili na sljedeći dio i tako ostvarili spoj koji je vrlo sličan sistemu utor-pero. Sva tri dijela segmenta spojena su vijcima. Nedostatak ovog koncepta je nemogućnost osiguravanja segmenata od ispadanja. Ovo rješenje kao i prvo ima navojno vreteno koje vrši gibanje jedne pomične čeljusti dok je druga fiksirana u kućište stege. Spoj navojnog vretena s pogonskim sustavom izveden je pomoću kolutne spojke koja je direktno spojena s izlaznim vratilom reduktora.



Slika 3.3 Spoj segmentnih dijelova

#### 4. IZBOR NAJPOGODNIJEG KONCEPTA ZA ZADANE PROJEKTNE ZAHTJEVE

U ovom koraku odabrat će se jedno od navedena tri koncepta te će se s njim ići u daljnju konstrukcijsku razradu i detaljniji prikaz njegovih dijelova.

Za kriterije odabira najboljeg koncepta odabrani su:

- **Jednostavnost izvedbe** - ovaj kriterij obuhvaća nekoliko bitnih aspekata koji utječu na jednostavnost proizvodnje, montaže, demontaže i održavanja konstrukcije. Jednostavnost izvedbe je važna za smanjenje troškova proizvodnje, za povećanje pouzdanosti i dugovječnosti sustava.
- **Jednostavnost: broj dijelova** - ovaj kriterij se odnosi na ukupan broj komponenti koje čine konstrukciju te kako njihov broj utječe na proizvodnju, montažu, održavanje i troškove.
- **Mogućnost održavanja** - odnosi se na lakoću pregleda, čišćenja, podmazivanja, popravka i zamjene dijelova unutar konstrukcije. Dobra izvedba omogućava jednostavno i brzo održavanje, čime se smanjuju troškovi, produžava vijek trajanja sustava i povećava pouzdanost.
- **Jednostavnost obrade dijelova** - odnosi se na lakoću proizvodnje, oblikovanja i dorade pojedinih dijelova konstrukcije. Jednostavnija obrada smanjuje troškove proizvodnje, ubrzava izradu i omogućava lakšu automatizaciju u serijskoj proizvodnji.
- **Mogućnost greške** - odnosi se na vjerojatnost nastanka grešaka tijekom proizvodnje, sklapanja, korištenja ili održavanja stege. Najbolji koncept treba minimalizirati mogućnost ljudskih i alatnih grešaka kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost u radu.
- **Očuvanje okoliša** - odnosi se na smanjenje negativnog utjecaja na prirodu tijekom cijelog životnog ciklusa proizvoda. Budući da svi koncepti imaju sličnu namjenu i način funkcioniranja najveću razliku činit će količina materijala potrošena za izradu.

Tablica 4.1 Odabir najpogodnijeg koncepta

Kriterij odabira	K1(REF)	K2	K3
Jednostavnost izvedbe	0	-	-
Jednostavnost: Broj dijelova	0	-	-
Mogućnost održavanja	0	0	0
Jednostavnost obrade dijelova	0	+	+
Mogućnost greške	0	0	-
Očuvanje okoliša	0	-	0
Zbroj (+)	0	1	1
Zbroj (0)	5	2	2
Zbroj (-)	0	3	3
<b>Neto zbroj</b>	0	-2	-2
<b>Rang</b>	<b>1</b>	2	2
<b>Nastaviti?</b>	<b>DA</b>	NE	NE

U Tablica 4.1 se može vidjeti usporedba rezultata odabranih konceptijskih rješenja s obzirom na odabrane parametre. Za daljnju konstrukcijsku razradu odabran je prvi koncept kao što se možda moglo i pretpostaviti, budući da ima najpraktičnije spojeve segmenata i najjednostavniji pogon čeljusti. Također, što je najbitnije, može zadovoljiti sve zadane parametre na mnogo jednostavniji način nego ostali koncepti.

## 5. PRORAČUN I OBLIKOVANJE POGONSKOG SUSTAVA

Pogonski sustav odabranog koncepta stege izveden je pomoću elektromotora koji je povezan s reduktorom. Izlazno vratilo reduktora je preko školjkaste spojke povezano s navojnim vretenom koje pokreće čeljust fraktalne stege. Proračun i oblikovanje pojedinih dijelova pogonskog sustava krenut će od poznate vrijednosti najveće sile pritezanja koja iznosi

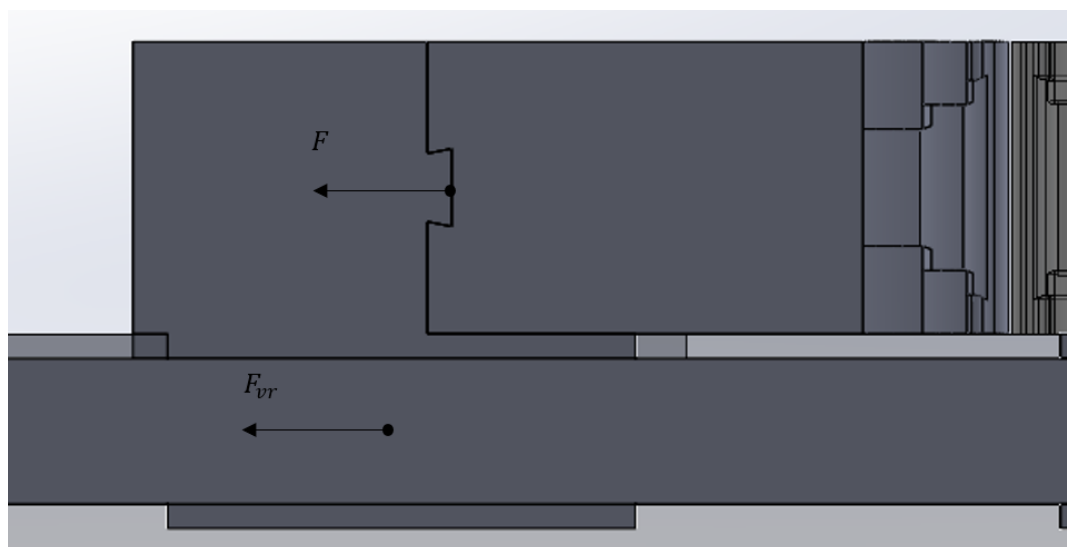
$F = 10\,000\text{N}$  i najveće brzine zatvaranja stege  $v = 0,005\text{m/s}$ . Sila pritezanja će se preko čeljusti stege prenositi na navojno vreteno u kojem će se uslijed te sile javiti normalno vlačno naprezanje, naprezanje uslijed savijanja te torzijsko naprezanje. Pomoću brzine zatvaranja stege dobit će se potrebna brzina vrtnje vretena. Preko školjkaste spojke torzijski moment i brzina vrtnje prenositi će se na reduktor koji će biti izveden pomoću dva zupčanika izračunatog prijenosnog omjera. Konačno, dobit će se početna torzija i brzina vrtnje iz kojih će se izračunati potrebna snaga elektromotora, nakon čega će slijediti odabir elektromotora za pokretanje stege. Prilikom proračuna potrebno je pripaziti da se svi gubitci poput trenja, gubitka na zupčanicima i sl. uzmu u obzir.

