

KONSTRUIRANJE I IZRADA TRANSLACIJSKOG MEHANIZMA MOBILNOG ROBOTA VILJUŠKARA

Mikulčić, Eugen

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:106231>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

KONSTRUIRANJE I IZRADA TRANSLACIJSKOG MEHANIZMA MOBILNOG ROBOTA VILJUŠKARA

Mikulčić, Eugen

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:106231>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-15**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Eugen Mikulčić

**Konstruiranje i izrada translacijskog
mehanizma mobilnog robota viljuškara**

**Construction and prototyping of a
mobile robot forklift translation
mechanism**

Završni rad

Karlovac, 2020. Godine.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
Stručni studij Mehatronike

Eugen Mikulčić



**Konstruiranje i izrada translacijskog
mehanizma mobilnog robota viljuškara**

**Construction and prototyping of a
mobile robot forklift translation
mechanism**

Završni rad

mentor: Denis Kotarski, mag.ing.mech.

Karlovac, 2020. Godine.

	VELEUČILIŠTE U KARLOVCU Trg J.J.Strossmayera 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel. +385 - (0)47 – 843-500 Fax. +385 - (0)47 – 843-503 e-mail: dekanat @ vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/ Ur.broj: 2133-61-04-18-01	
	ZADATAK ZAVRŠNOG /DIPLOMSKOG RADA	Datum:	
Ime i prezime	Eugen Mikulčić		
OIB / JMBG	42708132890		
Adresa	Tina Ujevića 74, 48000 Koprivnica		
Tel. / Mob./e-mail	-	0992773056	eugenmikulcic9@gmail.com
Matični broj studenta	0112616049		
JMBAG	0248060323		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	X	preddiplomski	specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni Studij Mehatronike		
Godina upisa	2016.		
Datum podnošenja molbe			
Vlastoručni potpis studenta/studentice			
Naslov teme na hrvatskom: Konstruiranje i izrada translacijskog mehanizma mobilnog robota viljuškara			
Naslov teme na engleskom: Construction and prototyping of a mobile robot forklift translation mechanism			
Opis zadatka: U završnom radu se razmatra konstruiranje translacijskog mehanizma mobilnog robota viljuškara. U okviru radu potrebno je: <ul style="list-style-type: none"> • opisati mobilne robotske sustave koji se koriste u sklopu industrije 4.0 • konstruirati dijelove translacijskog mehanizma mobilnog robota viljuškara te izraditi sklopni model mehanizma • izraditi dijelove aditivnom tehnologijom (FDM) • testirati mehanizam na mobilnom robotu. 			
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:		

PREDGOVOR

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena u dosadašnjem dijelu obrazovanja te uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji koja mi je omogućila školovanje te bila potpora kroz isto, prijateljima koji su mi pomagali i uljepšavali studijsko doba.

Posebno hvala profesoru i mentoru Denisu Kotarskom, na svim savjetima, prijedlozima i strpljenju u izradi ovog završnog rada.

Eugen Mikulčić

SADRŽAJ:

Sažetak	III
Summary	III
Popis slika:	IV
Popis tablica:	VI
1 UVOD	1
1.1 Mobilni robot	1
2 Mobilni roboti i industrija 4.0	2
2.1 Industrija 4.0	2
2.1.1 Utjecaji industrije 4.0	3
2.1.2 Prednosti i nedostaci industrije 4.0	3
3 Mobilni ROBOT viličar	5
3.1 Matematički opis robota s diferencijalnim pogonom	5
3.2 Mehanizam viličara	7
3.3 Komponente sustava	8
3.3.1 Pogonski motori robota	8
3.4 Konstrukcija mehanizma viljuškara	9
3.4.1 Zupčani par	9
3.4.2 Zubna letva	9
3.4.3 Nosač zubne letve	10
3.4.4 Nosač vilica	10
3.4.5 Osovina gonjenog zupčanika	11
3.4.6 Poklopac zubnih letvi	11
3.4.7 Poklopac nosača vilica	12

3.4.6	Vilice	12
3.5	Izrada dijelova FDM postupkom	12
4	Montaža i testiranje viličira robota	14
4.1	Sklapanje mehanizma	15
4.1.1	Spajanje pogonskog zupčanika sa prirubnicom i spajanje zupčanika s motorom	15
4.1.2	Spajanje motora i nosača vilica	16
4.1.3	Spajanje gonjenog zupčanika na nosač	17
4.1.4	Stavljanje poklopca nosača vilica	18
4.1.5	Spajanje nosača zubne letve i zubne letve	19
4.1.6	Spajanje gornjeg poklopca sa zubnim letvama	21
4.1.7	Montaža vilica na nosač vilica	23
4.2	Montaža mehanizma na mobilni robot	24
4.2.1	Montaža nosača vilica na zubne letve	25
4.3	Testiranje mehanizma	26
5	Zaključak	27
	Literatura	28
	Prilozi	29

SAŽETAK

Danas robote susrećemo svakodnevno. Tako primjerice više nije čudo da vas u kafiću posluži robot, da vam paket ili čak pizzu dostavi dron, da robot razminirava minska polja. Spoznajom razvoja našeg društva za temu završnog rada odabran je mobilni robot viličar. Za izradu rada potrebno je računalo, program za 3D modeliranje (Autodesk Fusion 360), 3D printer i komponente robota. Prilikom razrade teme rada dolazi do problema na koji način riješiti problem translacijskog gibanja vilica. Nakon par razmotrenih rješenja, odabran je zupčani par kao izvršni translacijski član elektromotornog aktuatora. Zatim je uslijedio problem konstrukcije viličara te su modelirani i izrađeni elementi koji omogućuju mehaničko gibanje i ostvarivanje potrebne sile mehanizma. Elementi su međusobno povezani u sklop oblikom, rastavljivim i nerastavljivim spojevima.

SUMMARY

Today we meet robots every day. So, for example, it is no longer a miracle that a robot serves you in a cafe, that a package or even a pizza is delivered to you by a drone, that a robot clears minefields. With the knowledge of the development of our society, a mobile robot forklift was chosen for the topic of the final project. The project requires a computer, a 3D modeling program (Autodesk Fusion 360), a 3D printer, and robot components. During the elaboration of the topic of the paper, there is a problem of how to solve the problem of the translational movement of the jaws. After a couple of solutions, the gear pair was selected as the executive translational member of the electric motor actuator. Then followed the problem of forklift construction and modeled and fabricated elements that allow mechanical movement and achieve the required force of the mechanism. The elements are interconnected in the assembly by shape, detachable and non-detachable joints.

POPIS SLIKA:

Slika 1: Testni mobilni robot u hrvatskoj pošti	2
Slika 2: Industrija 4.0 - shematski prikaz	3
Slika 3: Mobilni robot s diferencijalnim pogonom	5
Slika 4: Prikaz robota u kartezijskom koordinatnom sustavu.....	6
Slika 5 Čelni viličar.....	7
Slika 6 Regalni viličar.....	7
Slika 9: Dijelovi mehanizma viličara.....	9
Slika 10: Zupčani par	9
Slika 11: Zubna letva	10
Slika 12: Nosač zubne letve	10
Slika 13: Nosač vilica.....	11
Slika 14: Osovina gonjenog zupčanika	11
Slika 15: Poklopac zubnih letvi.....	11
Slika 16: Poklopac nosača vilica	12
Slika 17: Vilice.....	12
Slika 18: Prikaz 3D ispisa	13
Slika 19: Prikaz elemenata u „sliceru“	13
Slika 20: Isprintani elementi sklopa.....	14
Slika 21: Servo motor, prirubnica, pogonski zupčanik i vijci.....	15
Slika 22: Prirubnica montirana na pogonski zupčanik.....	15
Slika 23: Pogonski zupčanik montiran na servo motor.....	15
Slika 24: Motor, vijci i nosač vilica	16
Slika 25: Spojeni motor i nosač vilica.....	16
Slika 26: Nosač vilica, osovina gonjenog zupčanika i gonjeni zupčanik.....	17
Slika 27: Zupčani par i nosač vilica	17
Slika 28: Sastavljen nosač vilica prednja strana	18
Slika 29: Sastavljen nosač vilica stražnja strana	18
Slika 30: Nosač zubne letve i zubna letva stražnja strana.....	19
Slika 31: Nosač zubne letve i zubna letva prednja strana	19
Slika 32: Spajanje stegom – sušenje ljepila	20

Slika 33: Spoj nosača i zubne letve.....	20
Slika 34: Gornji poklopac i zubne letve.....	21
Slika 35: Sastavljen poklopac i zubne letve.....	21
Slika 36: Spoj poklopca i zubne letve sa unutarnje strane.....	22
Slika 37: Spoj poklopca i zubne letve sa vanjske strane.....	22
Slika 38: Nosač vilica i vilice.....	23
Slika 39: Sastavljen nosač i vilice.....	23
Slika 40: Mobilni robot i zubne letve sa nosačima i poklopcem.....	24
Slika 41: Spojen mobilni robot sa zubnim letvama.....	24
Slika 42: Mobilni robot sa zubnim letvama i nosač vilica sa vilicama.....	25
Slika 43: Mobilni robot sa sastavljenim viličarem.....	25

POPIS TABLICA:

Tablica 1: Specifikacije FS5103R [9]	8
Tablica 2: Specifikacije FR5311M [10].....	8

1 UVOD

Robotika je primijenjena tehnička znanost koja predstavlja spoj strojeva i računalne tehnike. Ona uključuje različita područja kao što su projektiranje strojeva, teoriju upravljanja i regulacije, računalno programiranje, mikroelektroniku. Drugim riječima, robotika je interdisciplinarna znanost koja pokriva područja mehanike, elektronike, informatike i automatizacije [1].

