

Edukacijski model robotske ruke

Đuranec, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:212576>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI
ODSJEK ZA POLITHNIKU

Ivan Đuranec

Edukacijski model robotske ruke
(Završni rad)

RIJEKA, 2018.

Sveučilište u Rijeci
Filozofski fakultet u Rijeci
Odsjek za politehniku

Studij: Preddiplomski studij politehlike

Student: Ivan Đuranec

Ivan Đuranec

Mat. broj: 0009066824

Edukacijski model robotske ruke

(završni rad)

Mentor : Doc. dr. sc. Damir Purković

Rijeka, 2018.

U Rijeci, 7. svibnja 2018. godine

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: Ivan Đuranec

Naziv zadatka: Edukacijski model robotske ruke

Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti sljedeće:

Pristupnik pri realizaciji zadatka treba obraditi teorijske osnove robotike sa stajališta razvoja i važnosti za suvremenu proizvodnju i inženjerstvo. Treba opisati probleme i glavne načine obrazovanja inženjera u području robotike. Potom treba opisati polazišta, ciljeve i svrhovitost projektnog zadatka – razvoja robotske ruke kao nastavnog sredstva. Nadalje, treba elaborirati tijekom razvoja projekta, korišteno sklopovlje i tehnologiju te izraditi funkcionalni model (prototip) robotske ruke. Pri razradi projekta se posebno treba osvrnuti na tehničke, ekonomske i obrazovne prednosti modela te na eventualne mogućnosti komercijalizacije. Pri izradi rada se treba koristiti standardnim hrvatskim jezikom i hrvatskom stručnim nazivljem.

U završnom se radu obavezno treba pridržavati **Uputa o izradi završnog i diplomskog rada.**

Zadatak uručen pristupniku: 7. svibnja 2018.

Rok predaje diplomskog rada: 3 mjeseca

Datum predaje diplomskog rada: 7. kolovoza 2018.

Koordinator povjerenstva:
Doc. dr. sc. Damir Purković

Mentor:
Doc. dr. sc. Damir Purković

Izjava

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na Odsjeku za politehniku Filozofskog fakulteta u Rijeci, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora Doc. dr. sc. Damira Purkovića.

Ivan Đuranec.

Sažetak

Ovaj rad će se u suštini baviti edukacijskim modelom robotske ruke, ali i općenito industrijskom robotikom i robotskim manipulatorima jer su postali neizostavan segment današnje moderne industrije i automatizacije. Robotski manipulatori uvelike su automatizirali i unaprijedili proizvodne sustave. Prvi dio rada opisuje povijesni pregled razvoja robotike i samih robotskih manipulatora. Nakon povijesnog razvoja detaljno je opisana industrijska robotika sa pratećim dijelovima kao što su elektromotori, te upravljanje robotske ruke putem Arduino mikrokontrolera. U glavnom dijelu rada navedeni su problemi i načini prilikom obrazovanja inženjera u području robotike, te model robotske ruke koji je prikladan za obavljanje praktikumskih aktivnosti u početnom obrazovanju inženjera u području mehatronike, automatike i robotike.

Ključne riječi: edukacijski model robotske ruke, industrijska robotika, robotski manipulatori, automatizacija, Arduino

Educational model of a robotic arm

Abstract

This work will be essentially an educational model of robotic hands, but also generally industrial robotics and robot manipulators as they become an indispensable segment of today's modern industry and automation. Robotic manipulators have greatly automated and improved production systems. The first part of the paper describes a historical overview of robotics and robotic manipulators themselves. After the historical development, industrial robotics with accompanying parts such as electric motors and robot arm management are detailed in the Arduino microcontroller. In the main part of the paper are mentioned the problems and the ways in which robotics engineers are educated, and the robotic arm model suitable for performing practical activities in the initial education of engineers in the field of mechatronics, automation and robotics.

Key words: educational model of a robotic arm, industrial robotics, robotic manipulators, automation, Arduino.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. POVIJEST ROBOTIKE.....	2
2.1 Prvi industrijski robot – „Unimate“	2
2.2. Generacije robota	3
3. INDUSTRIJSKA ROBOTIKA	5
3.1 Podjela robota.....	8
3.1.1 Vrste pogona.....	9
3.1.2 Geometrija radnog prostora	10
3.1.3 Načini upravljanja kretanjem	13
3.2 Karakteristike robota	14
3.2.1 Broj osi (<i>Number of axes</i>).....	15
3.2.2 Maksimalna masa tereta (<i>Load-carryng capacity</i>)	16
3.2.3 Brzina kretanja (<i>Speed of motion</i>)	16
3.2.4 Prostorna rezolucija (<i>Spatial resolution</i>).....	17
3.2.5 Točnost (<i>Accuracy</i>)	18
3.2.6 Ponovljivost (<i>Repeatability</i>).....	18
3.2.7 Dohvat i hod (<i>Reach and stroke</i>).....	19
3.2.8 Orijentacija alata (<i>Tool orientation</i>)	20
3.2.9 Radna okolina (<i>Operating environment</i>).....	20
3.3 Sustavi kojima se upravlja robotima	21
3.4 Elektromotori – najčešći pogoni robotskih manipulatora.....	21
3.4.1 Beskolektorski (DC motori)	23
3.4.2 Koračni motori	25
3.4.3 Servo motori	26
4. UPRAVLJANJE ROBOTSKIM MANIPULATOROM.....	28
5. PROBLEMI I NAČINI INŽENJERSKOG OBRAZOVANJA.....	30
5.1 Problemi inženjerskog obrazovanja	30
5.2 Načini obrazovanja inženjera	31
6. PROJEKT – EDUKACIJSKI MODEL ROBOTSKJE RUKE.....	33
6.1 Arduino sklopovlje.....	33
6.1.1 Razvoj za Arduino platformu	34
6.1.2 Arduino programski jezik.....	35
6.1.3 Pisanje Arduino programa i biblioteke	35
6.2 Korišteni aktuatori.....	36
6.3 Mehanička konstrukcija robotske ruke.....	36

6.4 Shema spajanja servo motora i Arduina	38
6.5 Programiranje servo motora	39
6.6 Primjena modela u obrazovanju inženjera	39
7. ZAKLJUČAK	41
LITERATURA.....	42
PRILOG	44

1. UVOD

Pojavom robota, industrijski proizvodni procesi značajno su se promijenili, pa je tako moderna industrija kakvu danas poznajemo nezamisliva bez robotike i automatizacije. Kod raznih procesa serijske proizvodnje, čovjek se više ne može mjeriti sa robotom jer je u tim segmentima za njega nedostižan. Dakle, ovdje govorimo o poslovima kod kojih imamo ponovljive procese i visoku preciznost rada gdje robot uvijek drži jednaku kvalitetu proizvoda te konstantnu brzinu rada [1]. Ukratko možemo spomenuti zablude koje su se pojavile prilikom uvođenja robota kako će dotični zamijeniti čovjeka te ljudi neće imati gdje raditi. Smanjenje radne snage je neizbježno, ali tu se tvornicama otvara prostor za ulaganje u edukaciju svoje radne snage i što je najbitnije, čovjek je sklonjen sa fizički i psihički zamornih te opasnih poslova gdje se sigurnost i kvaliteta radne snage uvelike povećava.

Po pitanju gospodarstva, robotika i tu ima značajnu ulogu. Sami smo svjedoci kako se život čovjeka mijenja, modernizira iz godine u godinu, a čovjekova potreba za modernim proizvodima se povećava. Konkurencija na tržištu je velika, a kako bi neka tvornica bila konkurentna, tržištu mora ponuditi kvalitetne proizvode sa što manjim troškovima, a tada na red dolazi robotika i automatizacija.

Kao što je već prije navedeno, razvoj gospodarstva uvelike ovisi o robotici i automatizaciji. Ovdje se javlja problem obrazovanja, odnosno edukacije radne snage. Za projektiranje i proizvodnju robotskih i mehatroničkih uređaja te za njihovo upravljanje i nadziranje inženjeri trebaju imati širok raspon znanja iz područja strojarstva, elektronike i računarstva koje je jako teško usvojiti u kratkom razdoblju [2]. Hrvatska je jedna od država koja se presporo prilagođava ubrzanom razvoju znanosti i tehnike, a to je sve posljedica zastarjelog sustava obrazovanja i premalog ulaganja u isti. Ovaj rad elaborira osnove robotike kojom danas treba ovladati svaki inženjer.

U prvom dijelu ovog rada bit će riječi o povijesnom razvoju robotskih manipulatora, te kako je sve započelo. Spomenute su generacije robota i dosta veliki dio će biti posvećen industrijskoj robotici u koju spadaju razne podjele kao što su vrste pogona, radni prostor pa sve do maksimalnih tereta, brzina i tako dalje. Spomenuti su i električni motori koji služe za pogon manipulatora.

Prije glavnog dijela rada opisani su problemi i načini obrazovanja inženjera u području robotike.

U glavnom dijelu rada detaljno je elaboriran zadatak edukacijskog modela robotske ruke u kojem će biti opisana izrada konstrukcije, te spajanje i programiranje aktuatora.

2. POVIJEST ROBOTIKE

Čovjek je od davnina težio kako da si olakša što god da radio. Naziv „robot“, prvi puta se susreće u 20. stoljeću, točnije 1920. godine kada ga je češki književnik Karel Čapek uveo u svojoj drami za opis čovjekolikoga stroja sposobnog za rasuđivanje (slika 2.1), a konstruiranog kako bi zamijenio ljudski rad u tvornicama.



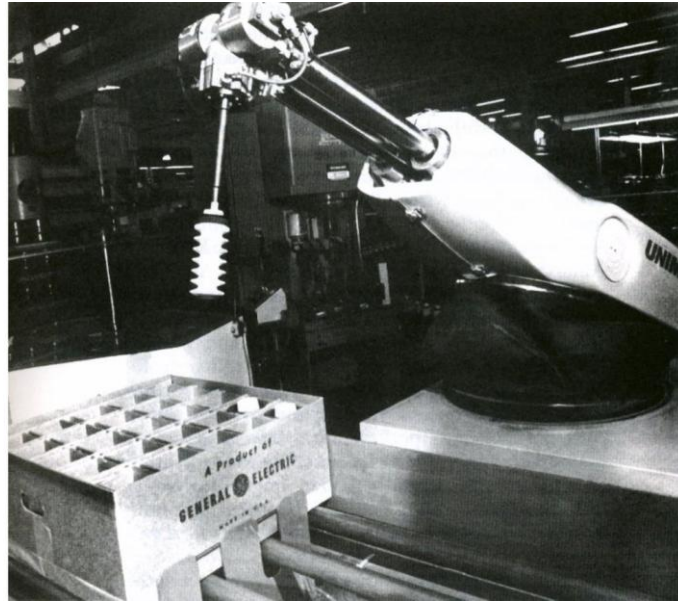
Slika 2.1 – Robot K. Čapeka iz drame R.U.R

Industrijske revolucije s kraja XIX. i početka XX. stoljeća omogućile su korištenje složenijih mehaničkih dijelova što je dovelo do ubrzanog razvoja robotike. U prvoj polovici 20. stoljeća započeo je razvoj numerički upravljanih alatnih strojeva koje nazivamo CNC (*Computer Numerical Control*), a nešto kasnije su se počeli razvijati i manipulatori, odnosno robotske ruke s velikom slobodom pokreta koje su bile namijenjene za rad s radioaktivnim materijalima [3]. Zbog svoje specifičnosti koju su manipulatori imali, odnosno mogućnosti programiranja koja im je dodana, manipulatori su bili djelomično samostalni u radu. Možemo reći kako je George Devol 1954. godine izumio prvi robot kojega je proizvela američka tvrtka Unimation 1961. godine. Nešto više o prvom industrijskom robotu opisat ću u nastavku.

2.1 Prvi industrijski robot – „Unimate“

Georg Devol je 1954. godine projektirao uređaj „Unimate“ koji je imao svrhu programiranog premještanja predmeta (slika 2.2), a 1961. godine proizvela ga je američka tvrtka Unimation [4]. Unimate je preuzeo na sebe posao prenošenja lijevanih dijelova automobila i njihovo zavarivanje sa karoserijom. To je bio jako opasan posao jer su se

prilikom obavljanja tih procesa oslobađali štetni plinovi po ljudsko zdravlje. Robot se sastojao od računala koji je upravljao rukom, a program za upravljanje se čuvao u magnetnoj kutiji.



Slika 2.2 – Prvi industrijski robot „Unimate“

Unimate je imao funkciju uzimanja i prenošenja stvari. Ovaj uređaj je bio ispred konkurentskih proizvoda iz razloga što je Unimate imao povratno servo upravljanje po zadanoj putanji, što drugi proizvodi nisu imali, te je imao mogućnost daljinskog upravljanja.

2.2. Generacije robota

Robotika, kibernetika, automatika, te računalne i informacijske znanosti su znanstvene discipline čiji razvoj doprinosi današnjem istraživanju na razvoju robota. Razlikujemo nekoliko skupina, odnosno generacija robota koji se klasificiraju s obzirom na stupanj autonomnosti, mogućnosti interakcije s okolinom i „inteligencije“:

1. generacija – programirani roboti kod kojih se proces upravljanja odvija u upravljačkom lancu: upravljački sustav, pogon, mehanizam ruke robota i prihvatnica (šaka). Oni ne koriste povratnu informaciju o svojem stvarnom stanju i ne mogu korigirat pogreške vođenja;
2. generacija – opremljeni su nizom senzora koje koriste za dobivanje povratnih informacija o svojem stvarnom stanju i stanju okoline. Ova generacija robota može korigirat pogreške vođenja, ali može i optimirati proces vođenja, te ga adaptirati s obzirom na promjene stanja robota i njegove okoline;

3. generacija – ovoj generaciji pripadaju inteligentni roboti. Dakle, to su roboti koji imaju sposobnost učenja, rezoniranja i donošenja zaključaka, pa se mogu snalaziti u neorganiziranoj okolini i u novonastalim nepredviđenim situacijama. Posjeduju i visok stupanj funkcionalne, organizacijske i mobilne autonomnosti. Roboti treće generacije tek su u razvoju koji je usporedan s razvojem naprednih informacijskih tehnologija, odnosno umjetne inteligencije.

Predviđa se da će razvitak generacija robota u budućnosti otići u tri smjera: mehatronički roboti (kombinacija mehaničkih i elektroničkih elemenata), biotronički roboti (kombinacija bioloških i elektroničkih elemenata) i bioroboti (ostvareni genetičkim inženjeringom), a neki očekuju da će se njihova inteligencija približavati čovječjoj, pri čemu se otvaraju neka nova pitanja.

3. INDUSTRIJSKA ROBOTIKA

Pod pojmom industrijska robotika podrazumijevamo projektiranje, upravljanje robota i primjenu robota u industriji. Kada spomenemo pojam robot, tu se najčešće podrazumijeva industrijski robot kojega još nazivamo i robotski manipulator ili robotska ruka. Definicije koje danas postoje pod pojmom „robot“ ovise o načinu i primjeni robota [5].