### 5.1. Proračun navojnog vretena

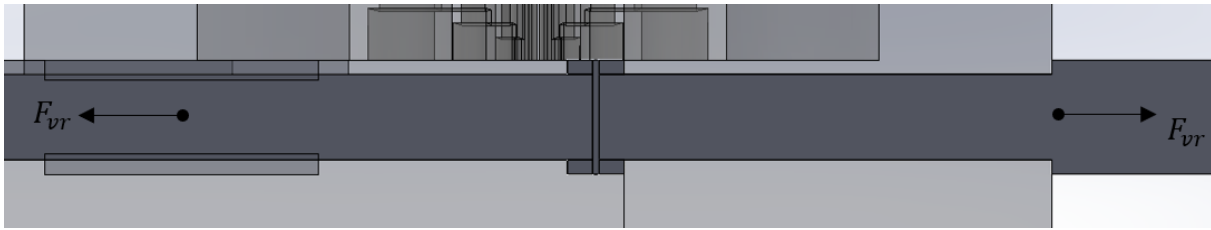
Sve informacije vezane uz proračun su iz Kraut, 2009. i Decker, 2006. ([6] i [7])

#### 5.1.1. Sile na vretenu

Da bi se odredila vrsta i promjer navojnog vretena, mora se izvesti glavni proračun čvrstoće vretena, a za to treba odrediti silu koja djeluje na vreteno. Sila pritezanja  $F = 10\,000\text{N}$  kada stegne obradak, reaktivno djeluje na kućište istim iznosom, a ta sila opterećuje vreteno na način prikazan na Slika 5.1. Budući da će vreteno imati tendenciju gibanja u lijevo, sile reakcija javit će se na desnoj strani kućišta, što je prikazano slikom Slika 5.2.



Slika 5.1 Sila koja djeluje na vreteno

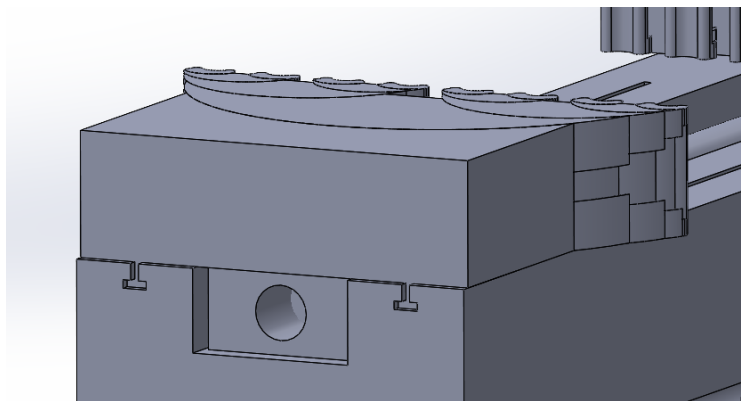


Slika 5.2 Sile reakcija na vretenu

Iz slika se može vidjeti da je vreteno opterećeno vlačnom silom:

$$F_{vr} = F = 10\,000\text{N} \quad (1)$$

Budući da navojno vreteno ne smije biti opterećeno momentom, a sila  $F$  ima krak pa bi trebala raditi moment, napravljene su vodilice pomične čeljusti vratila koje su izvedene kao T-profil kako bi preuzele moment koji bi opterećivao vreteno i također sprječavaju vertikalni pomak čeljusti. Vodilice su prikazane na Slika 5.3.



Slika 5.3 T-vodilice

### 5.1.2. Promjer vretena

Kako bi se odredio promjer vretena potrebno je izračunati normalno naprezanje u vretenu  $\sigma_{vr}$  te ga usporediti s dopuštenim naprezanjem  $\sigma_{vr\_dop}$  po formuli:

$$\sigma_{vr} < \sigma_{vr\_dop} \quad (2)$$

Da bi se odradio  $\sigma_{vr\_dop}$  potrebno je definirati da li je vreteno opterećeno istosmjerno ili naizmjenično. Pomična čeljust se mora gibati i lijevo i desno, što znači da vratilo mijenja smjer vrtnje, ali budući da se sila pritezanja ostvariva samo u jednom smjeru, ovo navojno vreteno biti će opterećeno istosmjerno. Vrijednost dopuštenog naprezanja iznositi će  $\sigma_{vr\_dop} \approx 0,2\sigma_M$ , a vratilo će biti izrađeno od materijala St 60 ( $\sigma_M = 600\text{N/mm}^2$ ).

$$\sigma_{vr\_dop} \approx 0,2\sigma_M = 0,2 \times 600 = 120\text{N/mm}^2 \quad (3)$$



U izraz (2) (2) uvrste izrazi:

$$\sigma_{vr} = \frac{F}{A_j} \quad (4)$$

$$A_j = \frac{d_3^2 \pi}{4} \quad (5)$$

te dobijemo:

$$d_3 > \sqrt{\frac{4F}{\sigma_{vr\_dop}\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 10000}{120\pi}} = 10,3\text{mm} \quad (6)$$

$A_j$  – poprečni presjek jezgre navoja ( $\text{mm}^2$ )

$d_3$  – promjer jezgre navoja (mm)

Budući da će vreteno biti opterećeno i momentom torzije odabire se navoj **Tr 20 x 2** koji ima dimenzije:

Korak navoja:  $P = P_h = 2\text{mm}$

Vanjski promjer navoja:  $d = 20\text{mm}$

Srednji promjer navoja:  $d_2 = 19\text{mm}$

Promjer jezgre navoja:  $d_3 = 17,5\text{mm}$

Poprečni presjek jezgre navoja:  $A_j = 241\text{mm}^2$

### 5.1.3. Proračun čvrstoće vretena

Poznavanjem svih dimenzija vretena potrebnih za proračun, možemo izračunati ekvivalentno (reducirano) naprezanje  $\sigma_{red}$ .