1.1 Mobilni robot

Mobilni roboti su pokretani i manipulativni fizički sustavi sposobni za autonomno gibanje kroz nestrukturirani prostor ostvarujući pritom interakciju s okolinom. Postoji mnogo različitih vrsta mobilnih robota, a razlikuju se po građi sustava za pokretanje, navođenje, itd. Pa tako postoje mobilni roboti pokretani kotačima, nogama, gusjenicama, podvodni roboti itd. Postoji i podjela na autonomne mobilne robote i teleoperatorske mobilne robote. Autonomni mobilni roboti razlikuju se od teleoperatorskih mobilnih robota po razini sposobnosti samostalnog izvođenja zadatka. Radni zadaci mobilnih robota uvelike se razlikuju od radnih zadataka industrijskih robota [2]. U početku njihova razvoja te razlike se nisu toliko uočavale, ali razvojem industrijske robotike, razvijali su se i mobilni roboti. Od pedesetih do sredine osamdesetih godina ovog stoljeća, mobilna robotika se svrstavala u podskupinu industrijske robotike. Ali od sredine osamdesetih godina mobilna se robotika počinje izdvajati u samostalnu, prije svega znanstvenu disciplinu, koja se, za razliku od industrijske robotike, temelji na iskustvima bioloških istraživanja građe i ponašanja živih organizama. Svaki mobilni robot mora imati sustav za pokretanje, sustav za navođenje i upravljački sustav [3].

2 MOBILNI ROBOTI I INDUSTRIJA 4.0

Velik dio posla u skladištima rade ljudi koji premještaju robu s polica na police, s paleta na palete. Inače si često pomažu s kolicima i viljuškarima, ali u konačnici premještanje artikala na police čovjek radi sam. [4] Najveći problem kod toga je briga za ljudsko zdravlje, prilikom podizanja težih predmeta čovjek je u opasnosti od narušavanja vlastitog zdravlja. Također za čovjeka se ne može sa 100%-tnom sigurnošću reći da će svaki puta zadatak napraviti identično kvalitetno kao i predhodni puta. Na to utječe više faktora: umor, neki privatni problemi, bolest,... Zbog takvih situacija firme koje imaju velika skladišta posežu za pametnim skladištima gdje se nastoji čovjeka u potpunosti zamijeniti robotskim sustavima na obavljanju opasnih, napornih i monotonih poslova u skladištu. Jedno od najvećih pametnih skladišta ima Amazon koji ulaže velika financijska sredstva i resurse u razvoj pametnih skladišta.



Slika 1: Testni mobilni robot u hrvatskoj pošti

2.1 Industrija 4.0

Industrija (Industry) 4.0 je svojevrsna revolucija u industriji s ciljem digitalizacije industrije, povezivanje strojeva, skladišta, logistike i opreme. Pametni strojevi s mogućnošću neovisne razmjene informacija, pametne tvornice, lokalizirani proizvodi i jasno identificirane proizvodne serije, kontrola i optimizacija proizvodnje u realnom vremenu. [7]



Slika 2: Industrija 4.0 - shematski prikaz

2.1.1 Utjecaji industrije 4.0

Utjecaj na tvrtke:

- Lokalizirane i identificirane proizvodne serije omogućuju više saznanja o proizvodnom procesu
- Povezanost unutar organizacije
- Prilagodljivost i mogućnost optimizacije proizvodnog procesa putem kontinuiranog prikupljanja vanjskih i unutarnjih podataka
- Kompetitivna prednost
- Individualizacija proizvodnje prema zahtjevima kupaca i veća povezanost s kupcima

Utjecaj na radnike:

- Dodatni zahtjevi na zaposlenike (IT znanja)
- Veća uključenost u inovacijski proces
- Nova vrsta interakcije između čovjeka i stroja s manje prisustva radnika unutar tvornice
- Podrška za pametne potpomognute sustave
- Decentralizirane strukture i upravljačke forme
- Više prostora za odlučivanje

2.1.2 Prednosti i nedostaci industrije 4.0

Prednosti:

- Orijentacije na individualne zahtjeve kupaca
- Prilagodljiva proizvodnja

- Smanjen pritisak na radnike
- Nova vrijednost: nove B2B usluge
- Povećana konkurentnost
- Usmjerenost na produktivnost i efikasnu upotrebu resursa
- Spremnost na nove izazove na domaćim i stranim tržištima

Nedostaci:

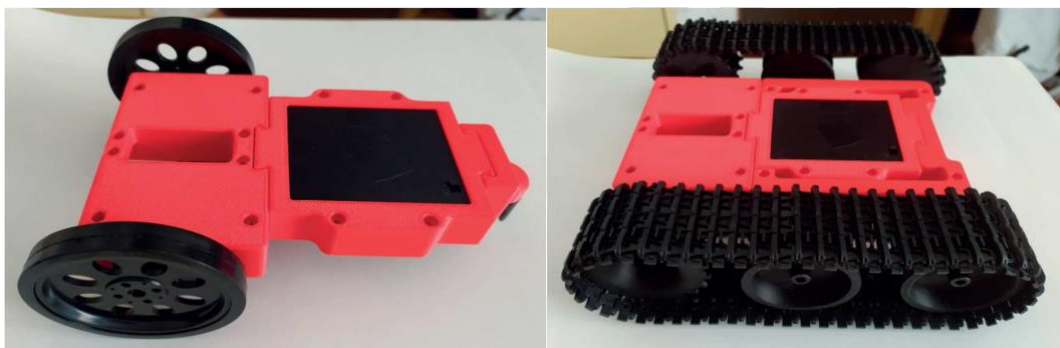
- Manjak zaštite okoliša
- Olakšana udaljena manipulacija proizvodnim sustavima
- U ruralnim područjima nedostatak je slaba pokrivenost široko pojasnim internetom
- Kontinuirana nabava i održavanje infrastrukture
- Složeni i skupi tehnički standardi
- Dodatna oprema za zaposlenike (znanje o IT sustavima)

3 MOBILNI ROBOT VILIČAR

Mobilni robot viličar možemo gledati kao sklop sastavljen od 2 podsklopa. Prvi podsklop je mobilni robot dok je drugi podsklop mehanizam viličara. Mobilni robot je zadužen za pozicioniranje viličara na željenu poziciju, a viličar je zadužen za podizanje i držanje tereta.

3.1 Matematički opis robota s diferencijalnim pogonom

Najčešća pogonska konfiguracija kod mobilnih robota je robot s diferencijalnim pogonom. Kut zakreta robora (eng. *heading angle*) određen je razlikama brzina lijevog i desnog kotača. Diferencijalni pogon ima prednost u vidu vrlo jednostavne izvedbe, moguća je rotacija bez translacije te je u odnosu na druge pogone niske cijene, dok je mana to što je pravocrtno gibanje osjetljivo na male pogreške relativnih brzina (nejednakost kotača, neravan teren, gubitak trenja,...). Diferencijalni pogon robotu omogućuje 3 stupnja slobode gibanja.