Glavni dijelovi robotske ruke su:

1. **Mehanička struktura** (slika 3.1) – sastoji se od krutih segmenata povezanih pomoću zglobova. Ruka osigurava pokretljivost, okretljivost osiguravamo ručnim zglobom, dok se vrhom manipulatora izvršavaju operacije koje se zahtijevaju od robota;



Slika 3.1 – Mehanička struktura robotske ruke s aktuatorima

2. **Aktuatori ili pogoni** – omogućuju kretanje, odnosno pomicanje zglobova kako bi se manipulator postavio u određeni položaj. Za obavljanje takvih funkcija, najčešće koristimo električne (slika 3.2) ili hidraulične motore, a nerijetko i pneumatske;



Slika 3.2 – Električni aktuatori (koračni i servo motor)

3. **Senzori** – dio robotske ruke koji služi za detektiranje položaja manipulatora, a u određenim slučajevima detektira i status okoline;
4. **Sustav upravljanja** – služi za funkciju upravljanja, te nadzire kretanje manipulatora. Za manje zahtjevna sklopovlja, odnosno sklopovlja koja koristimo u edukaciji, najčešće koristimo „Arduino“ o kojem ćemo više objasniti malo kasnije.

Zbog mogućnosti obavljanja teških, preciznih i ponavljajućih poslova, robotske ruke odnosno robotski manipulatori, uspješno se primjenjuju u proizvodnim procesima. Tako ih koristimo u procesima gdje je potrebno određeni objekt prenijeti s jednog mjesta tvornice na drugi radi čuvanja, montiranja, pakiranja ili daljnje obrade. Prednost prilikom takvog prijenosa je što fizičke karakteristike spomenutoga objekta nisu podvrgnute nikakvim promjenama, što bi značilo da oštećenja objekta kojeg prenosimo svodimo na minimum. Radnje koje robot obavlja prilikom ovakvog procesa su podizanje objekta, prenošenje u prostoru po unaprijed definiranoj stazi te otpuštanje objekta. Klasične primjene ove vrste su:

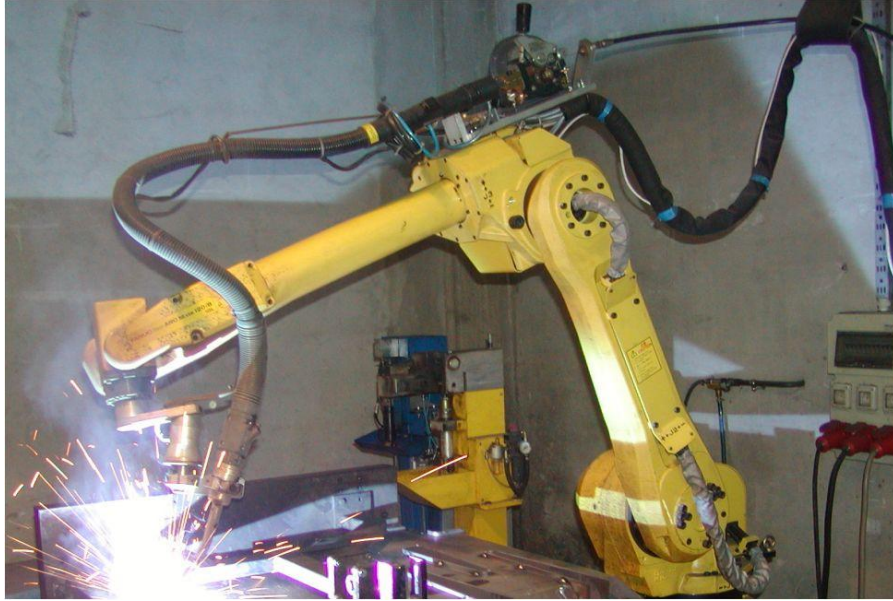
- utovar i istovar robe u skladištu (u ovom slučaju kutija),
- paletiranje (smještanje objekata na palete po određenom redoslijedu) (slika 3.3),
- sortiranje dijelova,
- pakiranje robe,
- struganje.



Slika 3.3 – Postupak paletiranja robotskom rukom

Kada je riječ o objektima i alatima koji se obrađuju, robotski manipulator je prikladan i u takvim procesima. Dakle, ovdje govorimo o procesima koji se sastoje od transformacije objekta iz sirovine u završni oblik, prilikom kojega se mijenjaju fizička svojstva kao rezultat strojne obrade ili se mijenja izgled objekta prilikom montaže. Primjene ovakve vrste su:

- raspršivanje boje,
- struganje i bušenje,
- lijepljenje i pečenje,
- lučno i točkasto zavarivanje (slika 3.4),
- brušenje i ljuštenje,
- lasersko rezanje i rezanje vodenim mlazom,
- montiranje električnih ploča,
- montiranje mehaničkih i električnih grupa,
- uvrtnje vijaka.



Slika 3.4 – Postupak zavarivanja robotskom rukom

Kako bi proizvod bio visoko kvalitetan, potrebna su razna mjerenja i kontrole da zadovolji određene uvjete i parametre. S obzirom da robot ima sposobnost „istraživanja“ trodimenzionalnog prostora i dostupnost mjerenja statusa manipulatora, koristimo ga i kao mjerni uređaj koji obuhvaća sljedeće procese:

- nadziranje objekta,
- pronalaženje kontura,
- pronalaženje grešaka na proizvodu.

S napretkom tehnologija, zahtjevi kvalitete proizvoda su sve strožiji. Kako je već prethodno navedeno, svaki od ova tri procesa omogućuje nam ispunjavanje tih zahtjeva, ali samim time osiguravaju visoki stupanj automatizacije, te se broj operacija u proizvodnji smanjuje.

3.1 Podjela robota

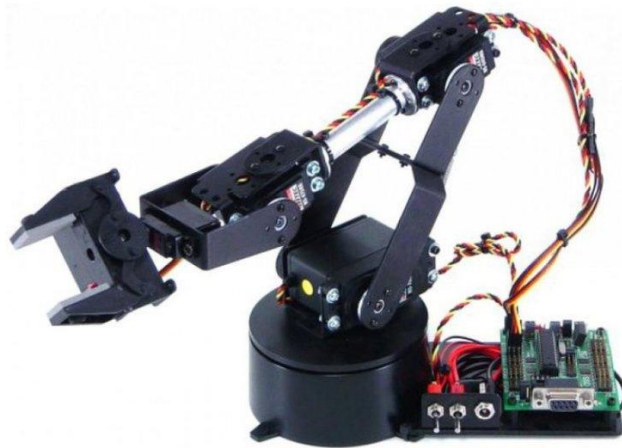
U osnovi, robote možemo razlikovati prema veličini, motorima koji pokreću određene zglobove, vrsti materijala s kojim rukuju, o primijenjenim senzorskim sustavima koje koriste, te računskim sustavima koji ih poslužuju. Kada govorimo o općoj podjeli, tu mislimo na podjelu prema vrsti pogona, geometriji radnog prostora i načinu upravljanja kretanjem [6]. Ova podjela je vrlo važna kada je riječ o robotskim manipulatorima, pa ćemo u daljnjem tekstu detaljno objasniti svaki od navedena tri pojma.

3.1.1 Vrste pogona

Svaki pokret robotskog manipulatora (pomicanje tijela, ruke i ručnog zgloba) omogućen je upotrebom pogonskog sustava ili mehanizma robota koji određuje brzinu pomicanja ruke, dinamičke performanse manipulatora i jakost. Možemo reći da pogonski sustav određuje područje primjene robotskog manipulatora. Najčešće se upotrebljavaju ova tri pogona:

- Električni pogon (motor),
- Hidraulički motor,
- Pneumatski motor.

Zbog svoje relativno niske cijene, zauzimanja malo prostora, velike brzine i točnosti, te mogućnosti primjene složenih algoritama upravljanja, danas se za pogon većine robotskih manipulatora koriste električni motori (slika 3.5). Električne motore ćemo u idućem poglavlju detaljno opisati



Slika 3.5 – Robotska ruka na električni pogon

Kada je riječ o specifičnim primjenama kao što su sastavljanje dijelova automobila (slika 3.6) ili rukovanje užarenim čelikom, odnosno kada se zahtijeva manipulacija velikim teretima, tada se koriste roboti s hidrauličkim motorom. Hidraulički motor ima veću brzinu i snagu nego što ima električni motor, a nestlačivost ulja omogućuje mirno održavanje pozicije. Ove motore koristimo kod velikih dimenzija robota. Njihovi najveći nedostaci su visoke cijene motora, te zagađivanje okoliša zbog buke i mogućnosti istjecanja ulja.



Slika 3.6 – Robotska ruka na hidrauličan pogon

Pneumatske motore primjenjujemo kod malih robota. Jedna od prednosti im je niska cijena, ali i relativno velika brzina rada i nezagađivanje okoliša, te se zbog toga primjenjuju za laboratorijski rad (slika 3.7). Mana ovih motora je stlačivost zraka, pa zbog svoje nemogućnosti za mirno održavanje pozicije nije ih moguće koristiti za velike terete. Također, prisutna je i buka pa je potrebno dodatno filtriranje i sušenje zraka zbog nepoželjne vlage i prašine. Ako je potrebno samo otvaranje i zatvaranje hvataljke, odnosno vrha manipulatora, koristimo pneumatske motore jer nemaju grubi stisak pa se oštećenja lomljivih predmeta svode na minimum.



Slika 3.7 – Robotska ruka na pneumatski pogon

3.1.2 Geometrija radnog prostora

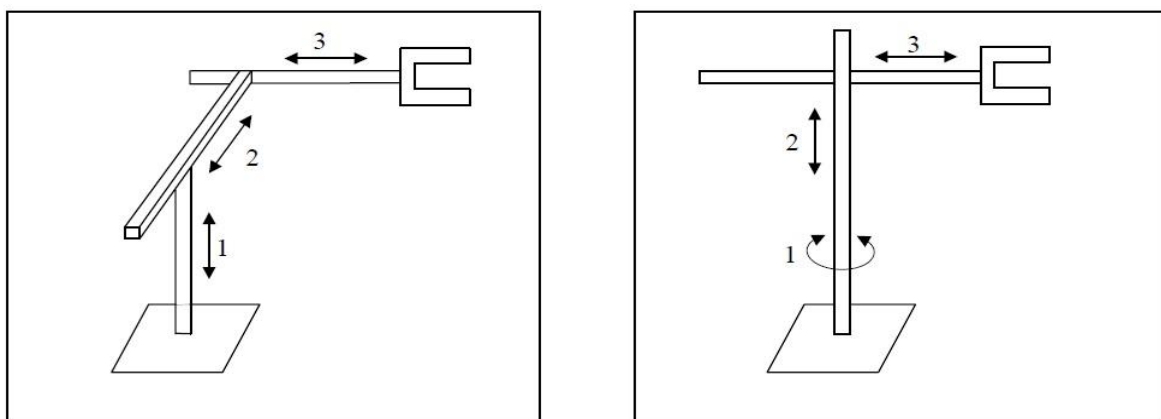
Geometrija radnog prostora je trodimenzionalan radni prostor u kojem se odvija kretanje robota. Ovdje možemo spomenuti šest stupnjeva slobode koje posjeduju općeniti

manipulatori (tri translacije i tri rotacije). Stupnjevi slobode omogućuju nam dovođenje vrha manipulatora u bilo koju poziciju unutar radnog prostora. S obzirom na geometriju radnog prostora, manipulatore djelimo na:

- Pravokutna,
- Cilindrična,
- Sferna,
- Rotacijska.

Pravokutna konfiguracija robota posjeduje tri translacijska zgloba, a njihove osi su međusobno okomite (slika 3.8). Budući da se radi o pravolinijskom kretanju i o jednostavnoj geometriji, svaki stupanj pokretljivosti se podudara sa stupnjem slobode u Cartesianovom koordinatnom sustavu. Struktura ima dobru mehaničku čvrstoću, u cijelom radnom prostoru konstantna je točnost pozicioniranja ručnog zgloba, ali pored visoke točnosti, svi zglobovi su translacijski pa struktura ima slabu pokretljivost. Pravokutna konfiguracija posjeduje radni prostor u obliku prizme koji je velikih dimenzija i omogućuje manipuliranje krupnim objektima, pa se zato najčešće koriste pri rukovanju materijalima i montaži. Pogon za pokretanje zglobova manipulatora su električni motori, a rijetko pneumatski.

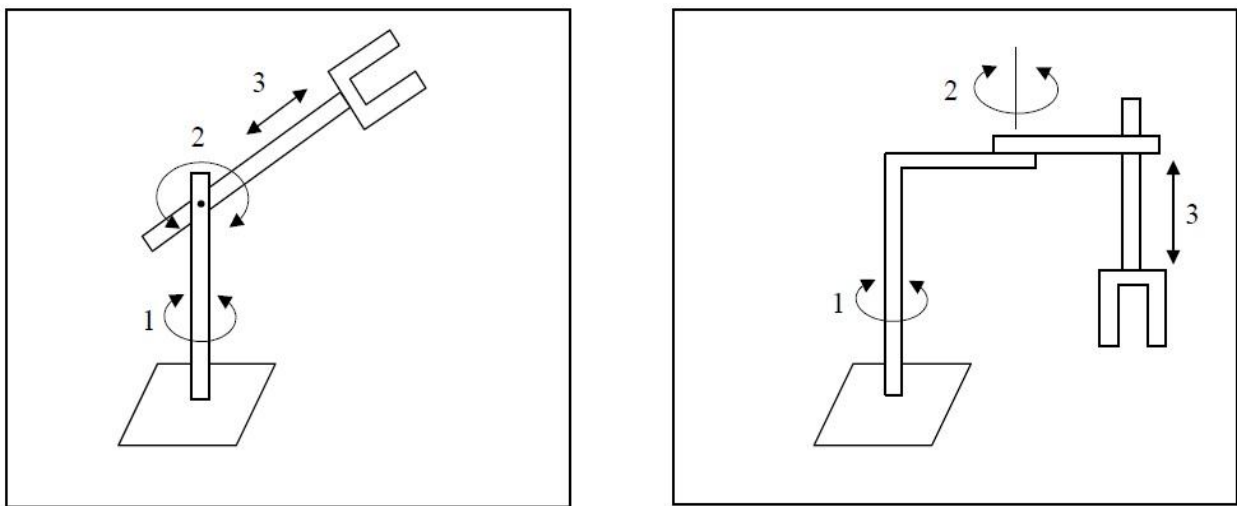
Cilindričnu konfiguraciju robota dobijemo kada prvi zglob kod pravokutne strukture zamijenimo rotacijskim zglobom (slika 3.8). Možemo reći da je radni prostor ovakvog robota volumen između dva vertikalna plašta valjka koji imaju zajedničko središte. Točnost pozicioniranja ručnog zgloba kod cilindričnog manipulatora smanjuje se sa povećanjem horizontalnog hoda, ali zato pokazuje dobru mehaničku izdržljivost. Najčešće se upotrebljavaju za prijenos objekata većih dimenzija, te koriste hidraulične motore za pokretanje zglobova.