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{vr}^2 + 3\tau_{vr}^2} = \sqrt{41,49^2 + 3 \times 29,96^2} = 66,44\text{N/mm}^2 \quad (7)$$

$\sigma_{vr}$  – normalno naprezanje u vretenu ( $\text{N/mm}^2$ )

$\tau_{vr}$  – torzijsko naprezanje u vretenu ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{vr} = \frac{F}{A_j} = \frac{10000}{241} = 41,49\text{N/mm}^2 \quad (8)$$

$$\tau_{vr} \approx \frac{T_{pr}}{0,2d_3^3} = \frac{32109,71}{0,2 \times 17,5^3} = 29,96 N/mm^2 \quad (9)$$

$$T_{pr} = T_{vr} + T_R = 7109,71 + 25000 = 32109,71 Nmm \quad (10)$$

$T_{pr}$  – pogonski moment okretanja (Nmm)

$T_{vr}$  – moment torzije vretena (Nmm)

$T_R$  – moment trenja naslona na kućište (Nmm)

$$T = F_t \cdot r_2 = 748,39 \times \frac{19}{2} = 7109,71 Nmm \quad (11)$$

$F_t$  – obodna sila na srednjem promjeru vretena (N)

$r_2$  – srednji polumjer  $d_2/2$  (mm)

$$F_t = F \cdot \tan(\alpha + \rho') = 10000 \times \tan(1,91 + 2,37) = 748,39 N \quad (12)$$

$\alpha$  – kut boka navoja ( $^\circ$ )

$\rho'$  – kut trenja navoja ( $^\circ$ )

$$\tan \alpha = \frac{P_h}{d_2 \cdot \pi} = \frac{2}{19 \times \pi} \rightarrow \alpha = 1,91^\circ \quad (13)$$

$$\tan \rho' = \frac{\mu_N}{\cos \beta} = \frac{0,04}{\cos 15} \rightarrow \rho' = 2,37^\circ \quad (14)$$

$\mu_N$  – koeficijent trenja na bokovima navoja,  $\mu_N = 0,04$  za čisto dorađene i dobro podmazane bokove

$\beta$  – bočni kut navoja ( $^\circ$ ),  $\beta = 15^\circ$  za trapezni navoj

Da bi se ispunio zadani uvjet da se ostvarena sila pritezanja mora održati uz isključen motor, vreteno mora biti samokočno.

Uvjet samokočnosti:

$$\rho' \geq \alpha \quad (15)$$

U ovom slučaju:

$$\rho' = 2,73^\circ \geq \alpha = 1,91^\circ \quad (16)$$

### Uvjet samokočnosti je ispunjen!

Sila pritezanja ostvarena pri stezanju ostat će prisutna uz isključen motor!

Treba uzeti u obzir da će zadebljanje vretena desno od kućišta koje sprječava aksijalni pomak također raditi trenje  $T_R$ :

$$T_R = F \cdot \mu_a \cdot R_{sr} = 10000 \times 0,2 \times \frac{20 + 30}{4} = 25000 Nmm \quad (17)$$

$\mu_a$  – koeficijent trenja između vretena i kućišta,  $\mu_a = 0,2$  za dodir čelik/čelik

$R_{sr}$  – srednji promjer oslonca  $\frac{d_u + d_v}{4}$

Da bi odabrano navojno vreteno zadovoljilo uvjet čvrstoće mora vrijediti:

$$\sigma_{red} < \sigma_{vr\_dop} \quad (18)$$

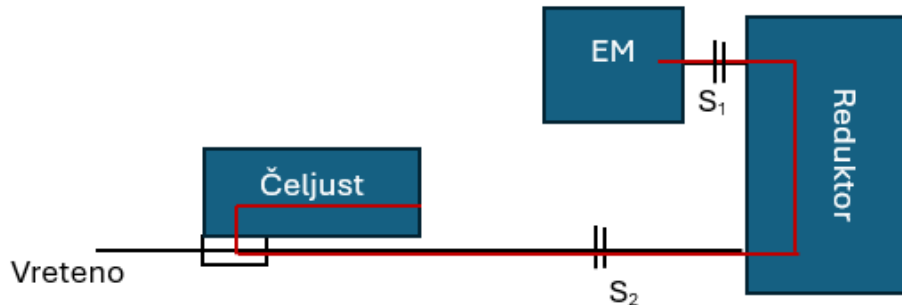
$$\sigma_{red} = 66,44 N/mm^2 < \sigma_{vr\_dop} = 120 N/mm^2 \quad (19)$$

### Navojno vreteno zadovoljava!

Treba napomenuti da se i proračunu nisu uzimale u obzir sila trenja između pomične čeljusti i kućišta koja se javlja tijekom primicanja čeljusti te moment trenja koji se javlja na mjestu gdje vreteno prolazi kroz kućište. Naprezanje je daleko ispod dopuštene vrijednosti pa se može zaključiti da bi zadovoljilo i da smo ih uzeli u obzir budući da one ovise o težinama pojedinih dijelova koje su jako male u usporedbi sa silom pritezanja koja najviše opterećuje vreteno.

## 5.2. Odabir motora i reduktora

Kako bi se točno odredile karakteristike potrebnog motora i reduktora potrebno je detaljnije opisati tok snage koji prikazuje Slika 5.4.



