

REALIZACIJE PROTOTIPOVA DVOPRSTIH HVATALJKI AKTUIRANIH ELEKTRIČNIM MOTOROM ZA PRIMENU NA INDUSTRIJSKOM ROBOTU**RAPID PROTOTYPING OF TWO-FINGERED GRIPPERS ACTUATED WITH ELECTRIC MOTOR FOR INDUSTRIAL ROBOTS**Tanja Berisavljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA, ROBOTIKA I AUTOMATIZACIJA**

Kratak sadržaj – Kao alati za baratanje predmetom rada u industriji, vrlo često se koriste hvataljke koje predstavljaju poslednji segment industrijskog robota. Najčešće korišćene hvataljke jesu dvoprste hvataljke. Dizajn dva različita prototipa aktuirana pomoću električnog motora biće opisana u ovom radu. Takođe, proračunate su i sile u vrhovima prstiju hvataljki, kako bi se odredilo koja je jačina stiska samih hvataljki. Proračuni su odrađeni na teorijskom nivou i na nivou simulacija.

Ključne reči: Dvoprste hvataljke, električni motor, prototip, sila stiska

Abstract – Most commonly used tools for handling objects in industrial environment are grippers. They usually represent end-effectors of industrial robots. Two-fingered grippers are the ones that are most commonly used. Design of two different prototypes actuated with electric motor is shown in this paper. Furthermore, the contact force in fingertips is calculated. With that calculation the prehension force of grippers is obtained. All calculations are performed on theoretical level and through simulation.

Keywords: Two-fingered grippers, electric motor, prototype, prehension force

1. UVOD

Hvataljke predstavljaju aktivne veze između opreme za rukovanje i predmeta rada, ili u opštem slučaju između hvatanih delova (uglavnom prsti hvataljke) i objekta koji treba uhvatiti. Alat ili organ za hvatanje je krajnji deo kinematskog lanca u sistemu zglobova industrijskog robota i omogućavaju interakciju sa radnim okruženjem. Iako postoje univerzalne hvataljke sa širokim rasponom zahvata koje se mogu koristiti na različitim oblicima objekata, u mnogim slučajevima moraju biti prilagođeni specifičnim zadacima.

Hvataljke su podsistemi mehanizama za hvatanje koji pružaju kratkotrajni kontakt sa objektom koji treba uhvatiti. Obezbeđuju poziciju i orijentaciju dok nose i spajaju objekat sa opremom za rukovanje. Hvatanje se postiže delovanjem sile na uhvaćeni objekat.

NAPOMENA:

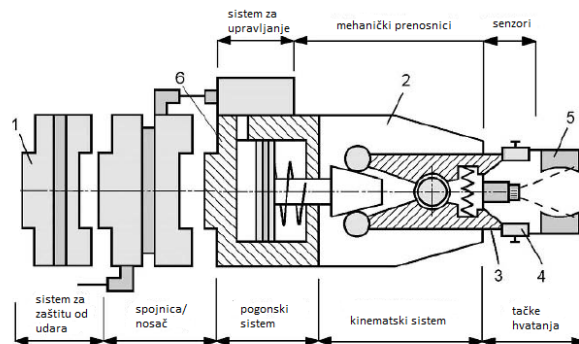
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirko Raković, van. prof.

2. MEHANIČKE HVATALJKE

Mehaničke hvataljke se najčešće koriste u granama industrije zbog svoje velike raznolikosti u primeni. Mogu se sastojati iz dva do pet prstiju koji se najčešće kreću sinhronizovano. Zahtevaju jednostavne mehanizme čija fizička interpretacija potiče iz klasične mehanike. Kompleksnost hvataljke delimično zavisi i od njenog broja stepeni slobode, što je potrebno shvatiti kao potreban broj nezavisnih aktuatora koji su potrebni da bi potpuno definisali kretanje svih delova hvataljke.

Za najjednostavniju je potreban samo jedan aktuator, ali broj stepeni slobode raste sa usložnjavanjem zadatka koji hvataljka mora da izvrši.

Postoje određeni karakteristični termini koji se često koriste u tehnologiji hvatanja. Hvataljke se uglavnom sastoje iz nekoliko modula i komponenti. Na slici 1 je prikazan podsistem mehaničkih hvataljki [1].