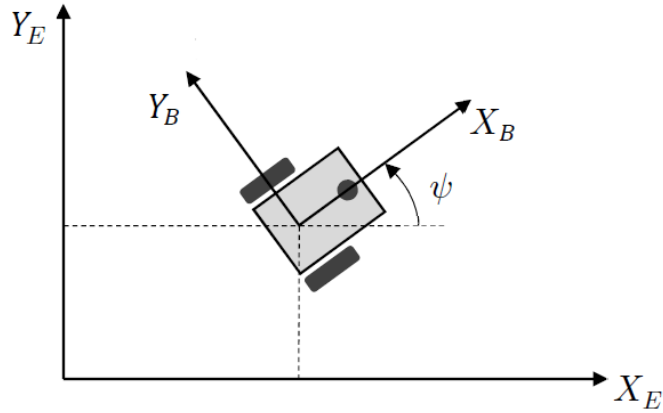
Slika 3: Mobilni robot s diferencijalnim pogonom

Za opisivanje kinematike robota, potrebno je definirati dva Kartezijeva koordinatna sustava: inercijski koordinatni sustav (\mathcal{F}^E) i koordinatni sustav mobilnog robota (\mathcal{F}^B). Stupnjevi slobode predstavljeni su pozicijom (X, Y) i orijentacijom (ψ) robota koje definiraju stanje (ϵ).

$$\epsilon = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ \psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Brzine robota u inercijskom koordinatnom sustavu definirane su sljedećom jednačbom

$$\begin{aligned} \dot{X} &= v \cos \psi, \\ \dot{Y} &= v \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \omega. \end{aligned} \quad (2)$$



Slika 4: Prikaz robota u kartezijevom koordinatnom sustavu

Gibanje robota u 2D prostoru predstavljeno je translacijskom (v) i rotacijskom (ω) brzinom koje su definirane u \mathcal{F}^B , a o kojima ovisi pozicija i orijentacija robota u \mathcal{F}^E . Translacijska i rotacijska brzina robota ovise o translacijskim brzinama lijevog i desnog kotača te o udaljenosti između kotača.

$$\begin{aligned} v &= \frac{v_R + v_L}{2}, \\ \omega &= \frac{v_R - v_L}{L}. \end{aligned} \quad (3)$$

Translacijske brzine lijevog i desnog kotača ovise o kutnim (rotacijskim) brzinama kotača te o njihovom promjeru (radijusu).

$$\begin{aligned} v_R &= r\omega_R, \\ v_L &= r\omega_L, \end{aligned} \quad (4)$$

gdje je r polumjer kotača robota.

Konačne jednadžbe za translacijsku i rotacijsku brzinu robota

$$\omega = \frac{r}{L}(\omega_R - \omega_L). \quad (5)$$

Rotacijske brzine kotača ovise o upravljačkom signalu, u slučaju elektromotornih servo aktuatora

$$\begin{aligned} \omega_R &= f(PWM_R), \\ \omega_L &= f(PWM_L). \end{aligned} \quad (6)$$

Napomena: s obzirom da su kod diferencijalne izvedbe pogona aktuatori postavljeni zrcalno, za isti upravljački signal će se rotirati u suprotnim smjerovima. [6]

Diferencijalnim pogonom upravlja se na način da ovisno u koju stranu je potrebno skrenuti taj kotač se usporava, koliko se uspori toliko će robot skretati odnosno mjenjati svoju orijentaciju. Jače usporavanje znači oštrije skretanje.

3.2 Mehanizam viličara

Viličar ili viljuškar je ime za industrijsko vozilo koje služi za prijenos i dizanje tereta. Moderni viličar razvijen je 1920-tih, nakon čega je postao nezamjenjivi dio opreme u proizvodnim halama, lukama, i skladištima. Viličari služe za rukovanje teretima koje valja smjestiti jedan na drugi, odnosno po visini, a razlikuju se čelni i regalni viličari. Čelni viljuškar skida materijal naslagan na paletu tako što pod nju podveze vilicu. Zatim se vilica s teretom podigne. Dok regalni radi na vrlo sličnom principu samo što kod regalnog dolazi pod paletu, ne pomoću pogona viličara, nego translacijom vilica skupa s teleskopima do palete, nakon podizanja palete teret se translacijski privlači na viličar i u tom položaju se prevozi. Viličar koji koristimo u eksperimentu je čelni viličar koji translaciju ostvaruje uz pomoć zupčanog para i zubne letve.



Slika 5 Čelni viličar.




Slika 6 Regalni viličar.

3.3 Komponente sustava


Robot je opremljen sa 3 servomotora s kontinuirajućom rotacijom u obje strane (naprijed, nazad, gore, dolje). 2 servo motora su za pogon dok je jedan za translaciju vilica. Pogonski motori su Fitec FS5103R dok je translacijski Fitec FR 5311M.

3.3.1 Pogonski motori robota

Tablica 1: Specifikacije FS5103R [9]

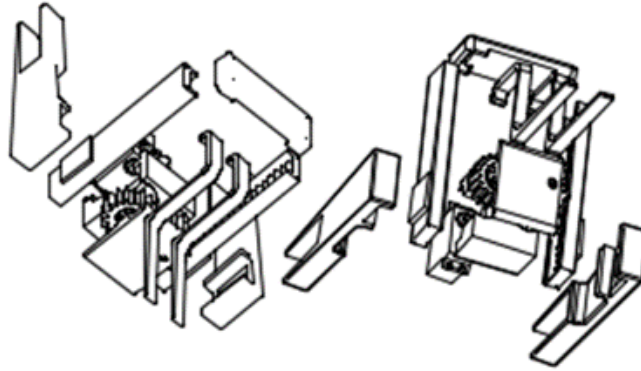
Radni napon	4.8V-6V	
Dimenzije	40.8x20.1x38mm	
Masa	36g	
Brzina zakreta 4.8V	0,18/60°	
Brzina zakreta 6V	0,16/60°	
Zakretni moment 4.8V	3kg-cm	
Zakretni moment	3.2kg-cm	

Tablica 2: Specifikacije FR5311M [10]

Radni napon	4.8 V – 8.4 V	
Dimenzija	40.2 x 20.0 x 38 mm	
Masa	58 g	
Brzina zakreta (6 V)	0.13sec/60°	
Brzina zakreta (7.4 V)	0.11sec/60°	
Zakretni moment (6 V)	12.5 kg-cm	
Zakretni moment (7.4 V)	13.8 kg-cm	

3.4 Konstrukcija mehanizma viljuškara

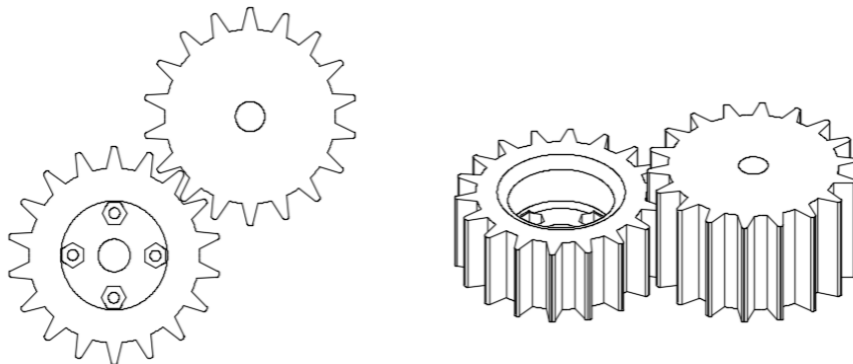
Prilikom projektiranja mehanizma osnovni problem bio je translacijsko gibanje vilica. Nakon nekoliko razmotrenih mehanizama, odabran je zupčani par kao izvršni translacijski član elektromotornog aktuatora.



Slika 7: Dijelovi mehanizma viličara.

3.4.1 Zupčani par

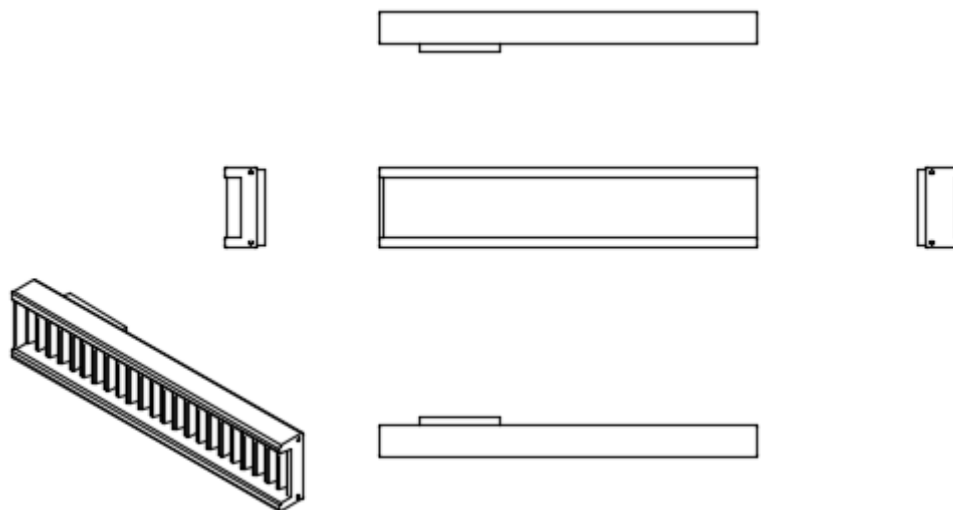
Sastoji se od 2 zupčanika ok kojih svaki ima po 18 zuba. Jedan zupčanik je pogonski i na njega ide prirubnica za motor zbog toga je malo tanji od gonjenog zupčanika.