Slika 5.4 Tok snage

Snaga koju daje motor prolazi kroz spojku 1, reduktor, spojku 2 i navoj te na kraju izlazi iz sustava obliku sile pritezanja i njoj pripadajuće brzine.

Snaga na izlazu se može izračunati pomoću izraza:

$$P_{izl} = F \times v = 10000 \times 0,005 = 50W \quad (20)$$

$F$  – najveća sila pritezanja (N)

$v$  – najveća brzina zatvaranja stege (m/s)

Pomoću snage na izlazu može se, preko stupnjeva djelovanja strojnih dijelova, izračunati snaga na ulazu, tj. Snaga koja nam je potrebna na motoru:

$$P_{ul} = \frac{P_{izl}}{\eta_{vr}\eta_{s2}\eta_r\eta_{s1}} = \frac{50}{0,21 \times 0,98 \times 0,9 \times 0,98} = 275,46W \approx 0,3kW \quad (21)$$

$\eta_{vr}$  – stupanj djelovanja navojnog vretena

$\eta_{s1}$  – stupanj djelovanja spojke 1, kruta školjkasta spojka  $\eta_{s1} \approx 0,98$

$\eta_r$  – stupanj djelovanja reduktora,  $\eta_r \approx 0,9$

$\eta_{s2}$  – stupanj djelovanja spojke 2, kruta školjkasta spojka  $\eta_{s2} \approx 0,98$

$$\eta_{vr} = \frac{1}{\frac{\tan(\alpha + \rho')}{\tan \alpha} + \frac{\mu_a \cdot D_{sr} \cdot \pi}{P_h}} = \frac{1}{\frac{\tan(1,91 + 2,37)}{\tan 1,91} + \frac{0,2 \times 8 \times \pi}{2}} = 0,21 \quad (22)$$

Može se vidjeti da je stupanj djelovanja dosta nizak što je najviše posljedica trenja koje se gubi na kontaktu vretena s kućištem.

Proračunom ulazne snage dobivamo vrijednost te pomoću sljedećeg izraza odabiremo motor:

$$P_{EM} > P_{ul} = 0,3kW \quad (23)$$

Odabran je elektromotor tvrtke „Simo“ pod nazivom „YE3“ nazivne snage 0,37kW i brzinom okretaja 500okr/min.

Budući da motor isporučuje konstantnu brzinu vrtnje trebamo pronaći koliki nam more biti prijenosni omjer reduktora da dobijemo željenu brzinu na izlazu.

$$i = \frac{n_{EM}}{n_{vr}} = \frac{8,333}{0,25} = 33,333 \quad (24)$$

$n_{EM}$  – brzina vrtnje elektromotora (okr/s)

$n_{vr}$  – brzina vrtnje vretena (okr/s)

$$n_{EM} = \frac{500}{60} = 8,333okr/s \quad (25)$$

$$P_{vr} = T_{vr} \times 2\pi n_{vr} \quad (26)$$

$P_{vr}$ - snaga na vratilu  $P_{vr} = P_{izl} = 50W$

$$n_{vr} = \frac{P_{vr}}{T_{pr} \times 2\pi} = \frac{50}{32,11 \times 2\pi} = 0,25okr/s \quad (27)$$

Izračunatim prijenosnim omjerom odredili smo koji bi reduktor trebao, budući da je omjer dosta specifičan, najbolje ga je izvesti pomoću remenskog prijenosa.

Moment potreban na elektromotoru iznosi:

$$T_{EM} = \frac{T_{pr}}{\eta_{vr} \eta_{s2} \eta_r \eta_{s1} \times i} = \frac{32,11}{0,21 \times 0,98 \times 0,9 \times 0,98 \times 33,3} = 5,31 Nm \quad (28)$$

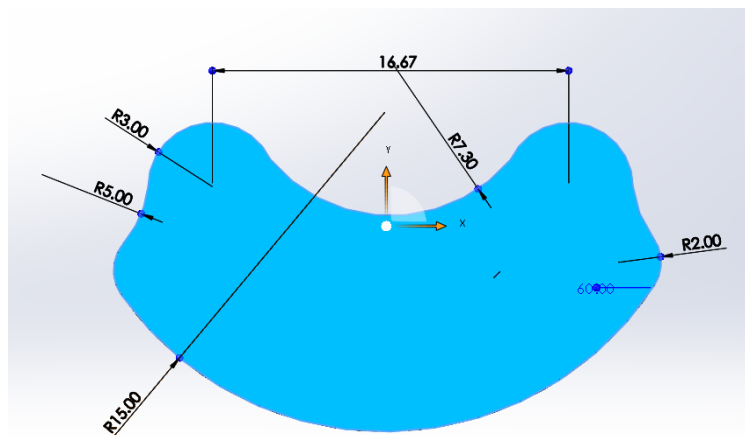
što motor sigurno može podnijeti.