Slika 3.8 – Pravokutna i cilindrična konfiguracija robota [5]

Kada rotacijskim zglobovima zamijenimo i drugi zglob cilindrične konfiguracije robota, dobiti ćemo robot sferne konfiguracije (slika 3.9). Prilikom ograničenja svih kretanja, radni prostor ovakvog tipa robota je dio volumena između dviju sfera koje imaju zajedničko središte, a kada bi ograničili samo translacijsko kretanje, tada bi radni prostor bio cijeli volumen između dviju sfera zajedničkog središta. Ovdje imamo složenije geometrijske i mehaničke strukture, pa je tako i mehanička čvrstoća manja kada uzmemo u obzir prethodne strukture. Porastom radijalnog hoda opada točnost pozicioniranja. Ovakve manipulatore koristimo u strojarскоj industriji, a pokretanje zglobova manipulatora omogućuju električni motori.

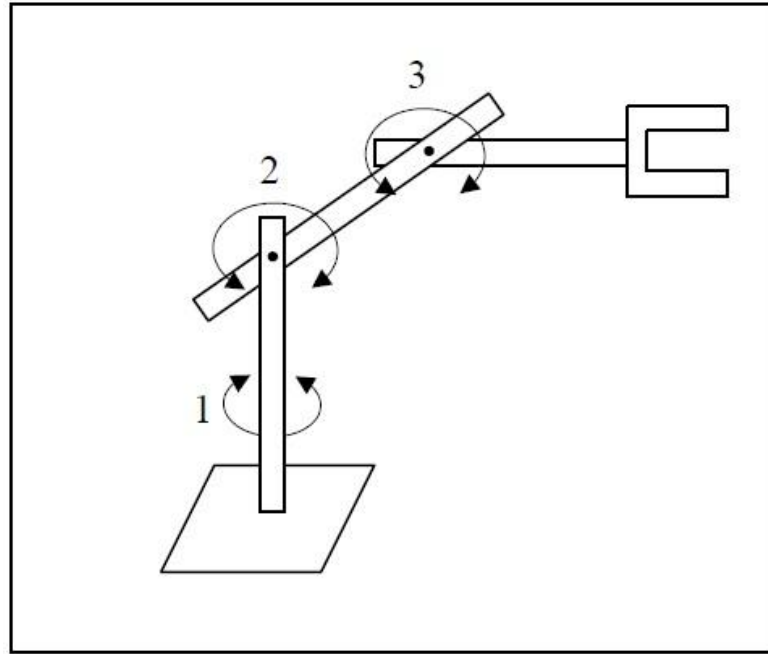
Sličan sfernoj konfiguraciji, postoji robot konfiguracije pod imenom SCARA (*Selective Compliance Articulated Robot Arm*) koji također posjeduje dva rotacijska i jedan translacijski zglob koje možemo vidjeti dolje na slici (slika 3.9), ali kod SCARA robota sve tri osi su vertikalne. Ovaj tip robota ima popustljivost za opterećenja u horizontalnoj osi, ali veliku čvrstoću za opterećenja na vertikalnoj osi, pa se tako i koriste za zadatke montiranja po vertikalnoj osi. Udaljenost između ručnog zgloba i osi prvog zgloba ovisi o točnosti pozicioniranja, pa se tako sa porastom udaljenosti smanjuje točnost, a sa smanjenjem povećava.



Slika 3.9 – Sferna konfiguracija robota (desno je SCARA) [5]

Upotrebom rotacijskoga zgloba na sva tri zglobna mjesta dobiti ćemo rotacijsku konfiguraciju robota (slika 3.10) koju još nazivamo i antropomorfna, zglobna ili laktasta konfiguracija. Drugi i treći zglob posjeduju paralelne osi rotacije i okomite su na os rotacije prvog zgloba, pa je tako radni prostor ovakve konfiguracije ako ograničenje rotacijskih

kretanja ne postoji, kugla, a ako je ograničenje prisutno, tada je radni prostor dio kugle složenog oblika čiji je presjek sa strane najčešće u obliku polumjeseca. Možemo primjetiti kako ovaj tip ruke ima sličnosti sa ljudskom rukom pa zato drugi zglob nazivamo vratni zglob, a treći lakat. Pokretači zglobova su električni motori, dok je područje primjene široko.



Slika 3.10 – Rotacijska konfiguracija robota [5]

Koji robot izabrati ovisi nam o vrsti primjene koju ograničavaju dimenzije i oblik radnog prostora, točnost pozicioniranja, maksimalan iznos tereta, te dinamičke osobine manipulatora.

3.1.3 Načini upravljanja kretanjem

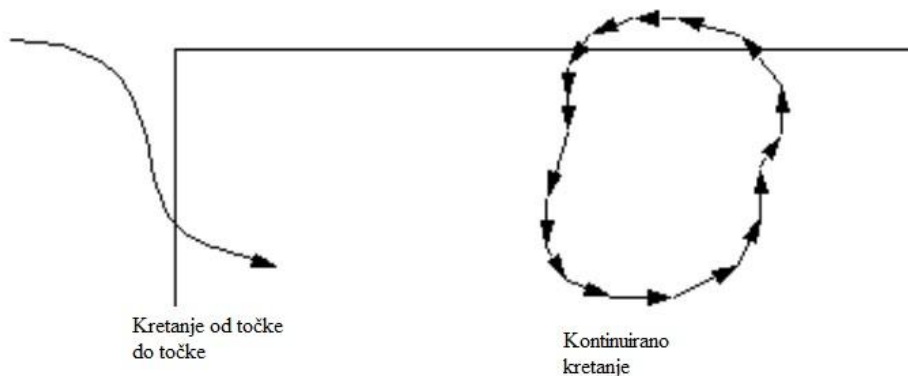
Prilikom upravljanja koriste se dva osnovna načina kretanja vrha manipulatora:

- Od točke do točke (eng. *Point-to-point motion*),
- Kontinuirano kretanje po putanji (eng. *Continuous path*).

Kod prvog načina kretanja, „od točke do točke“, najbitnija nam je točnost pozicioniranja, dok putanja između točaka nije toliko bitna. Možemo reći da se kod ovakvog kretanja vrh manipulatora kreće po diskretnim točkama unutar radnog prostora pa ga zato

koristimo za diskretne operacije kao što su točkasto zavarivanje, podizanje ili spuštanje predmeta.

Kao i kod kretanja „od točke do točke“, točnost pozicioniranja jako je važno i za kontinuirano kretanje po putanji, ali isto tako je važna i trajektorija. Za ovu vrstu kretanja kažemo da se vrh manipulatora mora kretati po unaprijed određenoj putanji u trodimenzionalnom prostoru, te se ovakvi roboti koriste za lijepljenje, bojenje i šavno zavarivanje.



Slika 3.11 – Slikovni prikaz opisanih načina kretanja

3.2 Karakteristike robota

Nakon što smo opisali osnovnu podjelu robota prelazimo na karakteristike robota. Karakteristike robota koje će biti opisane u daljnjem tekstu su jednako važne kao i osnovna podjela robota, a one su sljedeće:

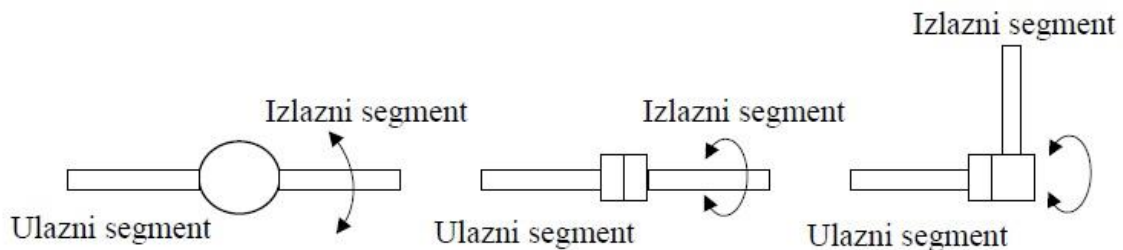
- Broj osi – broj osi za translacijsko ili rotacijsko kretanje,
- Maksimalna masa tereta – maksimalan teret koji robot može prenijeti,
- Maksimalna brzina – maksimalna brzina kretanja robota,
- Dohvat i hod – maksimalan dohvat i hod manipulatora,
- Orijehtacija alata – orijentacija vrha manipulatora,
- Ponovljivost – dovođenje vrha manipulatora u isti položaj,
- Prostorna rezolucija – najmanji pomak manipulatora,
- Točnost – razlika između željene i ostvarive pozicije,
- Radna okolina – prostor u kojem manipulator vrši radnje.

Upoznavanje ovih karakteristika omogućiti će brže shvaćanje rada robotskog manipulatora, a i bez poznavanja nabrojanih karakteristika nije moguće konstruirati robotski manipulator za određenu namjenu. Nakon nabrojanih svih karakteristika, u daljnjem tekstu ćemo detaljno objasniti svaku od njih.

3.2.1 Broj osi (*Number of axes*)

Za svaki robot, odnosno za rotacijsko (slika 3.12) ili translacijsko (slika 3.13) kretanje njegovih segmenata, broj osi je karakterističan. Kada je riječ o kretanju robota, ono se odvija u trodimenzionalnom prostoru, pa se za određivanje pozicije ručnog zgloba najčešće koriste prve tri osi, a orijentaciju vrha manipulatora određuju preostale osi. U suštini, manipulatori posjeduju šest osi koje mogu dovesti vrh manipulatora u bilo koju poziciju i orijentaciju unutar radnog prostora, dok se mehanizam na vrhu manipulatora svojim otvaranjem i zatvaranjem prstiju ne smatra nezavisnom osi jer ne utječe na orijentaciju niti na poziciju hvataljke.

Manipulatori koji posjeduju više od šest osi, imaju mogućnost izbjegavanja prepreka unutar radnog prostora.



Slika 3.12 – Rotacijski zglobovi [5]



Slika 3.13 – Translacijski zglob [5]

3.2.2 Maksimalna masa tereta (*Load-carryng capacity*)

Veličina, konfiguracija i konstrukcija robota zavise o tome koliku će maksimalnu masu tereta robot moći prenijeti, ali također ovisi i o pogonskom sustavu koji pokreće zglobove robota jer se ovdje radi o masama od nekoliko kilograma pa sve do nekoliko tona. Kada određujemo maksimalnu masu tereta, tada ruku treba postaviti u položaj u kojemu ona ima najslabiju funkciju. Dakle, kod cilindrične konfiguracije to bi značilo da je ruka robota maksimalno ispružena.

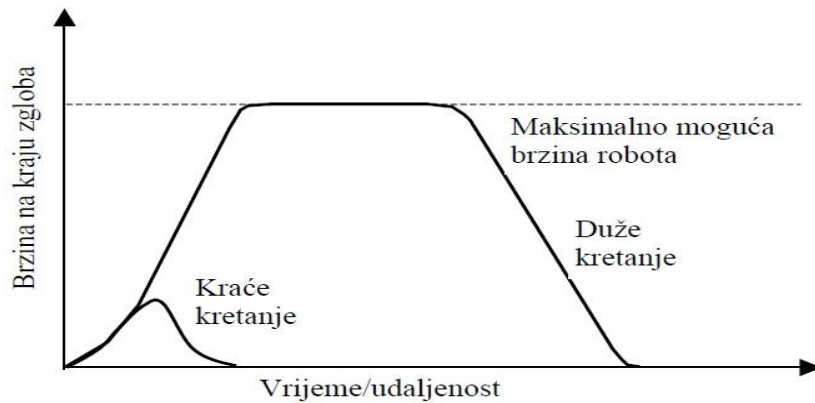
3.2.3 Brzina kretanja (*Speed of motion*)

Brzina robota ima veliki raspon, pa se tako kreće u području od 10 cm/s sve do 10 m/s. Kolika će brzina biti jako ovisi o tipu robota i o njegovoj primjeni, gdje imamo da veliki roboti čija je ruka proširena na maksimalnu udaljenost od vertikalne osi robota postižu najveće brzine. Zatim, roboti pogonjeni električnim motorom nikada neće imati veliku brzinu kao roboti pogonjeni hidrauličnim motorom.

Kada spominjemo brzinu, usko vezani pojam je vrijeme radnog ciklusa, jer nam upravo brzina određuje kako robot brzo može obaviti taj zadani radni ciklus. A vrijeme radnog ciklusa definiramo kao potrebno vrijeme da manipulator obavi neku jednostavnu operaciju, kao što je podizanje i spuštanje predmeta, te se vrati u svoj početni položaj. Većina robota posjeduje određeno upravljanje putem kojega možemo regulirati njegovu brzinu, stoga se u proizvodnji uvijek teži smanjiti vrijeme trajanja postavljenog zadatka. Određivanje brzine, odnosno smanjenje vremena proizvodnog ciklusa ovisi o nekim faktorima:

- Udaljenost na koju se objekt prenosi,
- Težina objekta kojim manipuliramo,
- Točnost s kojom se vrh manipulatora mora pozicionirati.

Ovdje sada dolazimo do inverzne situacije, jer brzina i točnost baš i ne idu zajedno. Dakle, želimo li povećati točnost, manipulator će morati sporije i opreznije pokretati svoje zglobove. Isto tako, s povećanjem mase, brzina manipuliranja opada pošto se u ovoj situaciji javljaju veće inercije i momenti, te se zbog sigurnosnih uvjeta operacije moraju sporije obavljati.



Slika 3.14 – Utjecaj udaljenosti na brzinu kretanja [5]

Robot ima sposobnost da sa vrhom manipulatora duži put obavi u kraćem vremenu od vremena potrebnog za obavljanje slijeda kraćih puteva, jer zbog kratkih rastojanja robot ne može dosegnuti veće brzine.

3.2.4 Prostorna rezolucija (*Spatial resolution*)

Najmanji pomak u kojemu robot može podijeliti svoj radni volumen nazivamo prostorna rezolucija, a ovisi o dva čimbenika:

- Rezolucija upravljačkog sustava,
- Robotske mehaničke nepreciznosti.

Ove informacije nam govore kako robot nema mogućnost kontinuiranog pozicioniranja, već postoji skup određenih pozicija u radnom prostoru u koje možemo dovesti naš robot. U slučaju robota sa jednim stupnjem slobode, spomenute faktore jednostavno je predočiti.

Upravljački sustav pozicije robota i njegova povratna veza unutar koje se nalazi sustav mjerenja određuju upravljačku rezoluciju, te je to sposobnost regulatora da ukupno područje kretanja podijeli za pojedini zglob u individualne pomake. O kapacitetu pohrane (bitu) u upravljačkoj memoriji ovisi mogućnost podjele zgloba u pomake. Broj odvojenih, diskretnih pomaka za određenu os dana je sa:

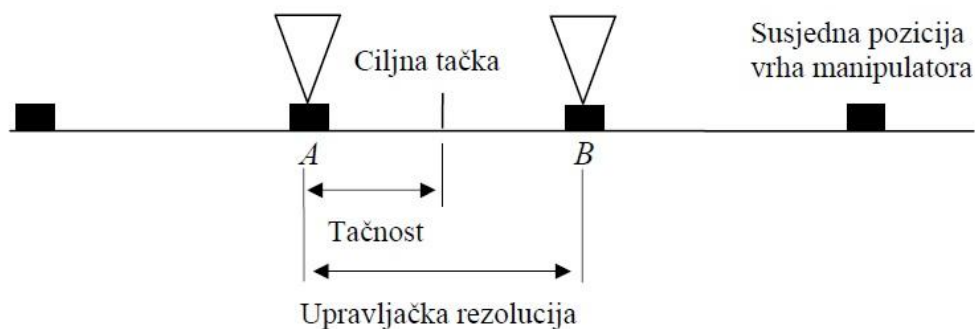
$$\text{Broj pomaka} = 2^n$$

gdje je n je broj bita u upravljačkoj memoriji. Da pojasnimo, ako robot ima mogućnost pohrane 8 bita, tada područje možemo podijeliti na 256 diskretnih pozicija ($2^8=256$). Kada bi imali robote sa više stupnjeva slobode, moramo imati i upravljačku rezoluciju za svaki pojedini zglob kretanja.