Slika 8: Zupčani par

3.4.2 Zubna letva

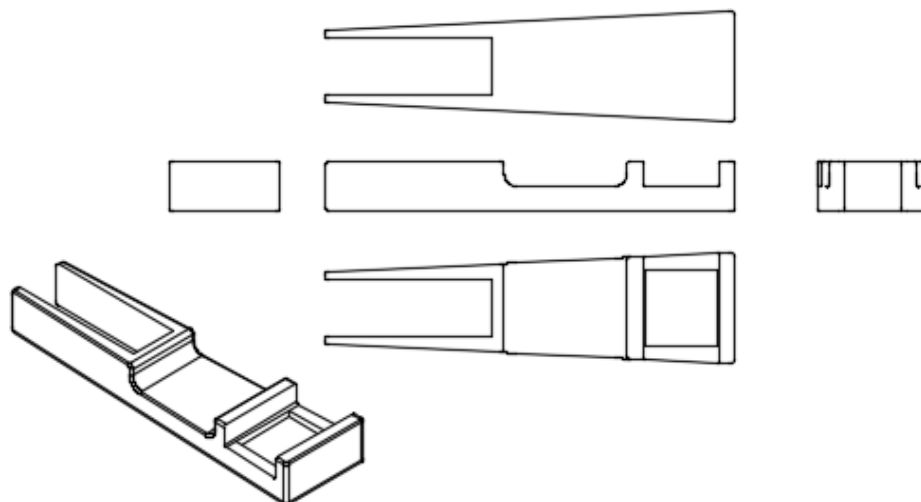
Zubna letva napravljena po uzoru na U profil. Taj U profil je tu da ojača zubnu letvu i da ograničava kretanje zupčanika horizontalno po zubu.



Slika 9: Zubna letva

3.4.3 Nosač zubne letve

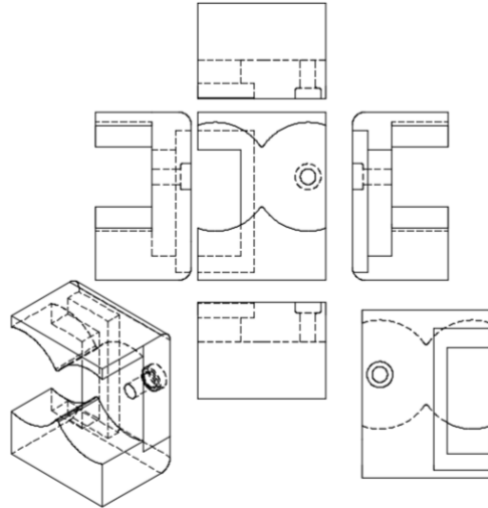
Nosač koji nosi zubnu letvu i cijele vilice zajedno sa teretom. Te tu silu prenaša na mobilni robot.



Slika 10: Nosač zubne letve

3.4.4 Nosač vilica

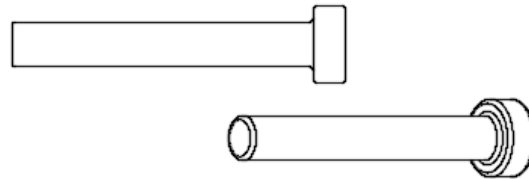
Nosač vilica na sebi nosi vilice, zupčanike, motor, poklopac nosača vilica, osovinu gonjenog zupčanika, priprubnicu motora i teret.



Slika 11: Nosač vilica

3.4.5 Osovina gonjenog zupčanika

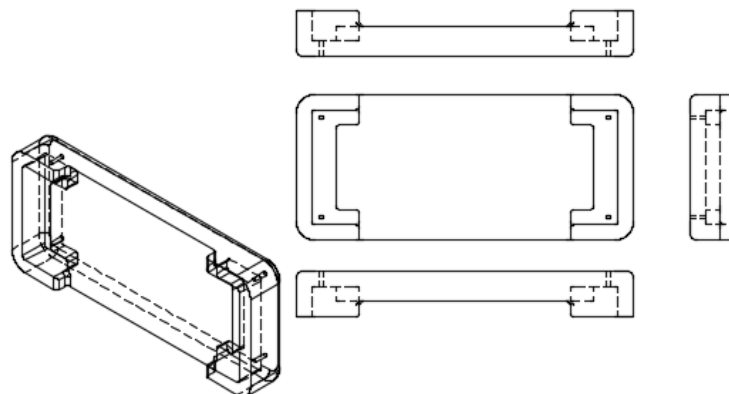
Osovina prolazi kroz nosač vilice, gonjeni zupčanik i kroz poklopac nosača vilice pa samim time osigurava da se zupčanik nalazi u istom položaju u odnosu na nosač vilice.



Slika 12: Osovina gonjenog zupčanika

3.4.6 Poklopac zubnih letvi

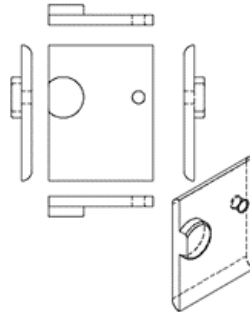
Najviša točka viličara, zadržava zubne letve da se ne rašire pod silama pomicanja vilica.



Slika 13: Poklopac zubnih letvi

3.4.7 Poklopac nosača vilica

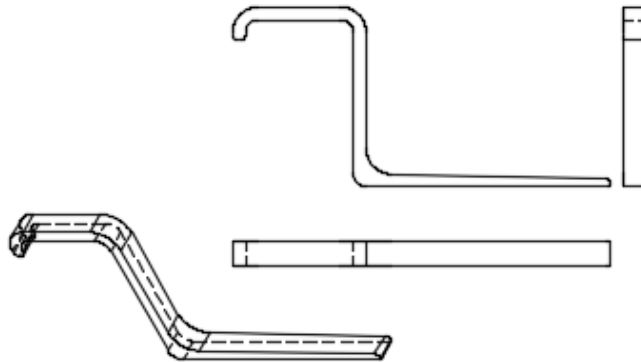
Osigurava poziciju gonjenom zupčaniku te sprječava vilicama da zapinju po zupčanicima.



Slika 14: Poklopac nosača vilica

3.4.6 Vilice

Služe za podizanje tereta.



Slika 15: Vilice

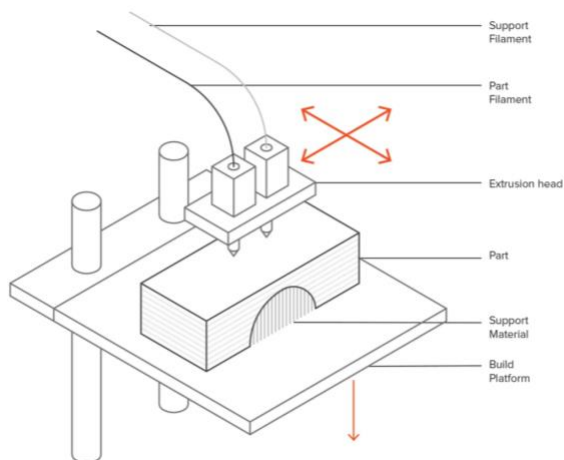
3.5 Izrada dijelova FDM postupkom

Razvojem digitalne tehnologije 3D printanje doživjelo je svoj procvat, no ono svakako nije novitet. Krajem 80-ih godina osnivač poznate svjetske tvrtke Stratasys, Scott Crump, patentirao je FDM tehnologiju 3D printanja.[8] FDM je zapravo kratica za “fused deposition modeling”, odnosno, na hrvatskom jeziku “tehnologiju taložnog očvršćivanja”. Kako je sam naziv danas vrlo popularne FDM tehnologije 3D printanja (fused deposition modeling), pod autorskom zaštitom tvrtke Stratasys, globalno se koristi službeno prihvaćena kratica FFF (fused filament fabrication).