## 6. PRORAČUN I OBLIKOVANJE ČELJUSTI I OKVIRA STEGE

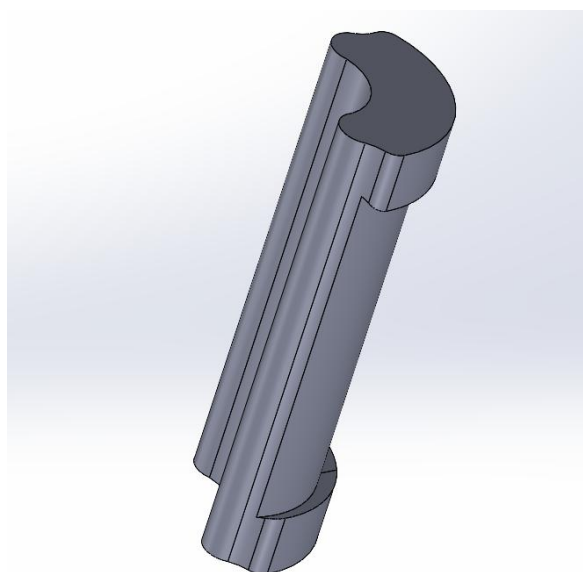
### 6.1. Oblikovanje čeljusti

#### 6.1.1. Segment 4

Oblikovanje čeljusti kreće od najmanjih segmenata. S obzirom da imamo zadanu širinu zahvala  $L = 250\text{mm}$  i broj kontaktnih točaka  $n = 16$ . Ako se tih 16 točaka jednako raspoređi po cijeloj dužini, pri čemu su prva i zadnja točka na samim rubovima, dobijemo 15 jednakih dužina duljine  $16,6667\text{mm}$ . Toliko će biti razdvojene dvije kontakte točke prvog segmenta, a ostale dimenzije odrediti će se eksperimentalno. Visina segmenta mora biti jednaka zadanoj visini zahvata  $h = 60\text{mm}$ . Sa stražnje strane segmenta potrebno je izraditi vodilice pomoću kojih će se segment spojiti na sljedeći. Dimenzije i izgled segmenta 4 prikazane su na Slika 6.1 i Slika 6.2 .



Slika 6.1 Dimenzije segmenta 4

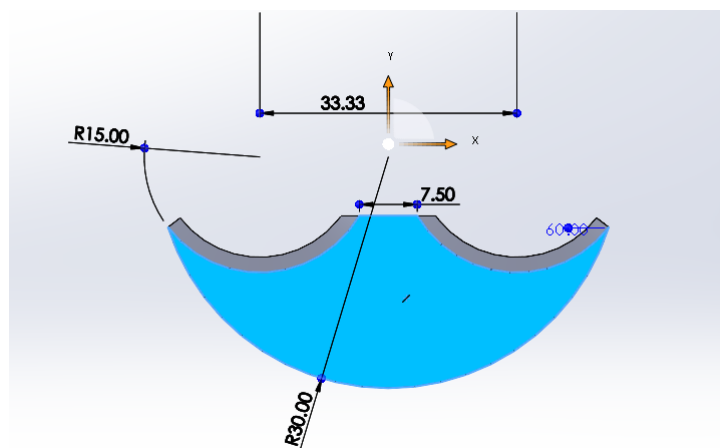


Slika 6.2 Izgled segmenta 4

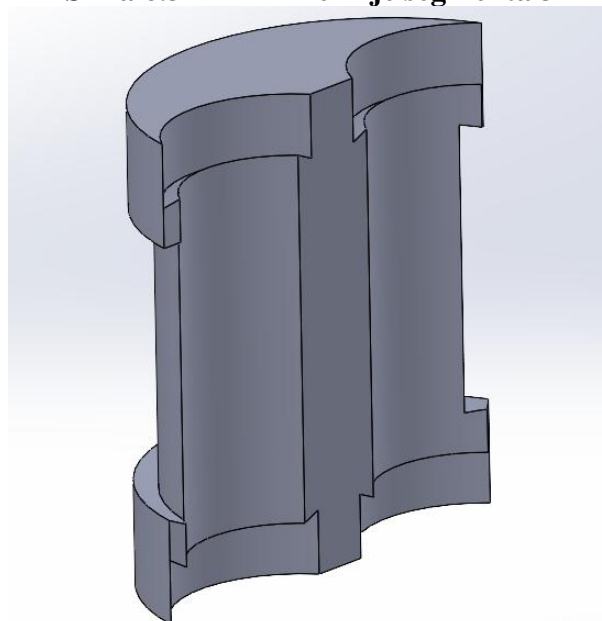
### 6.1.2. Segment 3

Pri oblikovanju segmenta 3 potrebno je pripaziti da polumjer na prednjoj strani bude jednak stražnjoj strani segmenta 4 i da se njihove vodilice mogu uklopiti. Bitno je da dva polumjera na prednjoj strani budu pozicionirani na dobroj udaljenosti, kako bi kontaktne točke segmenta 4 bili jednoliko raspoređene. Nadalje, može se primijetiti da su sljedeća dva segmenta, 2 i 1, potpuno identični kao segment 2 samo duplo veći. Zbog toga, pri dimenzioniranju segmenta 3 treba paziti da polumjer s prednje i stražnje strane budu točno u omjeru 1:2 kako bi sljedeći segment, ako je duplo veći, točno legao na taj polumjer. Budući da je segment 3 nešto veći od segmenta 4, širina njegovih vodilica biti će veća, a vertikalni razmak između gornje i donje vodilice manji kako ne bi bila narušena geometrija segmenta.

Dimenzije i izgled segmenta 3 prikazane su na Slika 6.3 i Slika 6.4.



**Slika 6.3 Dimenzije segmenta 3**



**Slika 6.4 Izgled segmenta 3**



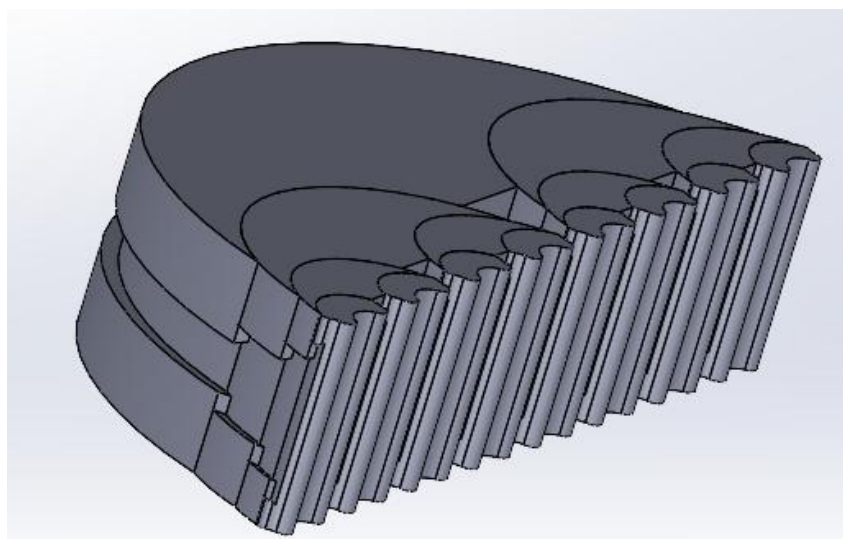
### 6.1.3. Segmenti 2 i 1

Kao što je spomenuto u prošlom dijelu, segment 2 je identičan kao segment 3 samo dva puta veći, a segment 1 je dva puta veći od segmenta 2. Za modeliranje ova dva segmenta u Solidworksu korištena je opcija *scale* po  $x$  i  $y$  osi budući da nam visina segmenta ( $z$  os) mora ostati jednaka.