Slika 1. *Podsistemi mehaničke hvataljke (1-poslednji zglob industrijskog manipulatora, 2-prenosnik, 3-prst hvataljke, 4-obične čeljusti, 5-prirubnica) [1]*

3. PROTOTIPOVI DVOPRSTIH HVATALJKI

U ovom poglavlju biće detaljno opisan dizajn i princip rada oba prototipa hvataljki.

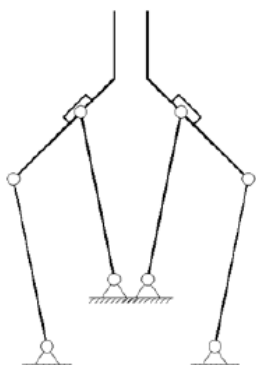
Oba prototipa su nacrtana i izmodelirana u programu SOLIDWORKS 2016. U daljim potpoglavljima biće detaljno opisana konstrukcija i princip rada svakog prototipa.

3.1. Kinematski lanac Prototipa 1

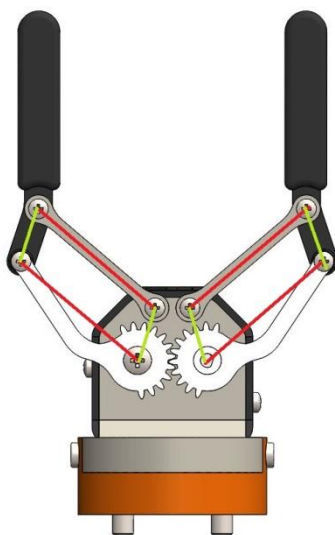
Kinematski lanac se sastoji iz međusobno povezanih kinematskih parova. Kinematski parovi se sastoje iz dva člana (kruta tela vezana sa dve ili više veza) čije je međusobno relativno kretanje definisano vezom između njih. Mehanizam se definiše kao kinematski lanac gde je jedan član kruto vezan za referentni nepokretni element (osnova, postolje itd.) i kao rezultat ulaznog kretanja, dobija se kontrolisano izlazno kretanje.

Prsti hvataljke Prototipa 1 se kreću paralelno jedan u odnosu na drugi, konstantno održavajući paralelogramski odnos među svojim prstima (slika 2). Na slici 3 prikazan je crtež Prototipa 1, na kom su bojama označene stranice paralelograma. Crvene i zelene linije predstavljaju paralelogram koji je osnova ovog mehanizma gde poluge koje pripadaju istim bojama moraju biti istih dimenzija [2]. Zelene stranice paralelograma moraju uvek da budu paralelne i jedna od tih stranica je fiksirana.

Za prenos obrtnog momenta sa motora na poluge prstiju korišćeni su cilindrični zupčanci sa pravim zupcima, takođe prikazani na slici 3.



Slika 2. Paraleolgramski mehanizam



Slika 3. Paralelogramski odnos poluga prstiju hvataljke, i prenosni zupčanci

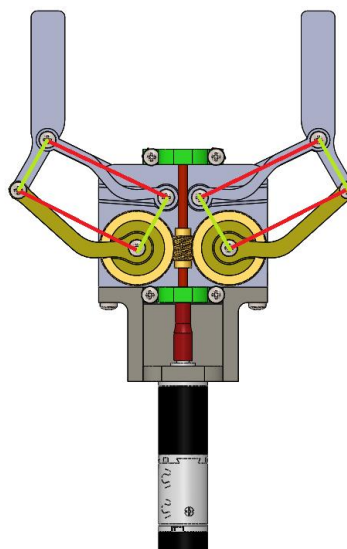
Sprezanje zubaca zupčastog para ostvaruje se kotrljanjem zamišljenih kinematskih kružnica i istovremenim međusobnim dodirivanjem bokova spregnutih zubaca. Tačka dodira profila zubaca pomera se od podnožja ka temenu kod pogonskog zupčanika i od temena ka podnožju kod gonjenog.

Izbor prenosnika vrši se na osnovu njihova tri glavna radna parametra: prenosnog odnosa, stepena iskorišćenja i odnosa obrtnog momenta na ulazu i na izlazu [3].

Na Prototipu 1 zupčanci su spojeni sa polugama čineći jednu pokretnu celinu. Izgled pogonske i gonjene poluge se razlikuje, jer se vratilo motora direktno povezuje na pogonsku polugu. Otvor na pogonskoj poluzi je napravljen da odgovara izgledu vratila, gde je naleganje između otvora i vratila naleganje sa preklopom, pa tako ostvaruju čvrstu vezu jedan između drugog.