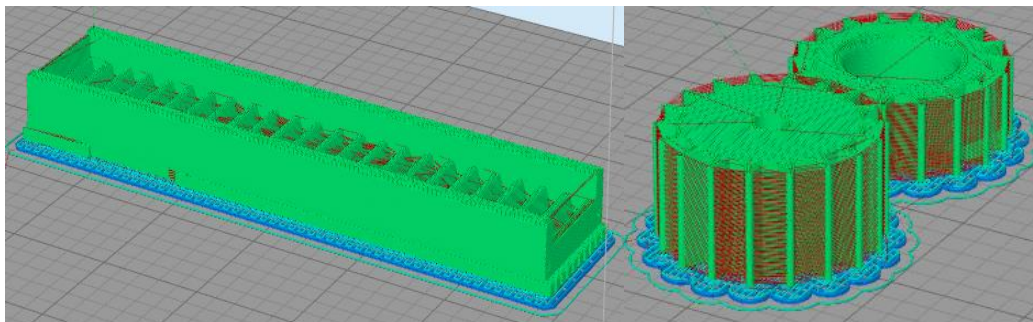
[8]

FDM/FFF tehnologija, kao i sve ostale tehnologije 3D printanja, spada pod aditivnu proizvodnju. To znači da 3D printani predmeti nastaju praktički “iz ničega” dodavanjem polimernog materijala, sloj po sloj, od radne podloge 3D printera prema gore. 3D printer dodaje materijal sve dok 3D print nije u potpunosti gotov.[8]

Svi FDM/FFF 3D printeri koriste plastični materijal (žicu, filament) koji dolazi namotan na kolut. Postoji više vrsta filamenata koji FDM/FFF 3D printeri koriste. PLA, PETG, ABS i ASA samo su neki od danas najčešće korištenih vrsta filamenata. FDM/FFF 3D printer pomoću specijalne nazubljene osovine, koja se nalaze u glavi 3D printera, povlači filament do grijača koji topi plastiku. Omekšana plastika kroz glavu 3D printera izlazi pomoću mlaznice koja se nalazi, za vrijeme 3D ispisa, nadomak radnoj podlozi. Kako se glava 3D printera pomiče u smjeru x, y i z osi, tako omekšana plastika međusobno prijanja, sloj po sloj, do gotovog objekta. [8]



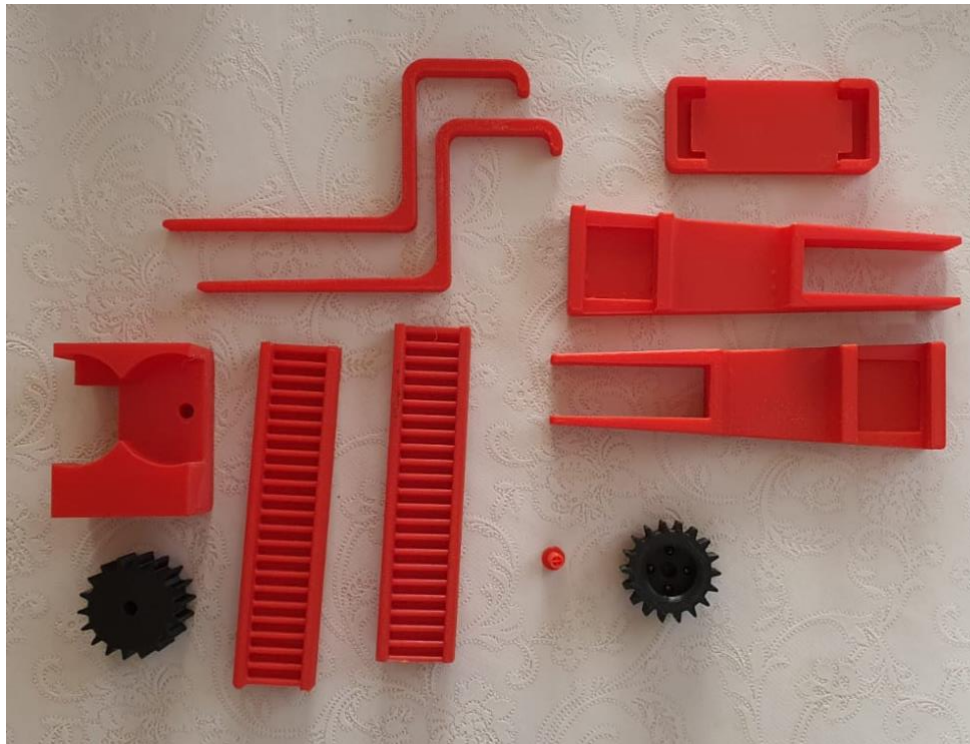
Slika 16: Prikaz 3D ispisa



Slika 17: Prikaz elemenata u „sliceru“

4 MONTAŽA I TESTIRANJE VILIČIRA ROBOTA

Nakon 3D printanja slijedi montaža dijelova u sklop. Prilikom montaže koristimo križni odvijač, 8 vijaka 1.5x2mm, trenutno ljepilo, brusni papir i skalpel. Kao i uvijek nakon 3D printanja ostanu neželjeni dijelovi na dijelu pa njih najprije uklanjamo skalpelom, zatim sa brusnim papirom zagladimo hrapave površine (zbog estetike ali i zbog toga da trenutno ljepilo bolje uhvati). Prilikom projektiranja elementi su zamišljeni tako da se oblikom uglavljaju u druge elemente te da samim time ljepilo nije potrebno ali tu je zbog sigurnosnog faktora.

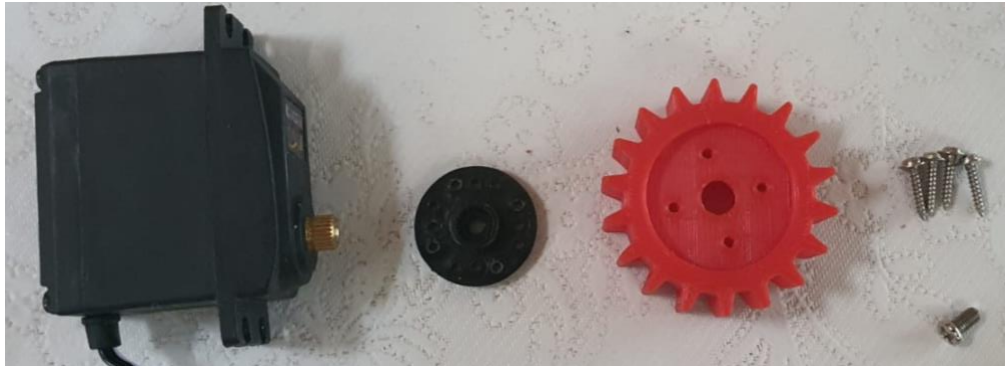


Slika 18: Isprintani elementi sklopa

4.1 Sklapanje mehanizma

4.1.1 Spajanje pogonskog zupčanika sa prirubnicom i spajanje zupčanika s motorom

Motor na zupčanik okretni moment prenosi pomoću prirubnice koja se na motor uzubljuje, a na zupčanik se pričvršćuje pomoću vijka.



Slika 19: Servo motor, prirubnica, pogonski zupčanik i vijci



Slika 20: Prirubnica montirana na pogonski zupčanik



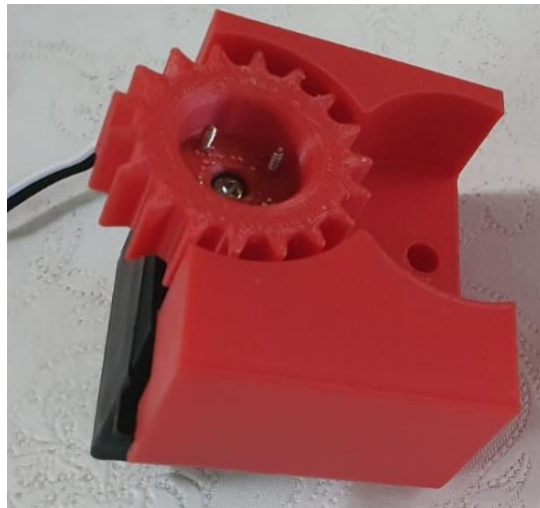
Slika 21: Pogonski zupčanik montiran na servo motor

4.1.2 Spajanje motora i nosača vilica

Motor skupa sa prirubnicom i zupčanicom na nosač se učvršćuje pomoću 4 vijka.