Mehaničke nepreciznosti češće se javljaju kod većih robota zbog njihovih dužih komponenti (zglobova, segmenata). Neke od tih nepreciznosti proizlaze iz elastičnih odstupanja u strukturalnim članovima, zazor zupčanika, istjecanje ulja u hidrauličkim pogonima i drugo. Također one mogu biti prouzrokovane brzinom kretanja ruke, veličinom tereta, o tome kako održavamo robot.

3.2.5 Točnost (*Accuracy*)

Do sada smo proučavali mogućnosti robota da zauzme različite položaje u prostoru uzimajući u obzir diskretne pozicije u radnom prostoru, ali u stvarnosti zahtijevamo od robota da dođe u položaj koji se u općem slučaju ne poklapa sa nekim od diskretnih položaja. Točnost nam najviše ovisi o tome koliko pažljivo robot može definirati upravljačke pomake za kretanje svakog zgloba. Na slici 3.15 možemo vidjeti da nam se vrh manipulatora nalazi u točki A, da je točka B najbliža sljedeća pozicija u koju on može doći. Jasno vidio razliku između točnosti i upravljačke rezolucije uzimajući u obzir da su mehaničke nepreciznosti jednake nuli.



Slika 3.15 – Prikaz točnosti i upravljačke rezolucije kada su mehaničke nepreciznosti jednake nuli [5]

3.2.6 Ponovljivost (*Repeatability*)

Sposobnost robota da vrh manipulatora ponovo dovede u isti položaj nazivamo ponovljivost. Ponovljivost ima različito značenje od točnosti jer točnost definira sposobnost robota da postigne zadanu ciljnu točku, dok ponovljivost ima sposobnost ponovnog dolaska u istu točku. Odstupanje pri ponovnom dovođenju u istu točku manja je od 1 mm, a razlog tomu je zazor zupčanika i elastičnost segmenata.

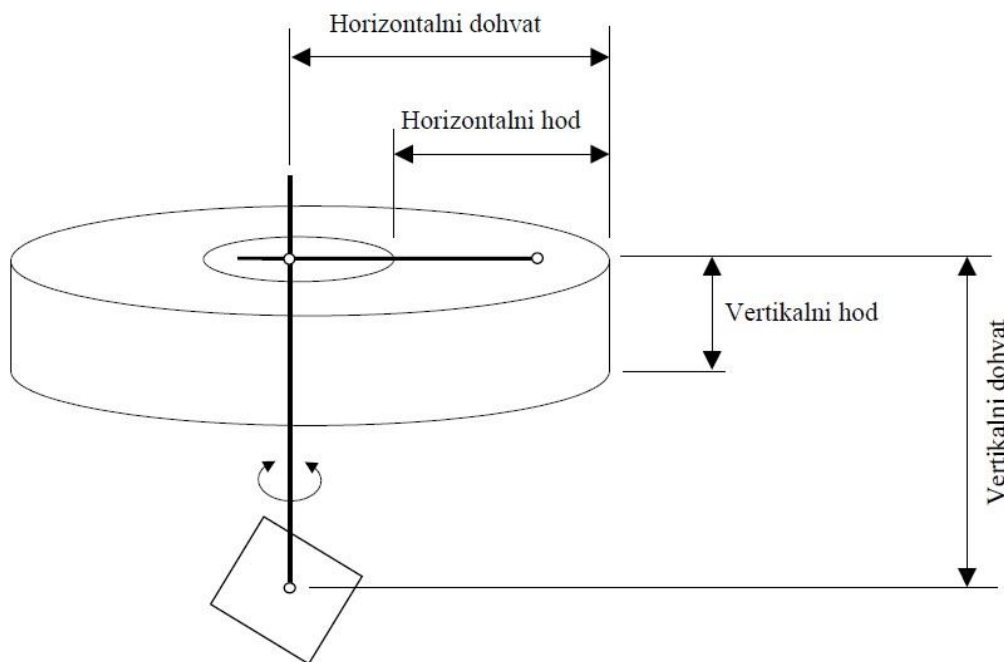
Ponovljivost nam je posebno bitna u proizvodnim uvjetima iz razloga što nam osigurava da će hvataljka svaki put pravilno primiti objekt. Zahtjevi za ponovljivost ne moraju uvijek biti jednako strogi, već ovise o dimenzijama proizvoda s kojima se manipulator susreće

3.2.7 Dohvat i hod (*Reach and stroke*)

Pomoću dohvata i hoda približno možemo odrediti veličinu radnog prostora robota. Maksimalna udaljenost koju može dohvatiti ručni zglob mjerena od vertikalne osi oko koje robot rotira je definicija horizontalnog dohvata, a ukupna udaljenost od vertikalne osi po kojoj se ručni zglob može kretati je definicija horizontalnog hoda. Minimalna udaljenost ručnog zgloba od glavne vertikalne osi je razlika između horizontalnog dohvata i hoda, a kako je ta veličina uvijek pozitivna, dohvat je tada uvijek veći ili jednak hodu.

Maksimalna udaljenost ručnog zgloba robota od baze nazivamo vertikalni dohvat, a ukupnom vertikalnom udaljenosti po kojoj se ručni zglob može kretati definiramo vertikalni hod pri čemu je vertikalni hod manji ili jednak vertikalnom dohvat.

Na slici 3.16 imamo prikazan horizontalni dohvat robota cilindrične konfiguracije polumjera vanjskog plašta valjka radnog prostora, a razlika polumjera vanjskog i unutarnjeg valjka je horizontalni hod.



Slika 3.16 – Dohvat i hod robota cilindrične konfiguracije [5]

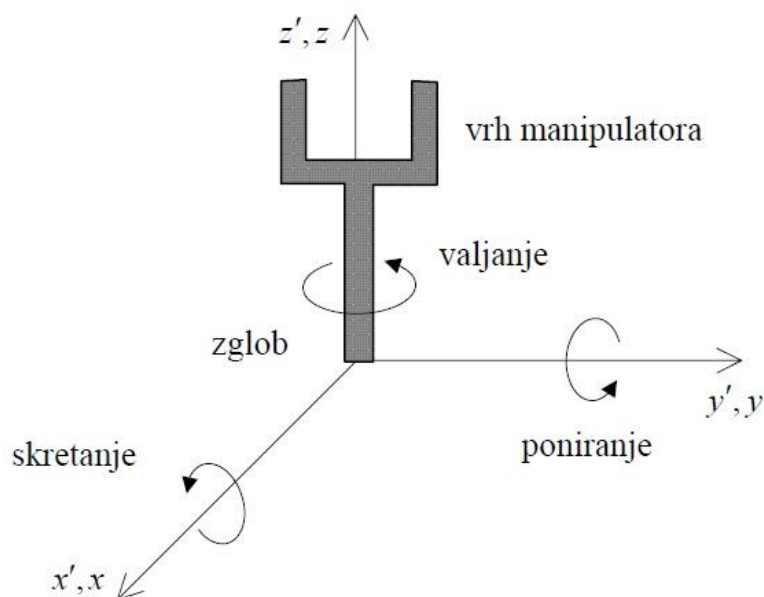
Kod rotacijskih robota moramo paziti na jednu vrlo bitnu stvar, a to je „samoranjavanje“ robota. Kod takvih robota hod je često jednak dohvat pa kažemo da imaju puni radni prostor, te se oni mogu programirati tako da udare sami u sebe ili se sudare s predmetima u svojoj radnoj okolini.

Ova karakteristika nam je bitna iz razloga što preko dohvata i hoda možemo odrediti kolika će nam biti veličina radnog prostora i samim time osigurati da ne dođe do „samoranjavanja“ našeg robota.

Kao što smo već spomenuli, dohvat i hod nam pomaže za određivanje radnog prostora, ali isto tako ćemo odmah saznati hoće li naš manipulator moći izvršiti određenu radnju koja nam je potrebna za obavljanje posla.

3.2.8 Orijehtacija alata (*Tool orientation*)

Za određivanje orijentacije vrha manipulatora, odnosno alata, moramo definirati tri rotacije oko različitih osi a to su: osi skretanja, poniranja te valjanja. Na slici 3.17 možemo vidjeti kako os z odgovara osnovnoj osi alata i usmjerena je od ručnog zgloba, os y je paralelna zamišljenoj liniji koju dobije zatvaranjem i otvaranjem prstiju. Desnu stranu koordinatnog sustava određuje os x . Rotaciju vrha manipulatora oko osi x' predstavlja skretanje, rotacija vrha manipulatora oko osi y' predstavlja poniranje, a rotacija vrha manipulatora oko osi z' predstavlja valjanje. Možemo napomenuti da je pozitivan smjer suprotan od smjera kazaljke na satu



Slika 3.17 – Skretanj, poniranje i valjanje vrha manipulatora [5]

3.2.9 Radna okolina (*Operating environment*)

Roboti se susreću s velikim brojem radnih okolina, a one zavise o zadatku koji robot obavlja. Često su te radne okoline opasne ili zagađene kao što je transport radioaktivnog

otpada, bojenje, zavarivanje. A imamo i radnih okolina koje zahtijevaju visok stupanj čistoće kao npr. u poluvodičkoj industriji.

Svaki robot ne može obavljati poslove u bilo kojoj radnoj okolini, pa na temelju radne okoline konstruiramo robot.

3.3 Sustavi kojima se upravlja robotima

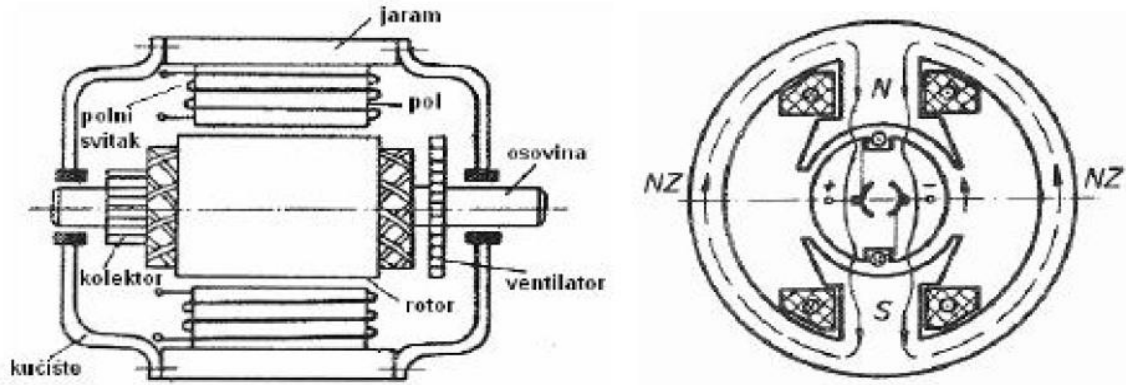
Kada je riječ o sustavima kojima se upravlja robotima, mislimo na fleksibilne proizvodne sustave. Možemo reći kako su fleksibilni proizvodni sustavi podskupina automatiziranih proizvodnih procesa i u njima čovjek ima malo sudjelovanje. Dan danas velikoserijska proizvodnja dominira u industrijskim pogonima iz razloga što su pogoni i strojevi organizirani, odnosno projektirani za izradu određenog proizvoda [7]. Isplativost ovakve proizvodnje oslanja se na dugu aktualnost tog proizvoda. S povećanjem konkurencije, aktualnost jednog proizvoda naglo pada, jer tržište konstantno traži „nadogradnju“ tog proizvoda u skladu sa novim tehnološkim dostignućima. Velikoserijska proizvodnja sve je manje isplativa, te se teži ka maloserijskoj ili pojedinačnoj proizvodnji. Fleksibilni proizvodni sustavi upravo nam to omogućuju. Uz pomoć njihove organizacije i korištenje suvremene tehnologije postiže se ekonomičnost kod malih serija, pa čak i u pojedinačnoj proizvodnji.

3.4 Elektromotori – najčešći pogoni robotskih manipulatora

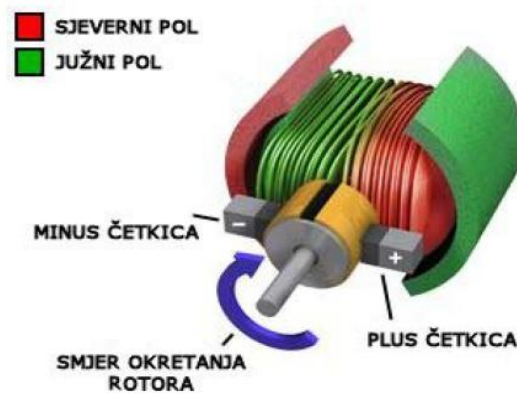
Stroj koji pretvara električnu energiju u mehanički rad nazivamo elektromotorom. Postoje dvije glavne vrste motora, jedni su motori za izmjenične struje, a drugi za istosmjerne. U ovom radu baviti ćemo se električnim rotacijskim strojevima s istosmjernom strujom u strujnom krugu priključaka, odnosno istosmjernim motorima. Razlog tome je što u ovome radu pišem o robotskim manipulatorima, odnosno o edukacijskom modelu robotske ruke, a u tim slučajevima, za potrebe manipuliranja zglobovima koristimo isključivo istosmjerne motore.

Osnovna građa istosmjernih motora:

- Stator (slika 3.18),
- Rotor (slika 3.18),
- Kolektor ili komutator na rotoru (slika 3.19).