3.1. Kinematski lanac Prototipa 2

Kao i kod Prototipa 1, prsti hvataljke se takođe kreću paralelno jedan u odnosu na drugi i kod Prototipa 2, što je prikazano na slici 4. Na slici 4 su istim bojama kao i kod prethodnog prototipa prikazane stranice paralelograma. Prsti hvataljke Prototipa 2 se sastoje od 4 poluge sa leve i se desne strane, od kojih su prednje poluge simetrične jedna u odnosu na drugu po izgledu, a poluge sa zadnje strane su identične po izgledu. Kod Prototipa 2 za prenos obrtnog momenta sa motora na poluge prstiju korišćen je pužni prenosni par, sa jednim pužem i dva pužna zupčanika, što se takođe može videti na slici 4.



Slika 4. Prsti hvataljke i stranice paralelograma

Pužni par je hiperboloidni zupčasti par čije se ose ukrštaju najčešće pod uglom od 90° . Kod pužnih parova mali zupčanik se naziva puž, i ima oblik sličan navojnom vretenu. Veliki zupčanik naziva se pužni zupčanik i ima oblik prilagođen obliku puža. Položaj puža i pužnog zupčanika je simetričan u odnosu na zajedničku normalu ose obrtanja, i u toku sprezanja bokovi njihovih zubaca imaju linijsko dodirivanje.

Dva pužna zupčanika su spregnuta u odnosu na jedan puž [3]. Za potrebe proračuna pužnog para bio je korišćen program *MITCalc*. Za ovaj prototip puž ima 3 namotaja, a pužni zupčanik 36 zubaca.

Prenosni odnos i je jednak $i = 12$. Pužni zupčanici su spregnuti tako da se desni (smer otvaranja hvataljke) rotira u smeru kazaljke na satu, a levi suprotno od smera kazaljke na satu, tj. tako da kad se na zupčanike postave poluge koje čine prste hvataljke, oba prsta istovremeno otvaraju i zatvaraju.

Ovaj pužni par nije standardni, njegov CAD model se dobio direktno iz programa *MITCalc*.

3.3. Pogonski lanac

Kao pogon za oba prototipa hvataljki korišćen je motor Maxon oznake 456468. To je reklamni model, DC motor, bez četkica, snage 2W, i napaja se sa 12V. Ovaj motor na sebi takođe ima ugrađen i reduktor i enkoder (slika 4). Redukcija reduktora je 104:1, pa krajnji obrtni moment koji ovaj motor generiše na svom vratilu iznosi:

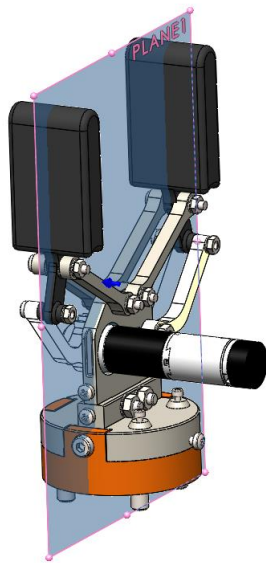
$$T = 4,77 \text{ mNm} \quad (1)$$

Obrtni moment T_r nakon redukcije iznosi:

$$\begin{aligned} T_r &= 4,77 \cdot 104 = 496,08 \text{ mNm} \\ T_r &= 0,49608 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (2)$$

Položaj motora na Prototipu 1 može se videti na slici 5. Motor je postavljen upravno na ravan kretanja prstiju hvataljki. Obrtni moment sa vratila se prenosi na pogonski zupčanik, sa kojeg se prenosi na gonjeni zupčanik, i dalje na prste hvataljke.

Položaj motora na Prototipu 2 nije isti kao kod Prototipa 1. Ovde je motor izmešten tako da stoji u istoj ravni u kojoj se vrši i kretanje prstiju hvataljki (slika 4).



Slika 5. Položaj motora u odnosu na prste hvataljke

3.4. Sile u vrhovima prstiju

Sila u hvataljci je maksimalni napor koji primenjuju vrhovi prstiju hvataljke. Sila zavisi od vrednosti obrtnog momenta motora i dužine prstiju (tj. kraka).