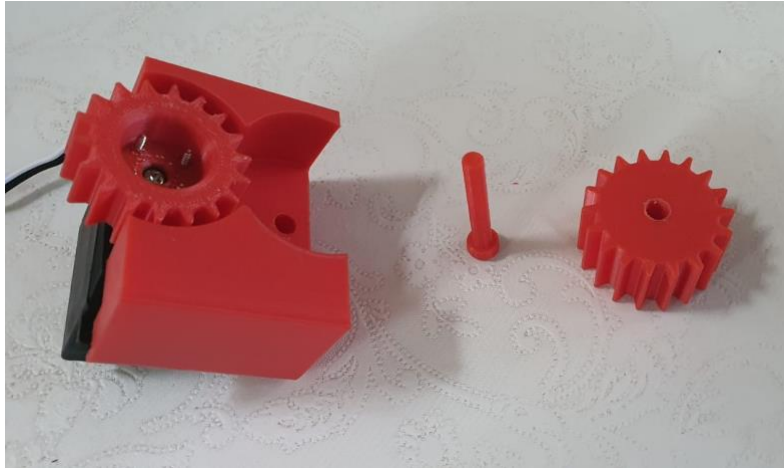
Slika 22: Motor, vijci i nosač vilica



Slika 23: Spojeni motor i nosač vilica

4.1.3 Spajanje gonjenog zupčanika na nosač

Gonjeni zupčanik se na nosač pričvršćuje pomoću osovine gonjenog zupčanika. Osovina je zamišljena tako da se u nosaču zaglavi dok u zupčaniku ima zračnosti koja mu dopušta da se okreće neovisno o osovini.



Slika 24: Nosač vilica, osovina gonjenog zupčanika i gonjeni zupčanik



Slika 25: Zupčani par i nosač vilica

4.1.4 Stavljanje poklopca nosača vilica

Poklopac ima izbočenje koje „ulazi“ u pogonski zupčanik te ima provrt za osovinu gonjenog zupčanika. Na nosač se pričvršćuje pomoću 3 vijka.



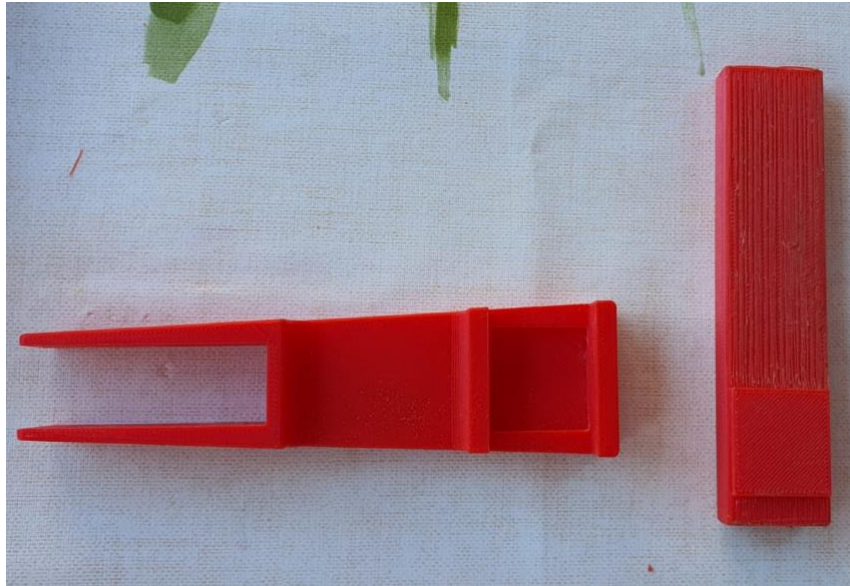
Slika 26: Sastavljen nosač vilica prednja strana



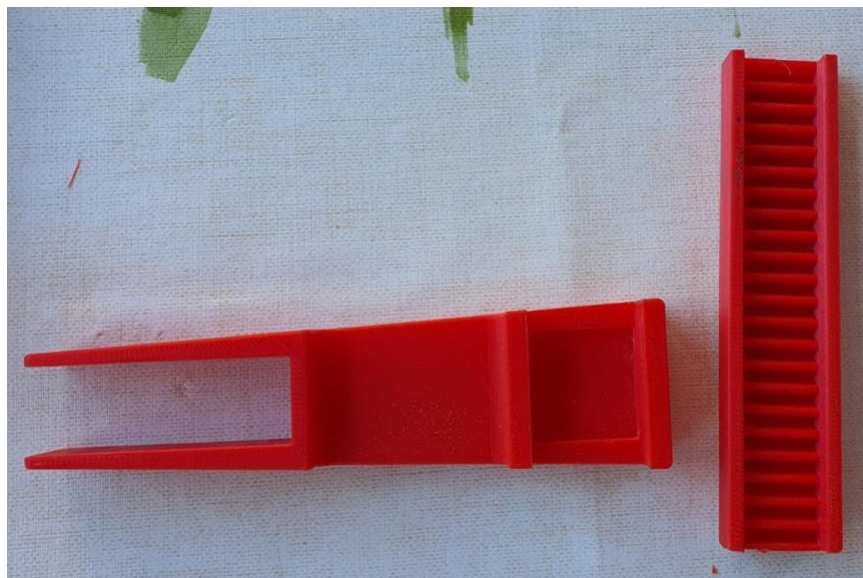
Slika 27: Sastavljen nosač vilica stražnja strana

4.1.5 Spajanje nosača zubne letve i zubne letve

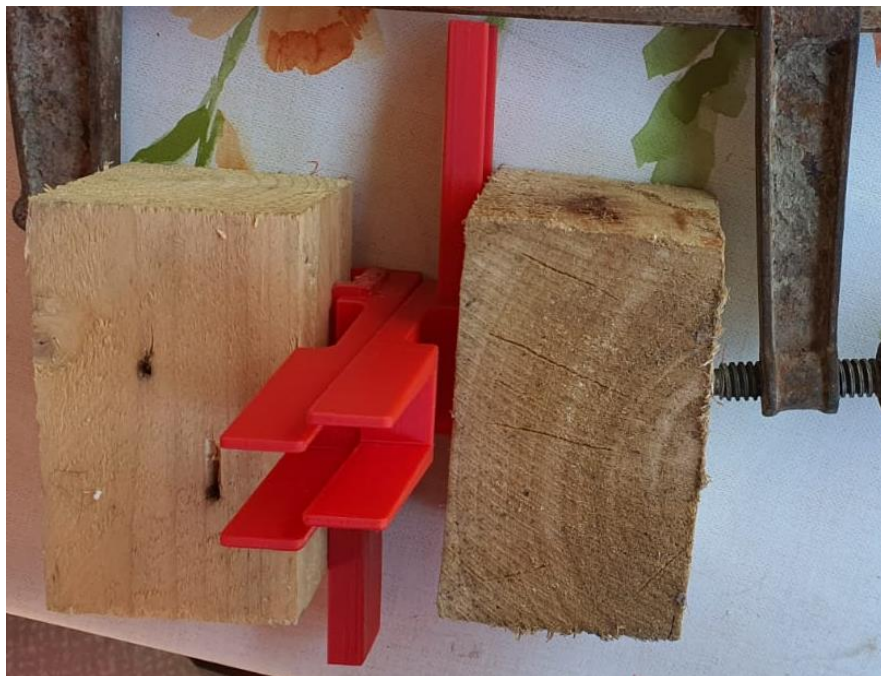
Nosač zubne letve ujedno je i nosač cijelog viličara. Na nosaču je napravljeno pravokutno ulegnuće u koje sjeda izbočina na zubnoj letvi. dok su kraj ulegnuća napravljene izbočine u koje sjeda zubna letva. Taj spoj je pojačan sa trenutnim ljepilom.