### 6.1.4. Sklapanje čeljusti

Prilikom modeliranja bilo je ključno osigurati da svi segmenti imaju pravilno određene promjere i da njihovi spojevi omogućuju nesmetanu rotaciju.

Glavni izazov bio je odrediti promjere tako da se svaki fraktal segmenata može rotirati za  $360^\circ$  bez da dodirne jedan od prethodnih. Svaka vodilica trebala se izraditi tako da može točno i glatko klizati po slijedećoj. Ako su svi uvjeti ispunjeni, čeljust se može sklopiti u kompaktan oblik, kao što je prikazano na Slika 6.5.



Slika 6.5 Sklop čeljusti

## 6.2. Oblikovanje kućišta

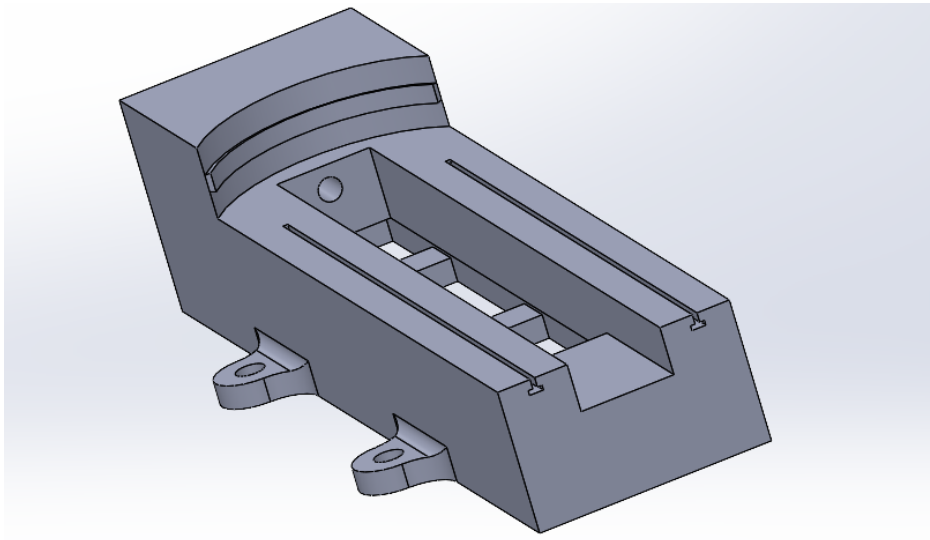
Kućište se sastoji od dva dijela, glavnog kućišta i kućišta pomične vilice.

Prvi dio, glavno kućište, vijcima se pričvršćuje za radni stol i osigurava stabilnost cijele konstrukcije. Na samom vrhu nalazi se prihvat za nepomičnu i vodilice za pomičnu čeljust, koji osiguravaju stabilno i nesmetano stezanje obratka. Kroz samu sredinu kućišta mora biti omogućen prolaz i rotacija navojnog vretena i matice koja povezuje pomični dio s mehanizmom stezanja. Budući da sredina mora biti šuplja kako bi se omogućila funkcija navojnog vretena, na samom dnu kućišta postavljena su rebra u blizini provrta za vijke kako bi dodatno osigurala čvrstoću cijele konstrukcije

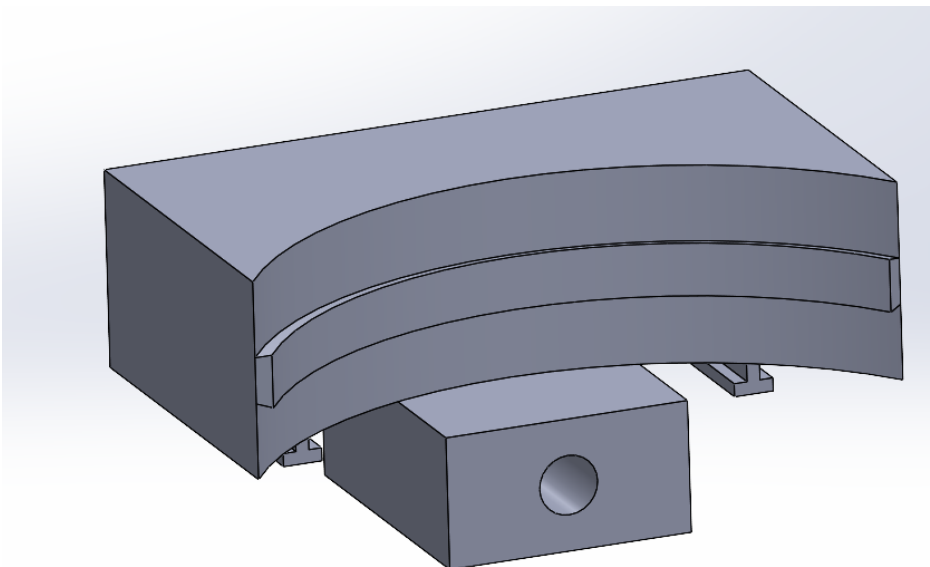
Kućište pomične vilice mora osigurati prihvat svoje čeljusti i stabilno gibanje po površini nepomičnog dijela. Tome služe T-vodilice koje sprječavaju pomak čeljusti u svim smjerovima osim u potrebnom, aksijalnom. Prikazane su na Slika 5.3.

Za dno pomičnog dijela kućišta pričvršćena je matica koja svojim gibanjem po vretenu obavlja glavnu funkciju ove stege.

Slika 6.6 i Slika 6.7 prikazuju oba dijela kućišta.