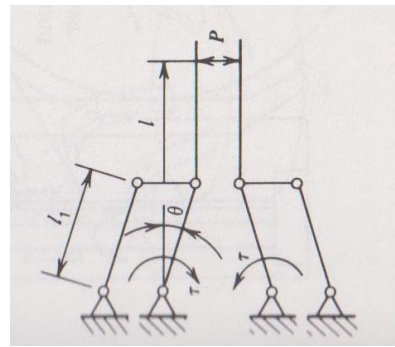
Na slici 6 se može videti na koji način se proračunava sila u prstima hvataljke kada prsti hvataljke čine paralelogram [4].

Sila se na osnovu slike 6, preračunava po formuli:

$$P = \frac{\tau}{l_1 \cdot \cos \theta + l} \quad (3)$$

Gde je:

- τ - obrtni moment
- $l_1 \cdot \cos \theta$ - projekcija dužine prsta na normalu
- l - dužina vrha prsta



Slika 6. Proračun sile u prstima hvataljke [4]

U ovom radu umesto l uzima se $\frac{l}{2}$ jer je određeno da sila deluje na sredini vrhova prstiju, ne pri vrhu. U nastavku će se proračunati ova teorijska sila za oba prototipa, pa će se u narednom delu ovog rada vrednost teorijske sile uporediti sa vrednošću dobijenom silmulacijom.

U nastavku sledi kratak proračun sile u Prototipu 1:

$$\begin{aligned} \tau &= 0,496 \text{ Nm} \\ \text{prenosni odnos} &\rightarrow i = 1 \\ l_1 &= 43 \text{ mm} \\ \frac{l}{2} &= 21,5 \text{ mm} \\ \theta &= 18,43^\circ \\ P_1 &= \frac{\tau}{l_1 \cdot \cos \theta_1 + \frac{l}{2}} = 7,96 \text{ N} \end{aligned} \quad (4)$$

Teorijska sila na osnovu ovog proračuna iznosi približno 8 N.

Za Prototip 2 je takođe izračunata teorijska sila koja deluje u vrhovima prstiju hvataljke. Njen proračun sledi u nastavku:

$$\tau = 0,49608 \text{ Nm}$$

Prenosni odnos pužnog para iznosi 12, a za stepen iskorišćenja je uzeto da bude 0,4. Nakon redukcije na pužu nov obrtni moment iznosi:

$$\tau_{new} = 0,49608 \text{ Nm} \cdot 12 \cdot 0,4 = 2,38 \text{ Nm} \quad (5)$$

Nakon što je dobijen nov obrtni moment, vrednost iz jednačine (5) se ubacuje u jednačinu (3) da bi se izračunala teorijska sila. Vrednosti l i l_1 su iste, što znači da su prsti i jedne i druge hvataljke jednake dužine. Vrednost ugla θ iznosi 30° . Teorijska sila P iznosi:

$$P_2 = \frac{\tau_{new}}{l_1 \cdot \cos \theta_2 + \frac{l}{2}} = 40,52 \text{ N} \quad (6)$$

Iz jednačina (4) i (6) može se zaključiti da je sila P_2 mnogo veća od sile P_1 , tj. veća je čak 8 puta. To znači da je stisak kod Prototipa 2 osam puta veći nego stisak kod Prototipa 1. Taj zaključak je moguće i izvući zdravorazumski, jer pužni prenosnici imaju mnogo veći prenosni odnos nego cilindrični par, što dodatno povećava obrtni moment..

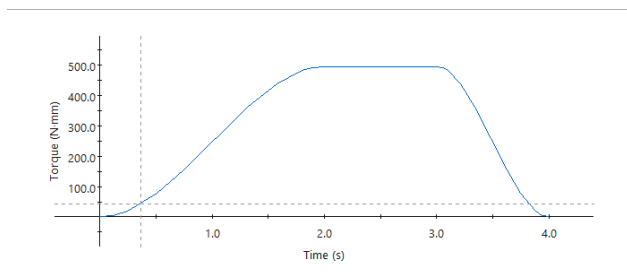
4. SIMULACIJA I PRORAČUNI

Simulacija i proračun sile u vrhovima prstiju hvataljke je odrađen takođe u programu *SOLIDWORKS 2016*. Program ima opciju, kako modelovanja, tako i analize kretanja (eng. *Motion Analysis*). Za potrebe ovog rada vršen je proračun kontaktne sile između dodirnih površina

vrhova prstiju. Sila je merena kao vektorska veličina, i merena je njena vrednost u pravcu x-ose.