Slika 3.18 – Glavni dijelovi kolektorskog elektromotora - stator (lijevo) i rotor (desno) [8]



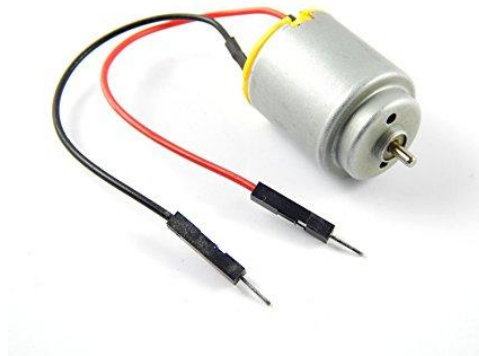
Slika 3.19 – Kolektor ili komutator na rotoru

Princip rada istosmjernih motora temelji se na tome da permanentni magnet, odnosno istosmjerna uzbudna struja statora stvara magnetni tok indukcije B te se on zatvara od N pola preko zračnog raspora rotora sa armaturnim namotom zračnog raspora na S pol magneta, pa preko jarma na N pol magneta [8]. Kada govorimo o mobilnoj robotici, stator sa uzбудnim motorom zamjenjuje permanentni magnet u čijem se magnetskom polju nalazi rotor sa armaturnim namotom, a armaturni rotorski namot spojen je na kolektor ili komutator po kojem kližu četkice. Četkice su najčešće izrađene od grafita pošto je to električno vodljiv materijal, te se preko njih dovodi istosmjerni napon na rotor motora koji kroz armaturni namot protjera struju. Okrenemo li rotor za 180° , smjer struje se zamijeni na kolektoru ili komutatoru iz razloga što se tada namot koji se nalazio na N polu sada nalazi na S polu i obrnuto. Zamijenimo li smjer struje kroz namot što obavlja kolektor ili komutator, rotor bi se i dalje rotirao u istom smjeru. Smjer struje, te smjer sile i momenta dobijemo promjenom polariteta dovedenog napona na četkice i samim time dobijemo drugi smjer vrtnje motora. Struju kroz namot, te vrijednost sile i momenta mijenjamo promjenom iznosa napona. Promjenom napona

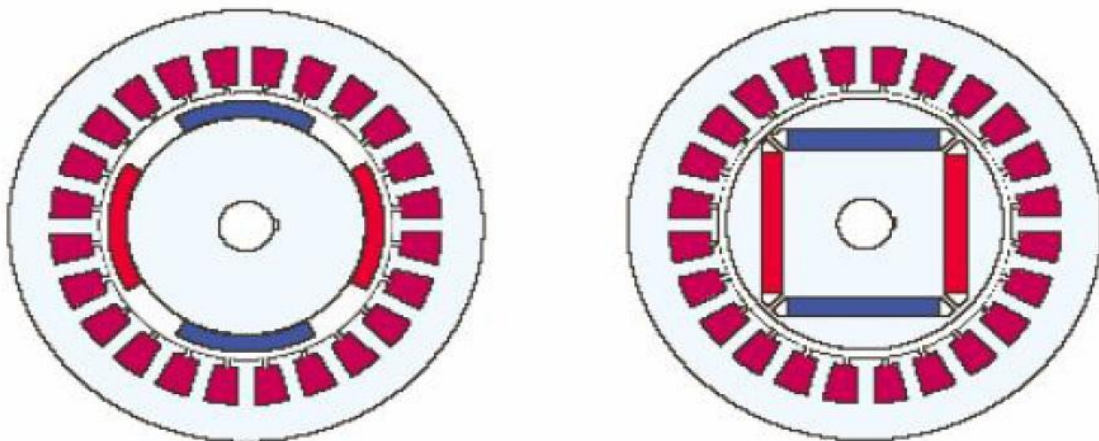
možemo regulirati brzinu vrtnje motora, ali moramo paziti što time mijenjamo struju i moment. Kada isti potencijal dovedemo na obje četkice, armaturni namot se protivi mehaničkoj promjeni te dolazi do kočenja.

3.4.1 Beskolektorski (DC motori)

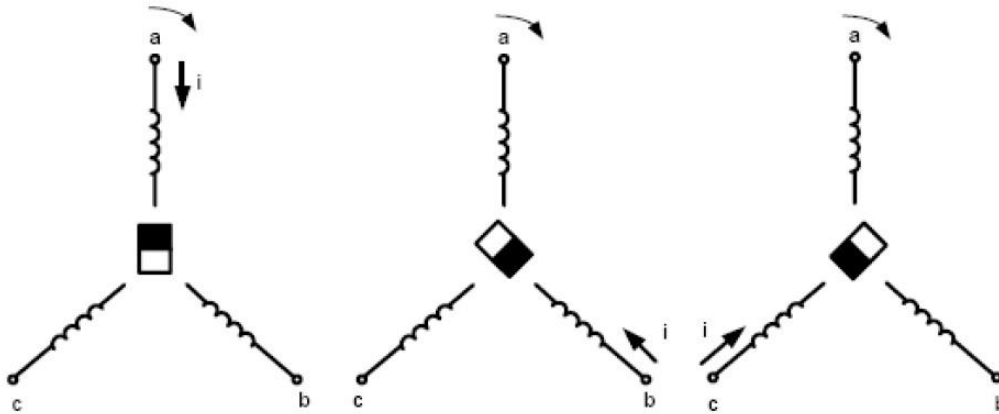
Jedna od mana koja se javljala kod motora bile su četkice, odnosno njihovo trošenje, pa samim time je rad motora bio ovisan o servisima. Zbog tog problema razvijeni su motori bez četkica i kolektora koje nazivamo istosmjernim DC motorima (slika 3.20). Kod njih je rotor izveden kao permanentni magnet, a u statoru se nalazi armaturni namot.



Slika 3.20 – Istosmjerni DC motor



Slika 3.21 – Izvedba DC motora [8]

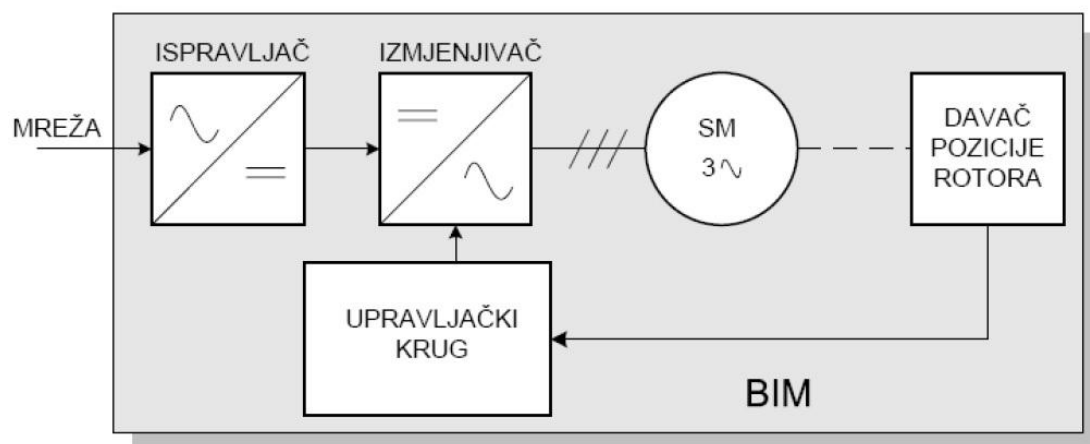


Slika 3.22 – Princip rada DC motora [8]

Slika 3.22, odnosno smjer a-b-c na slici jasno prikazuje kako se prebacivanjem vođenja struje sa namota na namot ostvaruje rotacija. Promjenom smjera dovođenja struje na namot ostvarujemo promjenu smjera vrtnje (c-b-a), dok brzina promjene struje iz namota na namot mijenja brzinu vrtnje.

Karakteristike DC motora:

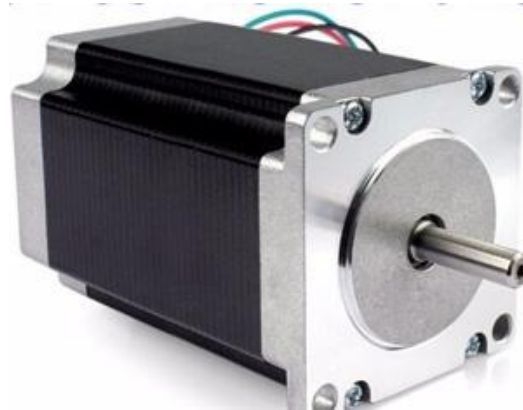
- Izvedba manjeg i duljeg rotora uvjetuje manji moment inercije, odnosno da je bolja dinamička svojstva;
- Velika ubrzanja možemo ostvariti zbog mogućnosti četverostrukog opterećenja;
- Dobra regulacija brzine uz konstantan moment, te dobre karakteristike kočenja;
- Na rotoru nema gubitaka ni zagrijavanja rotora.



Slika 3.23 – Princip upravljanja DC motora [8]

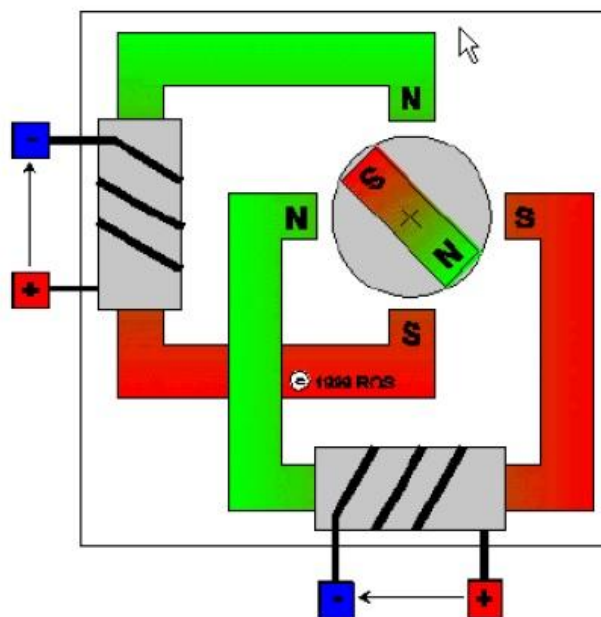
3.4.2 Koračni motori

Ovakva vrsta motora ima permanentni magnet, a u statoru armaturni namot kao i DC motori, ali razlika je u tome što im nije potreban detektor položaja rotora (slika 3.24).



Slika 3.24 – Koračni motor

Koračni motori pretvaraju impulsnu električnu pobudu u koračni mehanički pomak. Taj pomak može biti translacija ili rotacija, zavisi od izvedbe motora (slika 3.25).



Slika 3.25 – Shematski prikaz principa rada koračnog motora

Karakteristike koračnih motora:

- Malih su dimenzija,

- Pristupačna cijena,
- Digitalne impulse pretvara u mehaničko kretanje,
- Koračna brzina od 100 – 10000 koraka u sekundi,
- Ne akumulira pogrešku položaja
- Moguće postizanje spore sinkrone brzine rotacije.

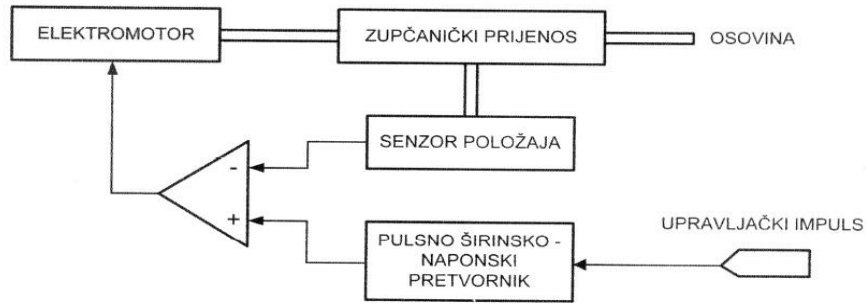
3.4.3 Servo motori

Servo motori (slika 3.26) posebnu primjenu imaju u mobilnoj robotici, te u aviomodelarstvu ili automodelarstvu zbog mogućnosti regulacije kuta zakretanja osovine. Svi sklopovi potrebni za rad motora nalaze se u zatvorenom kućištu koje tvori motor.



Slika 3.26 – Servo motor

Mehaničke veze (zupčanci i osovine) u bloku dijagrama sustavnih dijelova servo motora (slika 3.27) prikazane su dvostrukim linijama, a električne veze jednostrukim linijama. Motorom upravljaju signali iz senzora položaja i pulsno-širinskog naponskog pretvornika koji se dovode na komparator. Ukoliko su signali koje dobiva komparator jednaki, izlaz iz komparatora je nula, elektromotor tada ne djeluje, a ako su signali različiti, izlaz komparatora okreće motor u lijevu ili desnu stranu ovisno o dobivenoj razlici signala. Potenciometar je najčešće senzor položaja, te on ovisno o kutu zakreta daje određeni napon. Na pulsno-širinski naponski pretvornik dovode se upravljački impulsi i on pretvara dovedenu širinu impulsa u napon.



Slika 3.27 – Blok dijagram sustavnih dijelova servo motora [8]

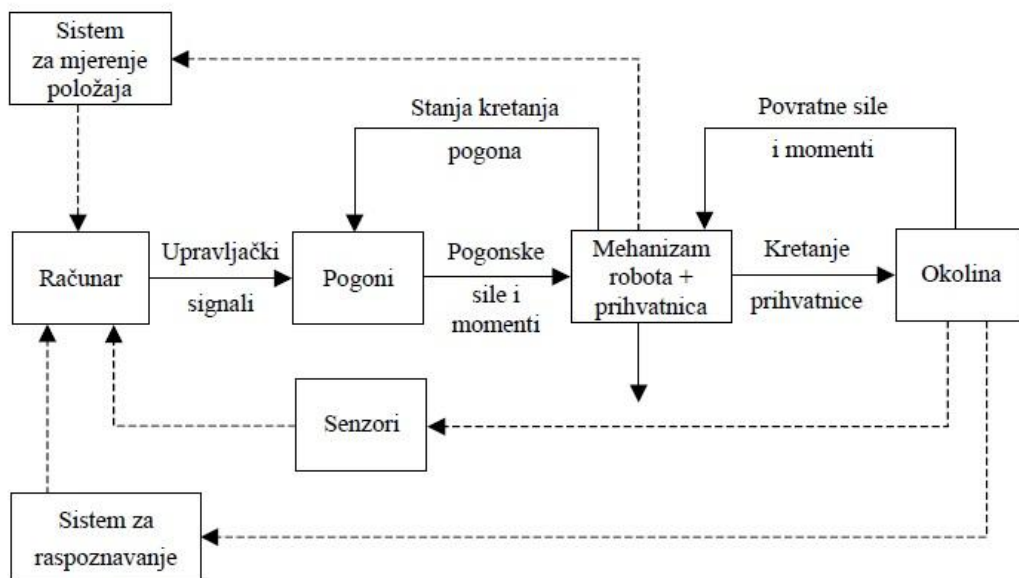
Na kraju ovog poglavlja može se ustanoviti kako je pregled osnova vrlo važan sa stajališta edukacije u robotici, odnosno služi kao polazna točka za izučavanje i rješavanje tehničkih problema u robotici. Ovladavanje navedenim osnovama od krucijalnog je značaja za edukaciju svakog inženjera u području robotike.

U idućem poglavlju su iznijete osnove i primjene sklopovlja kojima se upravlja robotima. Nakon poglavlja u kojem je opisano upravljanje robotima, rad će u nastavku obuhvatiti edukaciju inženjera u području robotike, odnosno probleme i načine u obrazovanju inženjera u području robotike. Završni dio rada posvećen je samom projektu edukacijskog modela robotske ruke.

4. UPRAVLJANJE ROBOTSKIM MANIPULATOROM

Upravljanje robotskog manipulatora može se izvršavati pomoću više uređaja. Neki od tih uređaja mogu biti računala, daljinski uređaji, upravljačke palice. Računalo robotske ruke mora biti žičano ili bežično spojeno za svaki od tih uređaja. Kretanje se može odnositi na zglobove ili vrh manipulatora, ali to ovisi o zadatku koji manipulator izvršava.