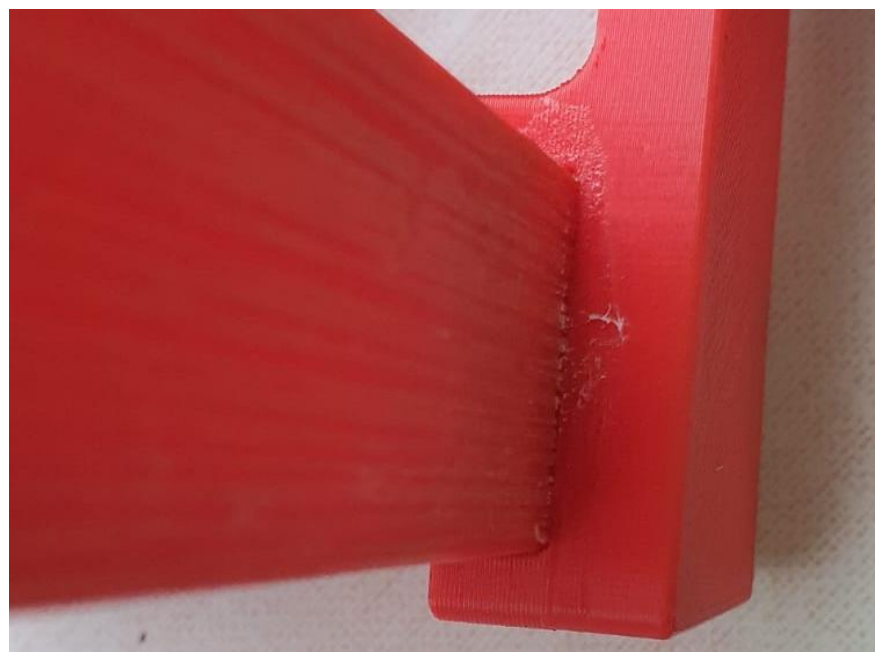
Slika 28: Nosač zubne letve i zubna letva stražnja strana



Slika 29: Nosač zubne letve i zubna letva prednja strana



Slika 30: Spajanje stegom – sušenje ljepila



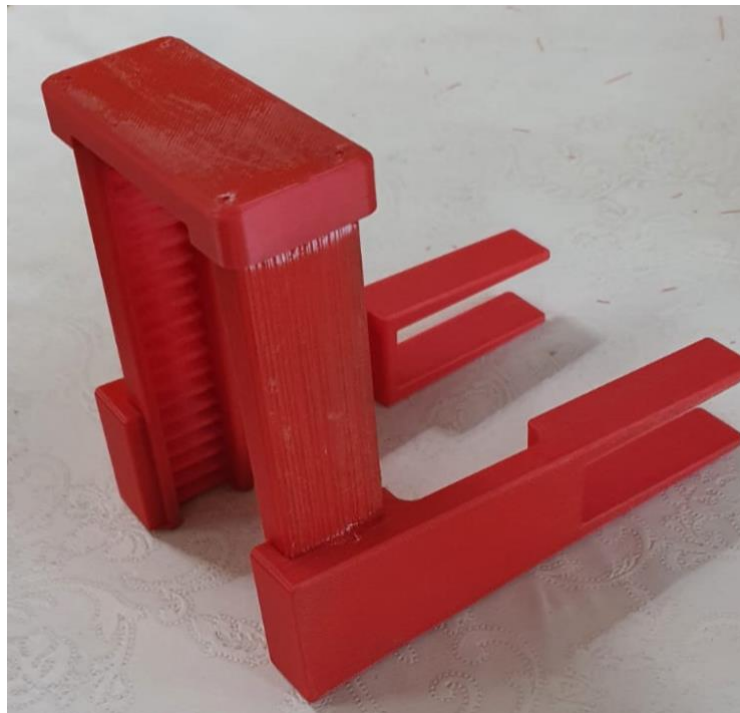
Slika 31: Spoj nosača i zubne letve

4.1.6 Spajanje gornjeg poklopca sa zubnim letvama

Gornji poklopac služi da se vilice ne šire, također u poklopcu je upušteno mjesto za vilice te oblikom zadržava iste.



Slika 32: Gornji poklopac i zubne letve



Slika 33: Sastavljen poklopac i zubne letve



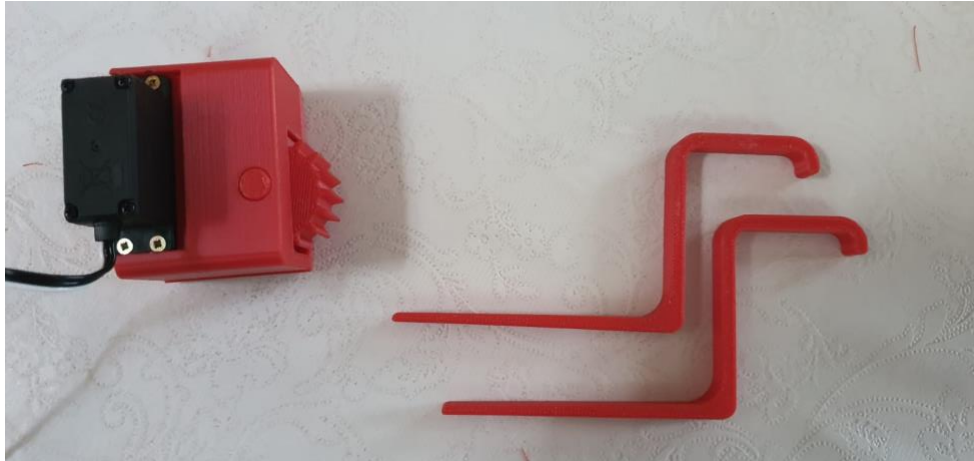
Slika 34: Spoj poklopca i zubne letve sa unutarnje strane



Slika 35: Spoj poklopca i zubne letve sa vanjske strane

4.1.7 Montaža vilica na nosač vilica

Vilice se oblikom drže za nosač, ovdje zbog potrebe za pomicanjem vilica ne koristimo ljepilo nego se one same drže oblikom.



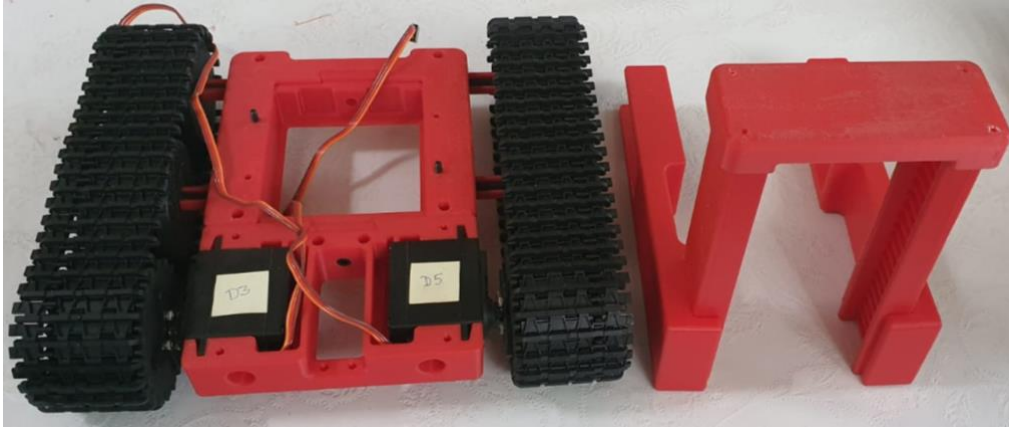
Slika 36: Nosač vilica i vilice



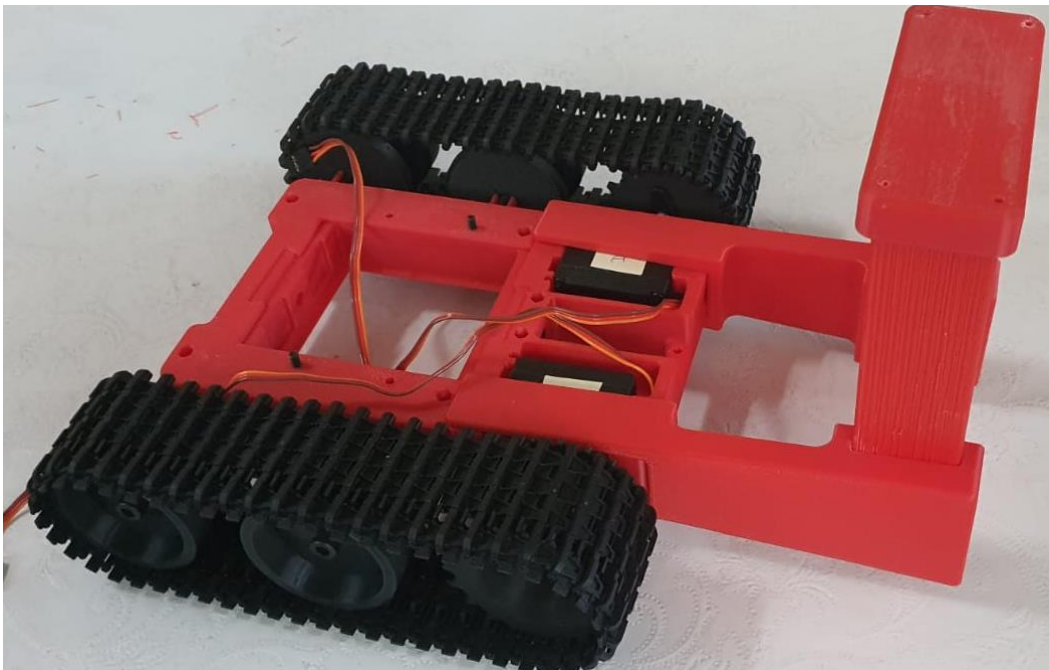
Slika 37: Sastavljen nosač i vilice

4.2 Montaža mehanizma na mobilni robot

Nosač zubne letve se oblikom zaglavi na mobilnom robotu, te primi robotove pogonske motore na mjesto.