**Slika 6.6**      **Glavni dio kućišta**

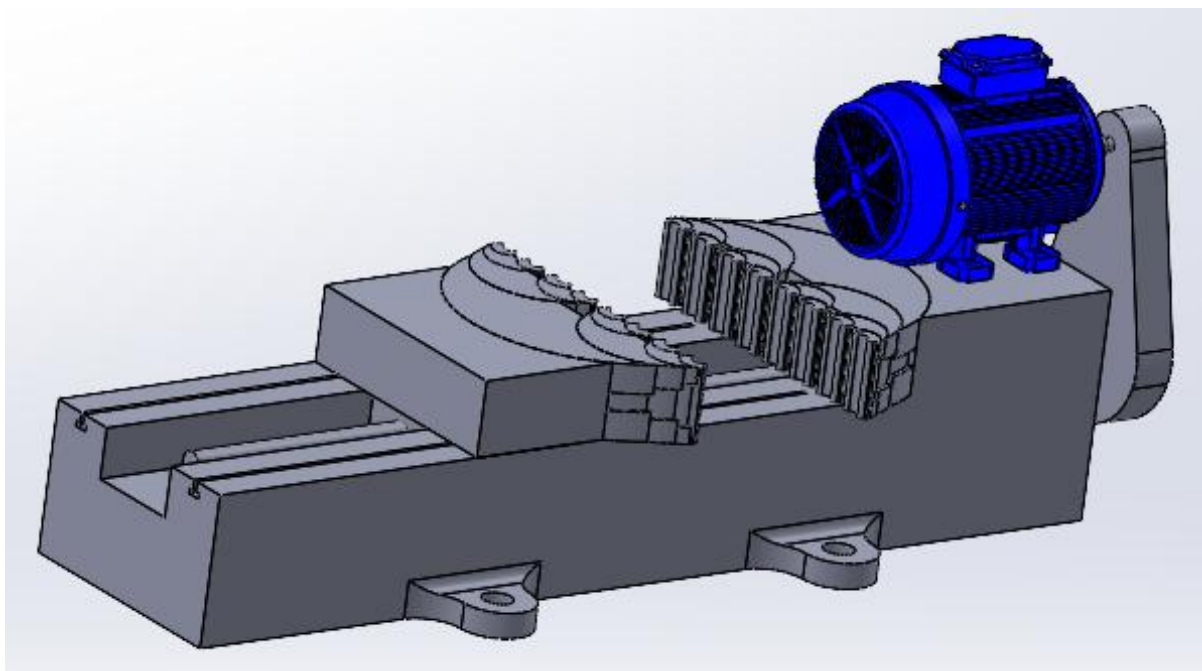


**Slika 6.7**      **Pomični dio kućišta**

### 6.3. Čvrstoća čeljusti i kućišta

Svaki dio kućišta i čeljusti dovoljno je velik da izdrži predviđena opterećenja tijekom stezanja obratka. Međutim, najkritičniji dio cijele stega je segment 4, koji dolazi u izravan kontakt s obratkom i ujedno je najmanji element konstrukcije. Budući da segment 4 dodiruje obradak u samo jednoj točki, naprezanja na tom dijelu teoretski idu u beskonačnost. U stvarnim uvjetima, to znači da su upravo tu najveća opterećenja i mogućnost lokalnog oštećenja je najveća. Kako bi se smanjio rizik od puknuća, radnik koji koristi stegu mora biti pažljiv pri stezanju, pogotovo kada obrađuje materijale veće čvrstoće od same čeljusti. U slučaju prekomjernog stezanja ili korištenja izuzetno tvrdih materijala, moglo bi doći do oštećenja ili loma čeljusti.

Pošto su segmenti izrađeni od zakaljenog čelika, imaju visoku otpornost na oštećenje i lom. Upravo zbog toga, situacije u kojima bi došlo do oštećenja nisu česte, ali malo veća odgovornost i pravilno rukovanje stegom dodatno smanjuju rizik od oštećenja najmanjih dijelova.



Slika 6.8 Fraktalna stega

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu detaljno je analizirana te konstruirana i izračunata fraktalna stega s motornim pogonom. Istraživanjem postojećih konstrukcijskih rješenja i njihovom usporedbom, uočene su prednosti i nedostaci različitih pristupa što je rezultiralo odabirom optimalnog koncepta prilagođenog zadanim zahtjevima projekta. Proračuni glavnih komponenti sustava; navojnog vretena, elektromotora i reduktora napravljeni su kako bi se osiguralo da stega ispravno radi i zadovoljava uvjete čvrstoće, preciznosti i trajnosti. Dimenzije i oblici čeljusti i kućišta razvijeni su s ciljem postizanja stabilnog i pouzdanog stezanja izradaka različitih geometrijskih oblika i veličina. Glavni izazov bio je dimenzionirati dijelove čeljusti kako treba, kako bi mogli dobro i sigurno stegnuti obradak bez oštećenja. Potrebna snaga sustava proizašla je iz odabira pravih materijala i dijelova. Iako je segment 4 identificiran kao najkritičniji dio konstrukcije, njegova izvedba od zakaljenog čelika osigurava dovoljno visoku otpornost na trošenje i lom.