Kretanje po željenoj putanji ponekad može biti problem iz razloga što je robotska ruka vrlo složen, odnosno povezan uređaj. Kretanje jednog segmenta (podlaktica) uvijek utječe na kretanje dugih segmenata (nadraktica, vrh manipulatora). Ukoliko okolina utječe na kretanje manipulatora, upravljanje je još složenije, a prilikom takvih uvjeta upotreba senzora je nužna. Blok-shema na slici 4.1 opisuje kretanje manipulatora. Kako bi vrh manipulatora uspješno doveli u željeni položaj, putem upravljačkog uređaja, u ovom slučaju računala, šaljem signale pogonu (motorima) i oni pokreću mehanizam robota. Unutarnje povratne veze šalju informacije o položaju i brzini vrha manipulatora, te pomoću tih informacija možemo ispravljati kretanje. Preko vanjske povratne veze dobiju se informacije iz okoline koje su na shemi prikazane crtkanim linijama.



Slika 4.1 Blok-shema industrijskog robota [5]

Prema načinu upravljanja, industrijske robote dijelimo u četiri skupine, kako slijedi:

- Sekvencom ograničeni roboti,
- Roboti upravljani od točke do točke,
- Roboti upravljani kontinuirano po putanji,
- Inteligentni roboti.

Roboti ograničeni sekvencom, koji spadaju u prvu skupinu imaju najnižu razinu upravljanja iz razloga što ne koriste servo motore za upravljanje zglobova. Kako bi se postigle željene točke putanje za zglobove, upravlja se podešavanjem mehaničkih blokada, odnosno graničnih prekidača. Mehaničkim namještanjem manipulatora obavljamo uspostavljanje položaja blokada. Ovakvo upravljanje omogućuje da se pojedinačni zglobovi mogu pomaknuti do granica putanje.

Robote upravljane od točke do točke i robote upravljane kontinuirano po putanje detaljno smo opisali u trećem poglavlju (3.1.3).

Umjetna inteligencija je svojstvo koje posjeduju inteligentni roboti. Ovisno o promjeni uvjeta u radnom prostoru, inteligentni roboti mogu sami mijenjati programske cikluse. Najvažnija njihova osobina je što prikupljaju podatke dobivene od senzora, te na temelju dobivenih podataka mogu donesti odluku. Područje primjene inteligentnih robota su poslovi montaže i elektrolučnog zavarivanja.

5. PROBLEMI I NAČINI INŽENJERSKOG OBRAZOVANJA

Svjedoci smo kako razvoj znanosti danas ide velikom brzinom što nam i dokazuju razna istraživanja. Jedno od istraživanja govori kako su u daljnjoj prošlosti prolazila stoljeća kako bi se vidio napredak, zatim desetljeća da se znanje udvostruči. U novijoj prošlosti, točnije početkom 21. stoljeća taj napredak je trajao otprilike 5-7 godina, a današnja istraživanja dokazuju kako se sve to dešava u samo jednoj godini. Stručnjaci tvrde da su za to zaslužne znanosti tipa: informatike, genetike, telekomunikacije i znanosti o materijalima [9]. Polidisciplinarna i interdisciplinarna znanja danas su neophodna, a ona se ne mogu savladati tijekom vremenski ograničenog obrazovanja kakvoga danas poznajemo i zbog toga smo primorani na cjeloživotno stjecanje znanja, bilo to neformalnog oblika obrazovanja ili informalnog oblika obrazovanja.

5.1 Problemi inženjerskog obrazovanja

Zbog primjene robota u svim područjima ljudske djelatnosti, stoljeće u kojem danas živimo nazivaju stoljeće robota. Tehničko-tehnološka i informatička pismenost, te osposobljenost za rad općenito s tehnikom, danas su neizostavne kompetencije. Tehnološki razvoj je prisutan u našem društvu, ali uz taj napredak, posljednjih se dvadeset godina nažalost ništa nije promijenilo u obaveznim i općeobrazovnim školama što se tiče načina poučavanja iz radno-tehnološkog i odgojno-obrazovnog područja. I da odmah utvrdimo bitnu stvar, ovdje nije riječ o učiteljskom kadru, štoviše većina obrazovnih ustanova ima kvalitetne učitelje, ali oni su prepušteni sami sebi pošto su im radionice siromašne i izvođenje kvalitetnog praktikuma teško je izvedivo. Ako uzmemo za primjer osnovnu školu, jedan sat tjedno je predviđeno za „Tehničku kulturu“ što nije dovoljno za obuhvatiti cjelokupan program. Dakle, uz siromašnu satnicu i oskudno opremljene radionice, učitelji imaju jako težak zadatak za pripremiti kvalitetnu nastavu. Nastava se samo svodi na teoriju, koja je potrebna u programu, ali zbog utjecaja tehnike i tehnologije na život, student mora steći informatičku i tehničko-tehnološku pismenost.

U posljednjih nekoliko godina provedene su mnoge studije koje su utvrdile ključne probleme. Inženjeri bi trebali imati snažnu komunikaciju i vještine timskog rada, ali nemaju. Idući problem koji je utvrđen je taj što inženjeri nisu dovoljno prilagodljivi u vezi sa ekonomskim, društvenim i ekološkim pitanjima. Zadnji problem koji je navedem, ali jednako važan je taj što inženjeri posjeduju dobra znanja temeljne inženjerske znanosti i računalne

pismenosti, ali ne znaju kako to primijeniti u praksi. Ukoliko ove probleme želimo „sanirati“, potrebno je riješiti sljedećih šest pitanja [10]:

- Inženjersko obrazovanje previše je usredotočeno na inženjersku znanost i tehničke pravce, a da se ne osigura dovoljno integracije ovih tema. Programi su vođeni sadržajem;
- Trenutni programi ne pružaju dovoljno dizajnerskih iskustava studentima;
- Inženjeri i dalje nemaju komunikacijskih vještina i iskustva u timskom radu i programu trebaju uključiti više mogućnosti da ih studenti razviju;
- Programi trebaju razviti više svijesti među studentima o društvenim, ekonomskim, ekološkim i pravnim pitanjima koja su dio stvarnosti moderne inženjerske prakse;
- Postojeći fakulteti nemaju praktično iskustvo, stoga nisu u stanju adekvatno povezati teoriju u praksi ili pružiti iskustva u dizajnu. Današnji sustavi nagrađuju istraživačke aktivnosti, a ne praktično iskustvo ili stručnu poduku;
- Postojeće strategije i kultura u nastavi i učenju u inženjerskim programima su zastarjele i trebaju postati više usmjerene studentima.

5.2 Načini obrazovanja inženjera

Sustav obrazovanja koji mi koristimo daleko se razlikuje od Američkog, ali i Europskog. Možemo reći da je on zastario. Oblik obrazovanja stalno treba prilagođavati razvoju znanosti, te mora biti dobro osmišljen. Potrebno ga je prilagođavati prema trenutnom stanju i razvoju novih tehnika i tehnologija što dovodi do problema gdje je potrebno izmijeniti sadržaj nastavnog predmeta i nastavnike sustavno i stalno obrazovati. Moderan obrazovni sustav koristi problemsku nastavu, što obuhvaća teorijski i praktičan rad na suvremenoj opremi, davanje projekata za pojedinca ili tim u kontinuitetu, te odlazak na rad u tvrtke ili tvornice gdje se radi na konkretnim poslovima sukladnim stupnju obrazovanja. Nakon formalnog obrazovanja, polaznici nisu gotovi sa obrazovanjem, već je potrebno stalno učenje prema potrebama radnog mjesta iz naše struke, ali i izvan nje. Takav oblik obrazovanja naziva se neformalno obrazovanje, te je ono jako bitno u ovakvom sustavu, ali u Hrvatskoj nikako da bude formalno priznato. Dolazimo i do konstantnog obrazovanja nastavnika, koje kod nas nije sustavno osigurano, pa je tako očekivano da nastavnici nisu zainteresirani za tako nešto.

Sada ćemo se vratiti na obrazovanje inženjera. Svjedoci smo kako se danas mlada populacija ljudi sve ranije, s obzirom na njihovu dob, susreće sa „pametnim“ uređajima i sve ranije stječu znanja o osnovama robotike. Zahvaljujući učiteljima Tehničke kulture, robotika ima sve veći značaj u nastavi u osnovnoškolskom obrazovanju. Stupanj kreativnosti i snalažljivosti nastavnika ovisi o tome koliko će nastavni sadržaj biti kvalitetan. Današnja globalna računalna mreža uvelike pomaže današnjim nastavnicima, jer materijali koje tamo možemo pronaći su neprocjenjivi i znatno upotpunjuju nastavne materijale. Uzevši temu edukacijskog modela robotske ruke za završni rad, želio sam pronaći način kako mladima kvalitetno približiti robotiku, odnosno kako da oni sami već od rane dobi budu dio toga. Prilikom smišljanja kako da obradim temu, bazirao sam se na „aktivno učenje“, koje je po meni najkvalitetniji način učenja [11]. Ono se temelji na tome da studenti kao grupe ili pojedinci sami razmišljaju o problemu i sami pokušaju riješiti problem. Dakle, prilikom takvog učenja, studenti uče jedni od drugih i razmjenjuju svoje ideje i iskustva, a ukoliko je potrebno učitelj će „uskočiti“ u pomoć.

6. PROJEKT – EDUKACIJSKI MODEL ROBOTSKE RUKE

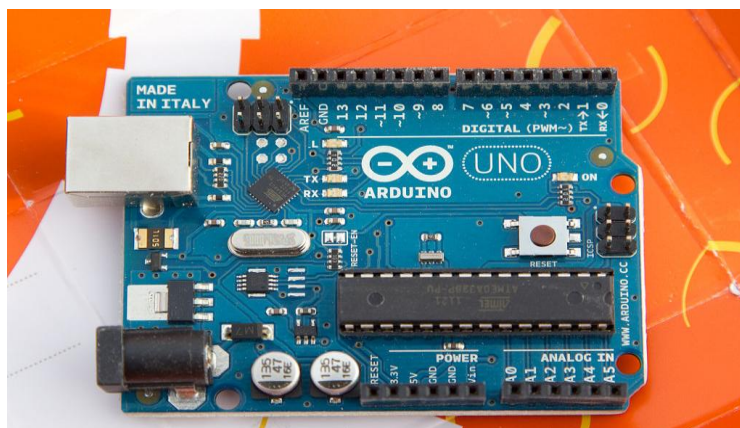
Cilj projektnog zadatka je opisati izradu modela robotske ruke kojega je moguće koristiti u edukaciji inženjere. Edukacijski model mora biti jednostavan jer će se s njime susretati mladi ljudi s upitnim predznanja o robotici, dok istovremeno nastavni sadržaj mora biti kvalitetan kako bi studenti stekli primjerena znanja iz područja robotike. Na kraju, ali jednako važne su financije, odnosno cijena izrade i eventualne dogradnje robotske ruke koja treba biti primjerena uvjetima institucije u kojoj se edukacija provodi.

Kao inspiracija za realizaciju vlastitog projekta korištena su mnoga i javno dostupna postojeća rješenja, od kojih su mnoga dostupna na Internetu. Tema i izrada same ruke je laka i jednostavna za savladati i što je najbitnije ne zahtijeva veliki broj radnih sati. Polaznici pri tom mogu puno toga naučiti jer princip rada jednog takvog modela robotske ruke posjeduju i profesionalne robotske ruke koje služe za obavljanje konkretnog posla. Studenti će se tijekom rješavanja ovog zadatka susresti s raznim drugim zadacima iz područja inženjerstva. Izrada edukacijskog modela robotske ruke može se raspodijeliti u tri dijela:

- Projektiranje i izrada konstrukcije robotske ruke,
- Sklapanje robotske ruke i postavljanje elektromotora,
- Programiranje robotske ruke (elektromotora) i ispitivanje rada robotske ruke.

6.1 Arduino sklopovlje

Kako bi sve funkcioniralo onako kako zamišljamo, potrebna nam je upravljačka jedinica, odnosno mikrokontroler. Za robotske ruke koje se izrađuju kao edukacijski modeli često se koristi Arduino platforma (slika 6.1), upravo zbog svoje upravljačke jednostavnosti, pristupačnosti, te prihvatljive cijene, pa je pravi izbor za ovakve potrebe.



Slika 6.1 – Arduino Uno razvojna pločica

Naprava koja ima otvorenu računalnu i softversku platformu, te koja omogućuje povezivanje računala s fizičkim svijetom ili kako bi dizajneri i konstruktori rekli „internetom stvari“, nazivamo Arduino [12]. Kako su ljudi imali potrebu za malom i jeftinom platformom s kojom bi lagano mogli povezivati računala sa fizičkim svijetom, 2005. godine, talijanski dizajneri iz tvrtke SmartProject, koristeći 8-bitne mikrokontrolere Atmel AVR, stvorili su Arduino. Svojom lakoćom korištenja, svijet ugradbenih sustava približio je svim programerima. Arduino sklopovlje, odnosno izvorni kod koji stoji iza programskih alata i dizajn su javno dostupni. Najraširenije dostupni dijelovi Arduino sklopovlja su Arduino ploče čiju jezgru sklopovlja čini AVR mikrokontroler. Osim mikrokontrolera, na ploči se nalaze i ostale komponente kao što su programska i podatkovna memorija, ulazno-izlazna sučelja, generator takta, te slično. Arduino Uno (slika 5.1), najčešće je korištena ploča zbog dostupnosti i slobodnog korištenja, a i mnoge tvrtke rade kopije kojima je cijena osjetno niža, pa time stječu još veću pozornost.

Softverski dio platforme se naziva Arduino IDE, i nudi programiranje u jeziku koji je srodan C i C++ programskim jezicima.

6.1.1 Razvoj za Arduino platformu

AVR mikrokontroler koji je postavljen na Arduino Uno, a i na neke novije Arduino ploče, tvornički ima ugrađen „firmware“ za učitavanje programa koji uklanja potrebu za vanjskim programom, odnosno on podatke učitane sa serijske veze sprema u programsku memoriju ploče. Svaki Arduino Uno ima USB priključak i prilagodnik koji omogućuje spajanje svih osobnih računala na ploču, te osobno računalo serijski spojeno na ploču postaje „programator“.

Kada imamo spreman kod, pomoću USB kabela spojimo računalo i ploču, u IDE-u podesimo opcije serijskog porta i na alatnoj traci odaberemo opciju „upload“ (učitaj). Prije slanja programa na ploču, IDE provjerava kod te ga prevodi za odgovarajući arhitekturu mikrokontrolera. Ukoliko provjeravanje programa ne prođe, program neće biti poslan na ploču.

Memorija ponekad može biti problem pošto Arduino Uno ima 32 KB programske memorije i 2 KB podatkovne memorije, ali IDE će nas obavijestiti ako je naš program kojeg želimo poslati prevelik.

6.1.2 Arduino programski jezik

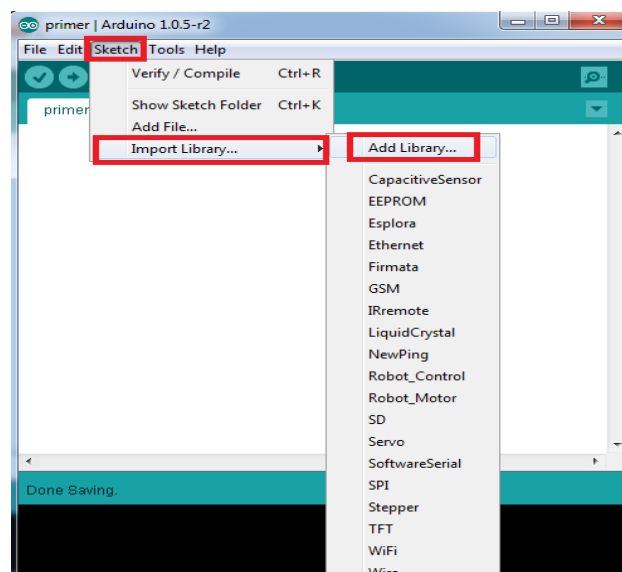
Kao što sam već spomenuo, programski jezik Arduina posjeduje sintaksu i jezična pravila ista kao i C++, ali postoje dvije bitne razlike.