Nakon što je dodat obrtni moment na pogonski zupčanik za Prototip 1, tj. na puž za Prototip 2, mora se odabrati upravljanje istim. Upravljanje može biti zadato i kao samo konstantno delovanje obrtnog momenta, ali u ovom radu je odbrano upravljanje po segmentima, kako je nazvano u *SOLIDWORKS*-u.

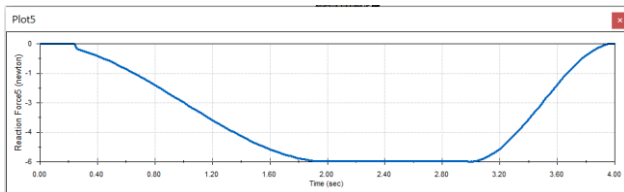
Segmentno upravljanje je zapravo upravljanje obrtnim momentom tokom vremena. Izgled funkcije upravljanja dat je na slici 7.



Slika 7. Upravljanje obrtnim momentom u vremenu

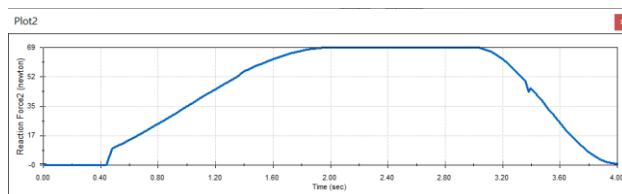
Sa slike 7 vidi se da se u vremenskom periodu od 0 do 2s obrtni moment povećava sa 0 na 496 Nmm po kubnoj funkciji (ona je zadata kao predefinisana funkcija oblika $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$). Od 2 do 3s obrtni moment se ne povećava, ostaje konstantan na 496 Nmm. Od 3 do 4s obrtni moment se smanjuje do nule. Zadato upravljanje je isto za obe hvataljke, kako bi dobijeni rezultati mogli ravnopravno da se uporede.

U programu *SOLIDWORKS* se, nakon proračuna teorijske sile, izračunala kontaktna sila po zakonu upravljanja obrtnim momentom za Prototip 1. Pri izračunavanju sile, simulacija računa njenu vektorsku vrednost u pravcu x-ose u svakom kadru. Nakon što se proračun izvrši, na ekranu se pojavljuje grafik gde je prikazana zavisnost kontaktne sile (u Njutnima) od vremena (u sekundama). Ovaj grafik je prikazan na slici 8.



Slika 8. Grafik kontaktne sile u vrhovima prstiju za Prototip 1

Sila je takođe proračunata i za Prototip 2, nakon što je obrtni moment postavljen na puž kao prenosnik obrtnog momenta sa motora, izvršen je proračun, i grafik sile u odnosu na vreme je dat na slici 9.



Slika 9. Grafik kontaktne sile u vrhovima prstiju za Prototip 2

Kontaktne sile na oba grafika su srazmerne upravljanju obrtnim momentom. U približno istom trenutku se vidi nagli skok sile, što predstavlja inicijalni kontakt dodirnih površina. Sile proračunate u simulaciji su srazmerne silama koje su teorijski izračunate, što je i bio traženi rezultat.

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva različita dizajna prototipa dvo-prstih hvataljki, od kojih je jedan pogonjen preko cilindričnog zupčastog para, a drugi preko pužnog prenosnog para. Takođe, izračunate su sile u vrhovima prstiju, teorijske i preko simulacije. Sile u vrhovima prstiju su srazmerne obrtnom momentu koji deluje na prste hvataljki.

Takođe, rezultati dobijeni simulacijom su odgovarajući rezultatima dobijenim teorijskim proračunom. U budućnosti, biće potrebno izraditi ove prototipove, i izvršiti iste proračune na realnim modelima. Ove hvataljke se u budućnosti mogu koristiti kao dobri alati za dodavanje taktilnih senzora na prste hvataljke i prikupljanje taktilnih informacija uhvaćenog predmeta, što je i namera dalje upotrebe ovih prototipova.

6. LITERATURA

- [1] Monkman G.J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H., (2007) *Robot Grippers*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [2] Gil Fuster A. , (2015), *Gripper design and development for a modular robot*, Diplomski rad, Tehnički Univerzitet Danske
- [3] Miltenović V., (2009) *Mašinski elementi*, 7.izdanje, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet
- [4] Nof Y. Simon, (1985) *Handbook of industrial robotics*, John Wiley & Sons Inc

Kratka biografija:



Tanja Berisavljević rođena je u Novom Sadu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronike odbranila je 2020.god.
kontakt: tanja.berisavljevic@gmail.com