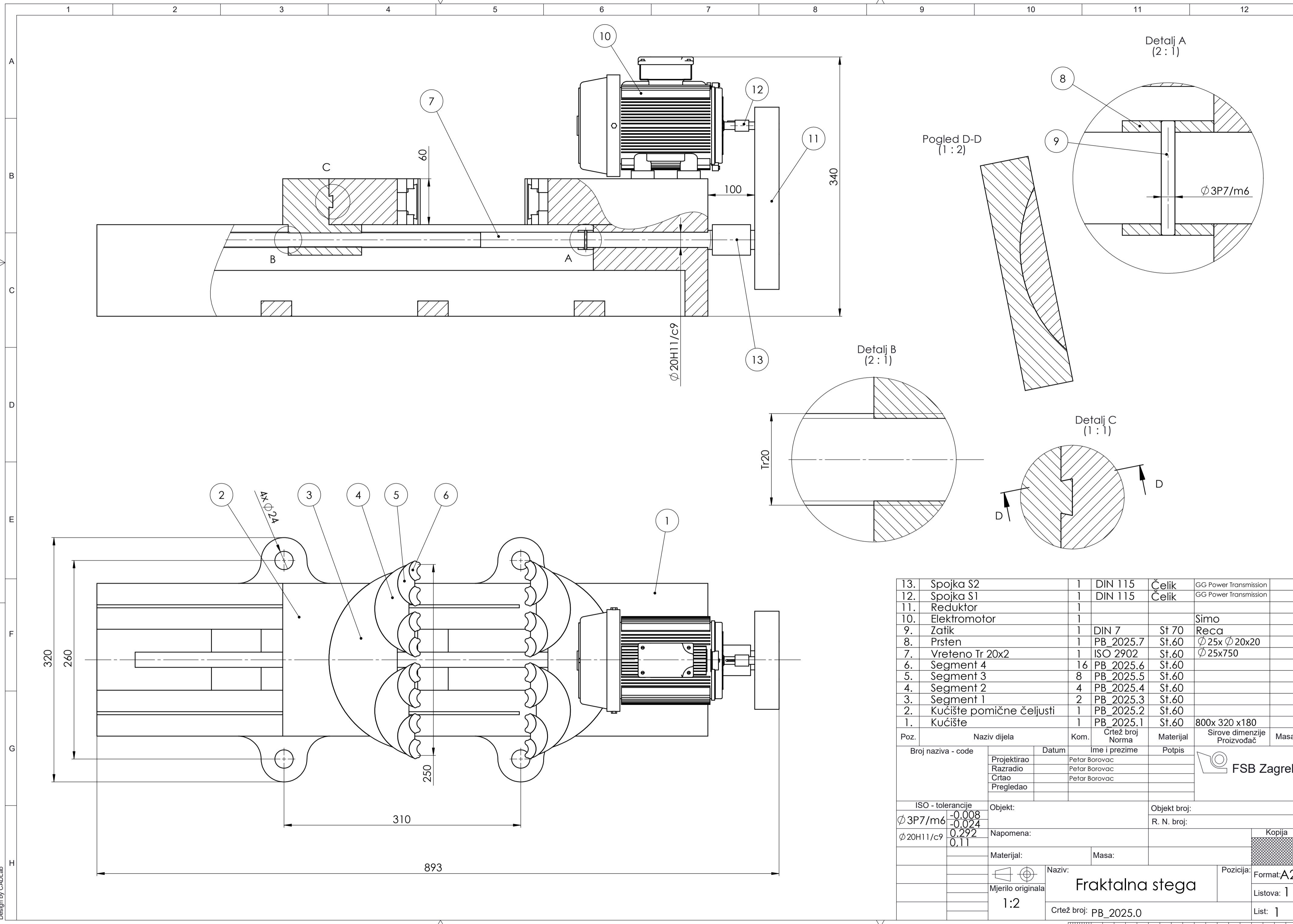
Zaključno, ovaj rad predstavlja cjelovito rješenje fraktalne stege s motornim pogonom, čime se postiže značajno poboljšanje u odnosu na klasične stezaljke. Budući da se u konstrukciji stege primjenjuje fraktalna geometrija, ona će stegnuti sve vrste obradaka nepravilnog oblika s pravilnom raspodjelom naprezanja. Time se povećava preciznost obrade i smanjuje rizik od oštećenja obratka, što ovu stegu čini prikladnim alatom za modernu industrijsku primjenu.

## LITERATURA

- [1] Kunze, P.K. (1913) Device for establishing intimate contact with, grasping, or clamping bodies of any shape. Američki patent 1059545. Dostupno na: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ef/7c/d3/fd8de0ff0b2f43/US1059545.pdf> (Pristupljeno: 15. veljače 2025.).
- [2] American Machinist (1923) *Mantle & Co. stega*, *American Machinist*, sv. 58, br. 17, 28. travnja, str. 644. Dostupno na: <http://www.vintagemachinery.org/mfgindex/images/22651-A.jpg> (Pristupljeno 16. veljače 2025.).
- [3] Hand Tool Rescue (2023) *Fractal Vise Restoration*. YouTube video, 8. svibnja. Dostupno na: [https://www.youtube.com/watch?v=QBeOgGt\\_oWU&t=1s&ab\\_channel=HandToolRescue](https://www.youtube.com/watch?v=QBeOgGt_oWU&t=1s&ab_channel=HandToolRescue) (Pristupljeno: 15. veljače 2025.).
- [4] AirGraver (n.d.) *Fractal Vise*. Dostupno na: <https://airgraver.com/fractal-vise.htm> (Pristupljeno: 16. veljače 2025.).
- [5] Plasmatio (n.d.) *Carbon-infused nylon fractal vise*. Dostupno na: <https://plasmatio.com/products/carbon-infused-nylon-fractal-vise> (Pristupljeno: 16. veljače 2025.).
- [6] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [7] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Sajema, 2009.

## **PRILOZI**

[1] Tehnička dokumentacija



13.	Spojka S2	1	DIN 115	Čelik	GG Power Transmission	
12.	Spojka S1	1	DIN 115	Čelik	GG Power Transmission	
11.	Reduktor	1				
10.	Elektromotor	1			Simo	
9.	Zatik	1	DIN 7	St.60	Reca	
8.	Prsten	1	PB_2025.7	St.60	Ø25x Ø20x20	
7.	Vretno Tr 20x2	1	ISO 2902	St.60	Ø25x750	
6.	Segment 4	16	PB_2025.6	St.60		
5.	Segment 3	8	PB_2025.5	St.60		
4.	Segment 2	4	PB_2025.4	St.60		
3.	Segment 1	2	PB_2025.3	St.60		
2.	Kučiste pomične čeljusti	1	PB_2025.2	St.60		
1.	Kučiste	1	PB_2025.1	St.60	800x 320 x180	

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis
Projektirao		Petar Borovac				
Razradio		Petar Borovac				
Crtao		Petar Borovac				
Pregledao						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø3P7/m6 -0.008				R. N. broj:		
Ø20H11/c9 0.292		Napomena:				
0.11						
Materijal:		Masa:				
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:		Kopija
1:2		Fraktalna stega		Format: A2		
		Crtež broj: PB_2025.0		Listova: 1		
				List: 1		