Prva razlika je u strukturi glavnog programa, odnosno u funkciji „main“ koja se redom izvršava dok program počne s radom i izvršava se do kraja te funkcije, a kod Arduino programa postoje dvije obavezne funkcije „setup“ i „loop“. Dokle god je sklopovlje uključeno funkcija „loop“ će se izvršavati u petlji, dok se funkcija „setup“ izvršavam jednom i to prilikom uključivanja sklopovlja.

Standardne Arduino biblioteke čine drugu bitnu razliku i njih je potrebno dodavati u program uobičajenim „includeovima“, te one pružaju pristup serijskom sučelju, konstante vezane za logičke razine i analogne priključke.

6.1.3 Pisanje Arduino programa i biblioteke

Programiranje za mikrokontrolere i pisanje programa za Arduino se ne razlikuju. Programer uvijek mora paziti na podatkovnu memoriju i koristiti minimalne veličine podataka za obavljanje nekog posla. Lakoća korištenja periferije glavna je značajka Arduino platforme i to se svodi na svega nekoliko jednostavnih funkcija. Korištene digitalne priključke inicijaliziramo kao ulazne ili izlazne priključke. Automatski postavljeni u ulazni način rada, analogne signale mogu samo analogni priključci. Funkcijama *digitalRead* i *digitalWrite* obavlja se čitanje i pisanje na periferiju za digitalne signale, a funkcijama *analogRead* i *analogWrite* za analogne signale.



Slika 6.2 – Odabir biblioteke u Arduino IDE sučelju

U C++-u i u C-u pišemo biblioteke za Arduino, te one moraju biti smještene u nekom od direktorija predviđenih za to (slika 6.2). Pomoću „includeova“ biblioteke dodajemo u skicu. Postoji opcija za automatskim instaliranjem i ažuriranjem biblioteka izabranih preko grafičkog izbornika, te se „include“ kod automatski generira.

6.2 Korišteni aktuatori

Servo motori – Servo motori koje koristimo kao aktuatore edukacijskih modela manipulatora su manjih dimenzija i manjeg okretnog momenta. Razlog tome je njihova dostupnost i relativno niska cijena, ali i nemamo potrebu za većim motorima. Specifikacije motora korištenih u projektu su:

TowerPro MG90S [13] :

- Okretni moment (4.8V): 1.8kg/cm,
- Okretni moment (6.0V): 2.2kg/cm,
- Radna brzina (4.8V): 60 stupnjeva u 0.1 sekundi,
- Radna brzina (6.0V): 60 stupnjeva u 0.08 sekundi,
- Masa: 13,4 g,
- Dimenzije: 22.8 x 12.2 x 28.5mm,
- Vrsta zupčanika: metalni.

TowePro SG90 :

- Okretni moment (4.8V): 1.8kg/cm,
- Radna brzina (4.8V): 60 stupnjeva u 0.12 sekundi,
- Masa: 9,0 g,
- Dimenzije: 23.0 x 12.2 x 29.0mm,
- Vrsta zupčanika: plastični.

6.3 Mehanička konstrukcija robotske ruke

Konstrukcija robotske ruke prvo je projektirana na papiru, a nakon toga crtana u programu SolidWorks. Nakon izrade konstrukcije u SolidWorks-u, datoteke je potrebno konvertirati u „.stl“ format tako da budu odmah spremne za ispisivanje putem 3D pisača. Na ovaj način se ujedno uči dizajniranje proizvoda, ali i izrada prototipa uporabom tehnologije 3D ispisa.

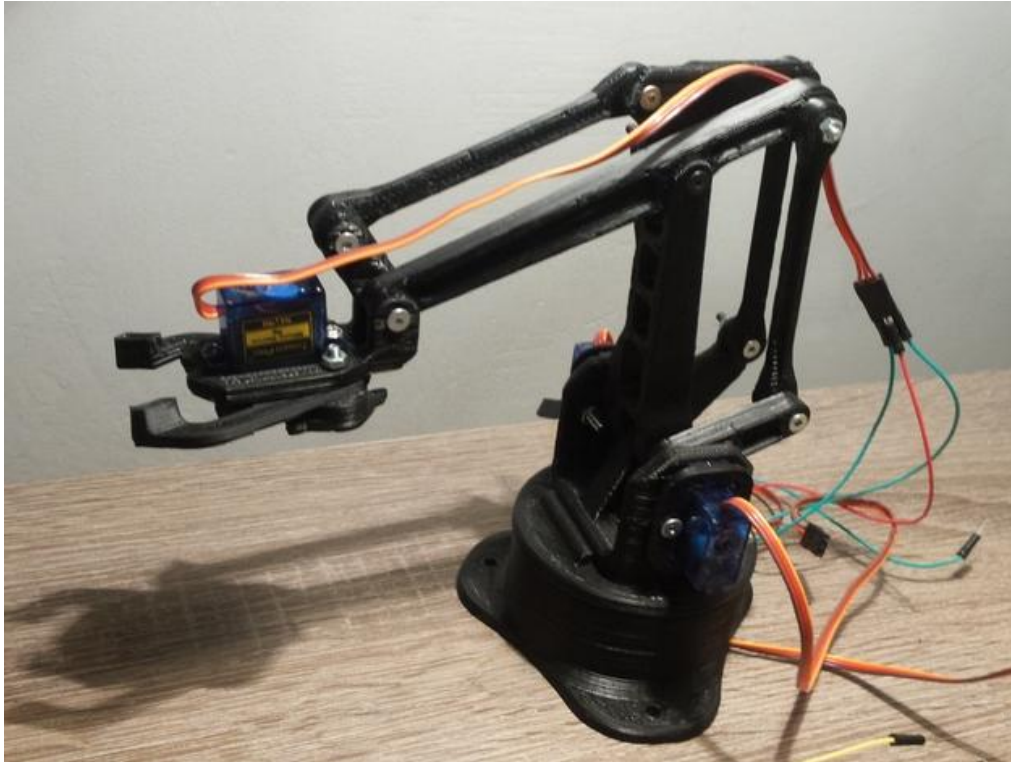


Slika 6.3 – Ispisani dijelovi modela robotske ruke

Postavke na kojima je ispisan razvijeni model robotske ruke su sljedeće:

- Visina sloja: 0.15 mm,
- Vanjski obrub: 2,
- Gornji/donji slojevi: 3,
- Ispuna: 33%,
- Temperatura dizne/kreveta/komore: 240/110/38,
- Materijal: ABS.

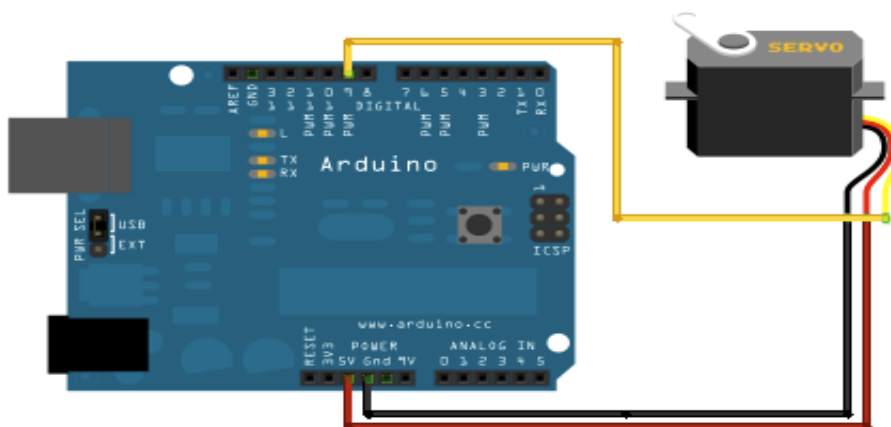
Nakon odabira postavki, dijelovi konstrukcije modela robotske ruke spremni su za 3D ispisivanje. Kada je konstrukcija napokon gotova (slika 6.3), slijedi sklapanje. Za sklapanje su potrebni vijci kojima se spajaju zglobovi između postolja i nadlaktice, nadlaktice i podlaktice, te podlaktice i vrha robotske ruke. Isto tako, pomoću vijaka se učvršćuju servo motori na već predviđena mjesta za motore. Nakon povezivanja svih dijelova, konstrukcija modela robotske ruke (slika 6.4) spremna je za daljnju nadogradnju odnosno za spajanje na mikrokontroler.



Slika 6.4 - Konstrukcija modela robotske ruke

U prilogu se nalazi detaljniji prikaz razvijene robotske ruke s 3D prikazom pozicija konstrukcije robotske ruke prema kojima je model izrađen, odnosno ispisan putem 3D pisača.

6.4 Shema spajanja servo motora i Arduina

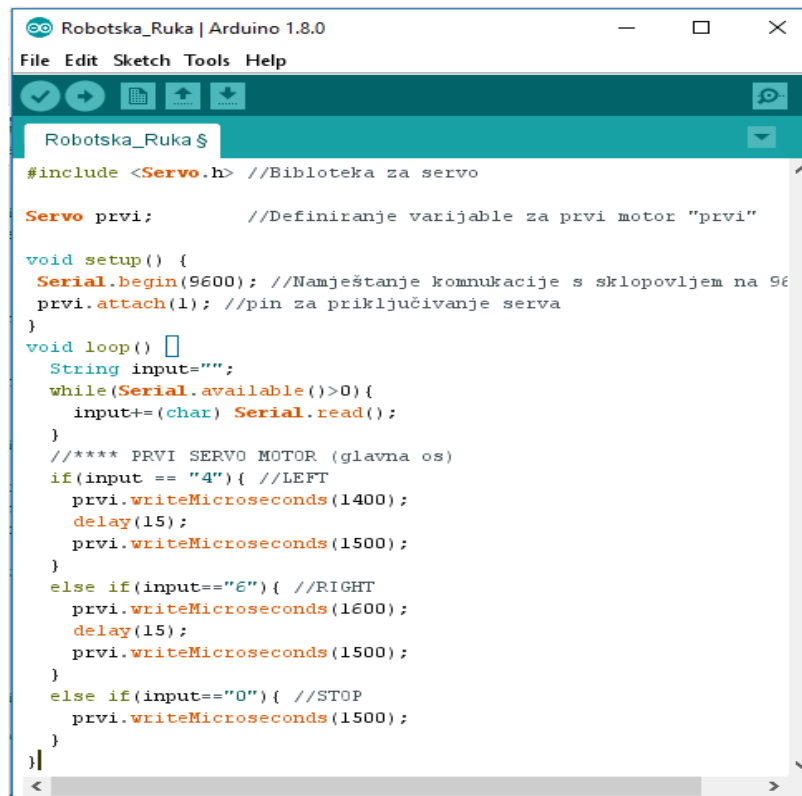


Slika 6.5 - Shema spoja servo motora i Arduina

Servo motori priključuju se uz pomoć tri vodiča, napajanje, uzemljenje (ground) i signal. Crvena je najčešće napajanje i nju spajamo na „5V“ pin na Arduino. Crne ili smeđe

boje trebala bi biti uzemljenje i nju spajamo na pin „Gnd“. Žute, narančaste ili bijele boje je signal kojeg spajamo na pin „9“.

6.5 Programiranje servo motora



```
Robotska_Ruka | Arduino 1.8.0
File Edit Sketch Tools Help
Robotska_Ruka $
#include <Servo.h> //Biblioteka za servo

Servo prvi; //Definiranje varijable za prvi motor "prvi"

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Namještanje komunikacije s sklopovljem na 9600
  prvi.attach(1); //pin za priključivanje serva
}

void loop() {
  String input="";
  while(Serial.available()>0){
    input+=(char) Serial.read();
  }
  //**** PRVI SERVO MOTOR (glavna os)
  if(input == "4"){ //LEFT
    prvi.writeMicroseconds(1400);
    delay(15);
    prvi.writeMicroseconds(1500);
  }
  else if(input=="6"){ //RIGHT
    prvi.writeMicroseconds(1600);
    delay(15);
    prvi.writeMicroseconds(1500);
  }
  else if(input=="0"){ //STOP
    prvi.writeMicroseconds(1500);
  }
}
```

Slika 6.6 - Kod za upravljanje servo motora

void setup – namještammo komunikaciju sa sklopovljem i određujemo pin za priključivanje servo motora;

void loop – u prvom dijelu određujemo vrstu podataka koju unosimo, a u *while* petlji se čeka na uspostavu komunikacije i čitanje unosa. Prilikom čitanja znaka „4“ motor se kreće u jednu stranu, kretanje traje 15ms, te se zaustavlja. Prilikom čitanja znaka „6“ motor se kreće u drugu stranu. Analogno ubacimo kod za tri servo motora koja sadrži projekt.

6.6 Primjena modela u obrazovanju inženjera

Početna primjena edukacijskog modela robotske ruke može se ostvariti analizom komponenata sklopa pri čemu studenti utvrđuju i elaboriraju razvijenu mehaničku konstrukciju, materijale od kojih je izrađena, kinematiku robota, korištene aktuatora i sl. Nakon toga se učenje i poučavanje može nastaviti prilagodbom konstrukcije novim i

različitim zahtjevima i potrebama, pri čemu se obavlja redizajn, odnosno, projektiranje i izrada slične konstrukcije. Polaznici se pri tome upoznaju s programima za računalno dizajniranje i crtanje proizvoda, poput Fusion360 ili SolidWorks okruženja, u kojima se može projektirati konstrukcija robotske ruke. Važan segment takvog učenja i poučavanja je proučavanje sličnih konstrukcija te analiza i izbor aktuatora koji će se, u skladu s tehničkim karakteristikama, primijeniti na redizajniranom modelu. Nakon što je projektiranje završeno, studenti bi se upoznali sa radom 3D pisača pomoću kojega bi ispisali dijelove konstrukcije robotske ruke. Nakon završenog prvoga dijela, kreće se sa sklapanjem konstrukcije i postavljanje elektromotora. Tijekom samog sklapanja, studenti upoznaju potrebna sredstva i razvijaju vještine za njihovo korištenje, upoznaju različite pogone i aktuatore te električno sklopovlje potrebno za pogon i upravljanje robotskom rukom. Zadnji dio izrade robotske ruke obuhvaća programiranje, ispitivanje i prilagodbu rada robotske ruke. U konačnici, o svim iskustvima stečenim takvim poučavanjem studenti moraju podnijeti određeno izvješće i izraditi primjerenu tehničku dokumentaciju, o čemu se potom raspravlja te se provodi evaluacija postignuća studenata.