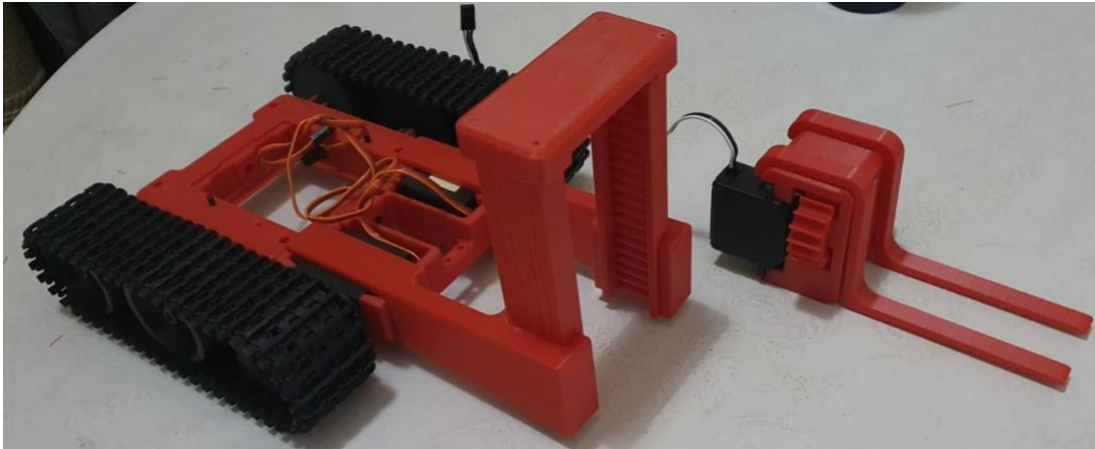
Slika 38: Mobilni robot i zubne letve sa nosačima i poklopcem



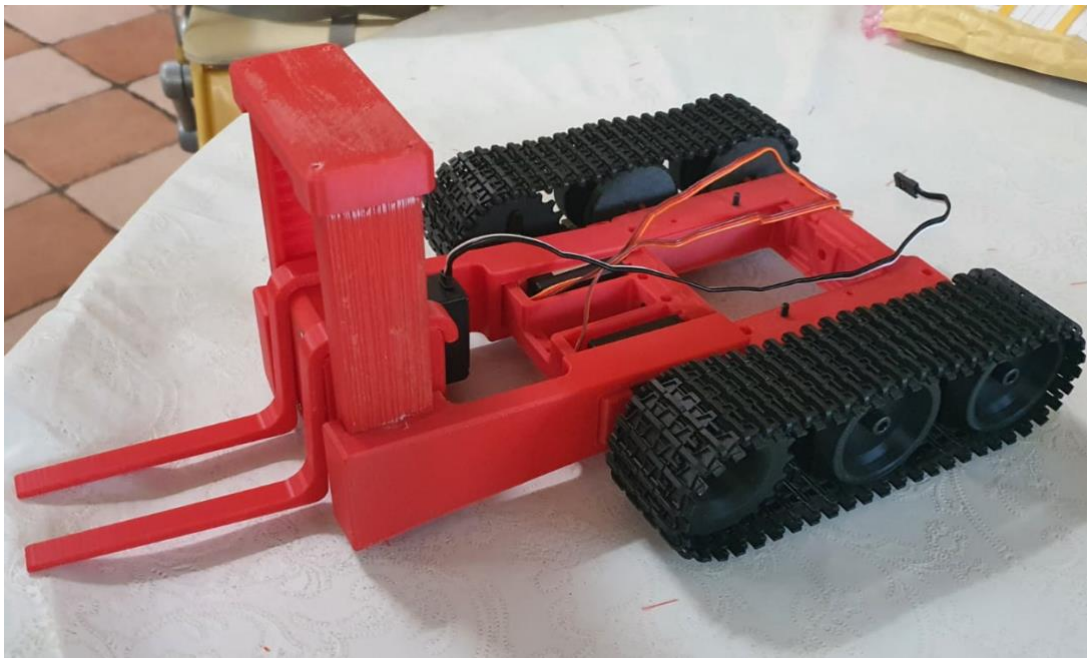
Slika 39: Spojen mobilni robot sa zubnim letvama

4.2.1 Montaža nosača vilica na zubne letve

U ovom koraku uzubljujemo zubne letve i zupčani par.



Slika 40: Mobilni robot sa zubnim letvama i nosač vilica sa vilicama



Slika 41: Mobilni robot sa sastavljenim viličarem

4.3 Testiranje mehanizma

Nakon sastavljanja viličara testiramo ga pomoću baterije 6V i testera za servo motore. Prvo spojimo tester i servo motor, zatim spajamo napajanje testeru. Tester smo prethodno namjestili na centralni položaj i prekidač smo stavili na “manual” tako da pomicanjem potencijometra na testeru u lijevo podižemo, dok u desno spuštamo. Prilikom prvog spajanja vidimo da tester i motor ne rade na pretpostavljen način, nego motor “preslikava” položaj potencijometra. Nakon manjeg ugađanja dobivamo zamišljeno, a to je da dok je potencijometar u krajnjem ljevom položaju vilice stoje skroz dolje, a kada je u krajnjem desnom položaju da se vilice podignu od podloge.

5 ZAKLJUČAK

Zadatk završnog rada bio je konstruiranje i izrada translacijskog mehanizma mobilnog robota viljuškara. Mehanizam je konstruiran u Autodesk Fusion 360, a izrađen pomoću Prusa 3D printera. Prilikom sastavljanja je još korišteno i trenutno ljepilo da bi se spojevi dodatno osigurali. Na spojevima kod kojih ima potrebe za naknadnim rastavljanjem korišteni su vijci. Prilikom konstruiranja zupčanika i zubne letve napravljen je probni ispis te je uočena prevelika zračnost između zuba, zračnost je smanjena povećanjem dimenzija zuba. Također prilikom sastavljanja elemenata uočeno je da pogonski zupčanik stoji previsoko u odnosu na nosač vilica i smeta poklopcu da sjedne do kraja na nosač, problem je riješen tako da je prirubnica upuštena u zupčanik za 2 mm. Finalna verzija viličara ima mogućnost nadogradnje ali ima i nekih nedostataka.

Kao nadogradnju može se navesti dodavanje narančastih LED svjetla na vrh zubnih letvi koje bi služile kao treptajuće svjetlo. Kao najveća mana trenutne verzije je udaljenost težišta tereta i težišta viličara zbog koje se ne može podići veliki teret. To se planira ispraviti konstruiranjem nosača zubnih letvi koji se montiraju bliže težištu robota.

LITERATURA

- [1] <http://www.znanje.org/i/i25/05iv03/05iv0318/robotika.html>
Datum pristupa: 19.11.2019
- [2] <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika>
Datum pristupa: 19.11.2019
- [3] <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Lekcijam8.pdf>
Datum pristupa: 19.11.2019
- [4] <https://blog.spica.com/cro/roboti-u-skladistu/>
Datum pristupa: 12.3.2020
- [5] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vili%C4%8Dar>
Datum pristupa: 12.3.2020
- [6] Materijali sa predavanja iz koloegija osnove robotike
- [7] <https://www.hgk.hr/documents/hgk-industrija-4058d8c59722f1e.pdf>
Datum pristupa: 7.3.2020
- [8] <https://www.3dprintaj.com/fdm-fff-tehnologija-3d-printanja/>
Datum pristupa: 12.3.2020
- [9] <https://www.addicore.com/FS90R-Servo-p/ad314.htm>
Datum pristupa: 12.3.2020
- [10] https://rc-fans88.en.alibaba.com/product/60749155241-212967005/FEETECH_FR5311M_13KG_Standard_digital_programmable_Metal_gears_servo.html
Datum pristupa: 13.3.2020

PRILOZI

1. CD-R