Možemo ustanoviti kako studenti tijekom obavljanje zadatka opisanog u projektu dobivaju znanja iz osnova robotike, ali i integrirane stvarne spoznaje iz različitih tehničkih područja, što je i krajnji cilj zadatka. Ispitivanje robotske ruke, studenti mogu izvršiti na više načina. Prilikom analize robotskog sklopa mogu se uočiti nedostaci povezani sa slobodom kretanja robota, konstrukcijom, korištenim aktuatorima, upravljačkim sklopovljem ili programom, što će studenti pokušati usavršiti i tako stjecati vlastito iskustvo. Ovako stečeno iskustvo je važan segment cjelovitih kompetencija današnjih inženjera. Ovdje razvijeni model robotske ruke može poslužiti kao osnovica, a na studentima je da postojeći model robota prilagode novim uvjetima, koriste druge i različite aktuatore i pogone, izmijene upravljačko sklopovlje ili da promjenom alata robotske ruke prilagode model za druge namjene.

7. ZAKLJUČAK

Industrijska proizvodnja je danas gotovo nemoguća bez automatizacije. Robotski manipulatori uvelike su unaprijedili automatizaciju u industrijskim pogonima i podigli je na daleko viši nivo. Stari, glomazni i spori strojevi s vremenom „odlaze u prošlost“. Današnji robotski manipulatori olakšavaju poslove, te što je najbitnije, radnik je puno sigurniji u proizvodnim procesima. Kada govorimo o ekonomičnosti, i tu je podignuta ljestvica jer su energetske učinkovitiji.

U radu su opisani svi bitni segmenti robotskih manipulatora te je navedena prednost uvođenja istih u proizvodne pogone. Dotaknute su razne teme, od elektromotora, upravljanja putem Arduina, te edukacije inženjera u području robotike i tehnike općenito. Posebno su istaknuti problemi obrazovanja inženjera, te navedena ključna pitanja koja je potrebno riješiti.

U zadnjem je poglavlju detaljno je elaboriran projektni zadatak robotske manipulatorske ruke. Ova tema ima cilj na jedan jednostavan i ekonomičan način opisati radni zadatak u području edukacije inženjera koji bi studentima bio vrlo zanimljiv, a prije svega i poučan jer studenti na praktičan način mogu vidjeti utjecaj okoline na obavljanje rada robota, upoznati su sa odabirom aktuatora i upravljačkog sklopovlja, a prilikom nadogradnje modela robotske ruke svoja znanja mogu još razviti. Model koji je elaboriran nije bez grešaka, ali može poslužiti kvalitetnoj edukaciji inženjera u području robotike. Ovaj model je napravljen malih

dimenzija kako bi skratili vrijeme ispisivanja 3D dijelova, ali i kako bi naši servo motori bili što manji, odnosno što jeftiniji.

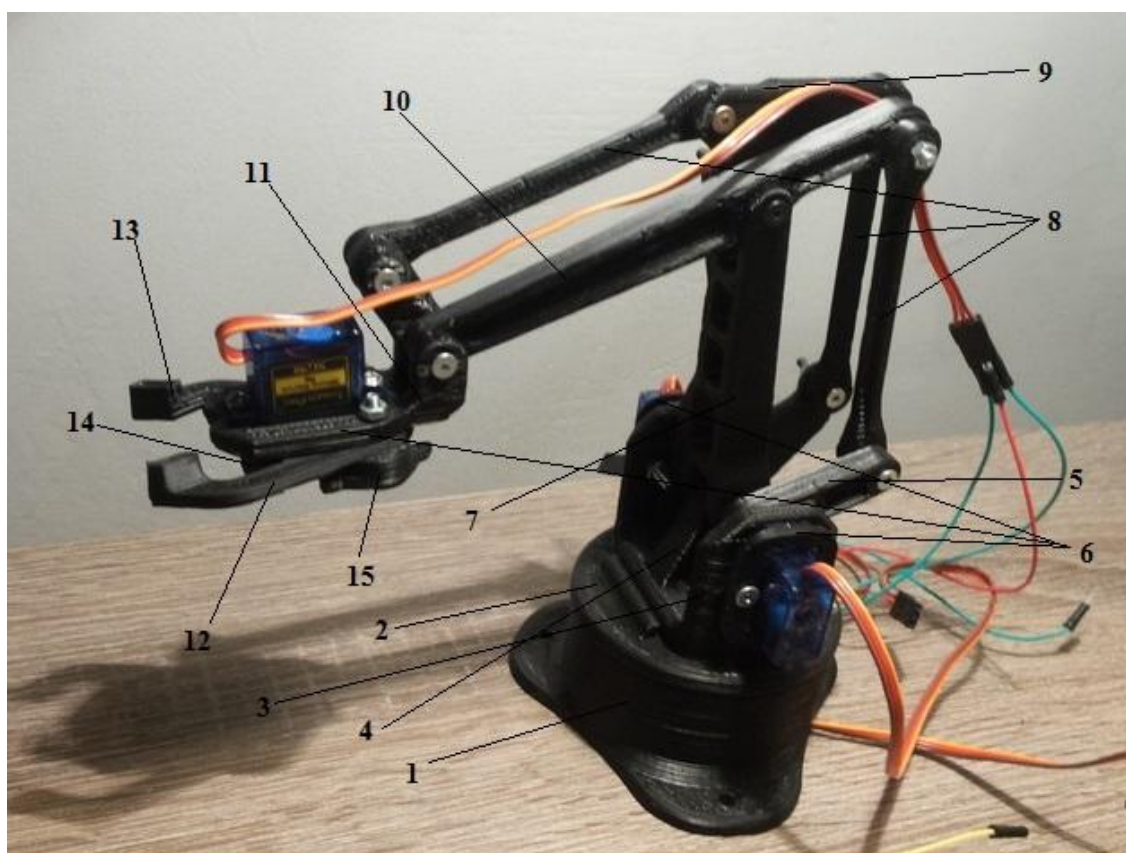
Ukoliko se u budućnosti povećaju financijska sredstva s kojima raspolažu nastavnici, povećat će se i kvaliteta edukacije jer će nastavnici i obrazovne institucije moći priuštiti studentima razne edukacijske setove koji su danas dostupni na tržištu.

LITERATURA

- [1] ICM electronics (2010). *Primena robota u industriji*. /on line/: <http://mehatronika.gomodesign.rs/primena-robota-u-industriji/> (17.7.2018).
- [2] Purković D., Salopek G. (2015). *Osnove mehatronike: Za početno učenje i buduće nastavnike*. Rijeka: Odsjek za politehniku, Filozofski fakultet u Rijeci.
- [3] On-line izdanje Hrvatske enciklopedije Leksikografskog zavoda Miroslava Krlež (2012). *robot | Hrvatska enciklopedija*. /on line/: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=53100> (15.7.2018).
- [4] Smiljković N., (2018). *Istorijski razvoj robotike*. /on line/: <https://raf.edu.rs/citaliste/istorija/3658-istorijski-razvoj-robotike> (15.7.2018).
- [5] Velagić J. (2010/2011). *Uvod u robotiku*. /on line/: people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika_uvod.pdf (17.7.2018).
- [6] Kovačić Z., Bogdan S., Krajči V. (2001). *Osnove robotike*. /on line/: www.graphis.hr/news/robotika/robotika_39.pdf (14.7.2018).
- [7] Sajt za robotiku i automatizaciju (2011). *Fleksibilni proizvodni sistemi*. /on line/: <http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Robotika%2011.htm> (17.7.2018).

- [8] Strukovna škola Đurđevac (2012). *Uvod u mobilnu robotiku*. /on line/: www.ss-strukovna-djurdjevac.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=866&dm (15.7.2018).
- [9] Nikolić G., (2014). *Nove tehnologije donose promjene*. /on line/: <https://hrcak.srce.hr/file/218272> (15.7.2018).
- [10] Jullie E. Mills, David F. Treagust (2014). *ENGINEERING EDUCATION – IS PROBLEM-BASED OR PROJECT-BASED LEARNING THE ANSWER?*. /on line/. https://www.researchgate.net/publication/246069451_Engineering_Education_Is_Problem-Based_or_Project-Based_Learning_the_Answer (16.9.2018).
- [11] Lapov-Padovan Z., (2017). *Razvoj kurikuluma izborne nastave robotike u osnovnoškolskoj nastavi tehničke kulture*. /on line/: <https://repository.ffri.uniri.hr/islandora/object/ffri:831/preview> (1.8.2018).
- [12] Lisica R., (2016). *Upravljanje napravama spojenim preko Arduino platforme kroz arhitekturu interneta stvari*. /on line/: <https://bib.irb.hr/datoteka/886460.Lisica.pdf> (14.7.2018).
- [13] Servo data base, (2015). *TowerPro MG90S Servo*. /on line/: <https://servodatabase.com/servo/towerpro/mg90s> (15.7.2018).

PRILOG – Izgled gotovog modela robotske ruke s 3D prikazom pozicija



Izgled gotovog modela robotske ruke s označenim pozicijama

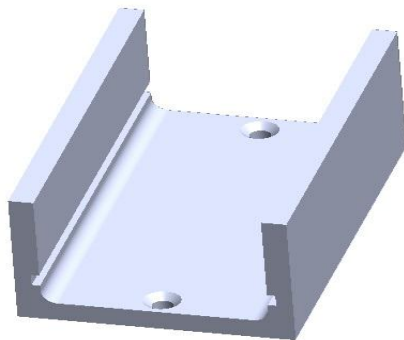
- 1 – Stacionarno postolje robotske ruke,
- 2 – Pokretni dio postolja robotkse ruke,
- 3 – Postolje nosača „nadlaktice“,
- 4 – Nosač „nadlaktice“,
- 5 – Vertikalni pogon,
- 6 – Postolje servo motora,
- 7 – Prednji pogon,
- 8 – Poveznice zglobova,
- 9 – Trokutaste poveznice zglobova,
- 10 – Horizontalni pogon,
- 11 – Nosač hvataljke,
- 12 – Lijeva hvataljka,
- 13 – Desna hvataljka ,
- 14 – Pogonski zupčanik,
- 15 – Gonjeni zupčanik.



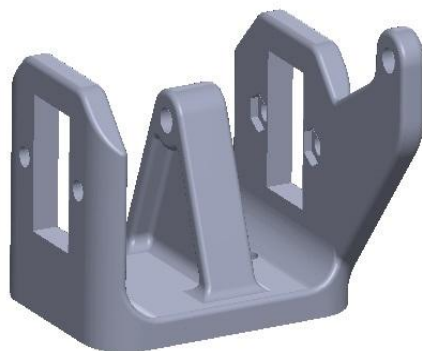
Pozicija 1 – Postolje robotske ruke



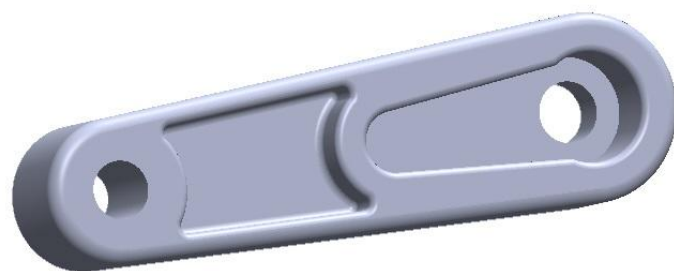
Pozicija 2 – Gornji dio postolja



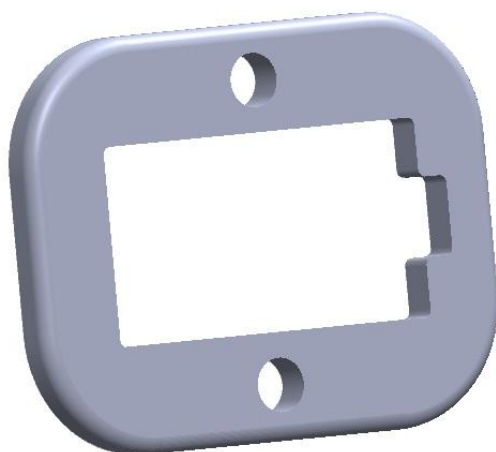
Pozicija 3 – Postolje nosača podlaktice



Pozicija 4 – Nosač nadlaktice robotske ruke



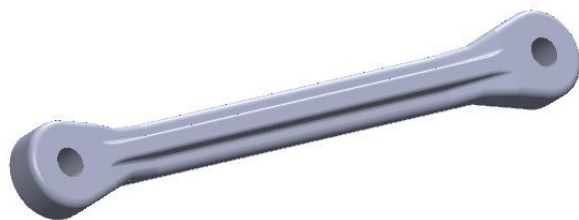
Pozicija 5 – Vertikalni pogon



Pozicija 6 – Postolje servo motora



Pozicija 7 – Prednji pogon



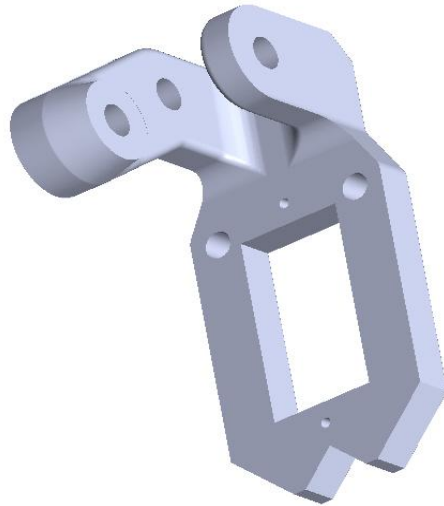
Pozicija 8 – Veze



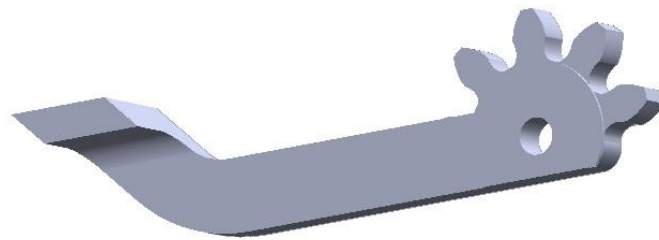
Pozicija 9 – Trokutasta veza



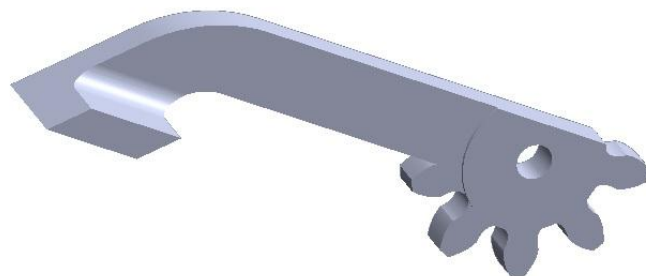
Pozicija 10 – Horizontalni pogon



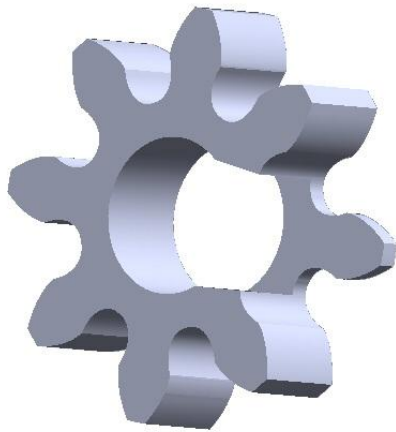
Pozicija 11 – Nosač hvataljke



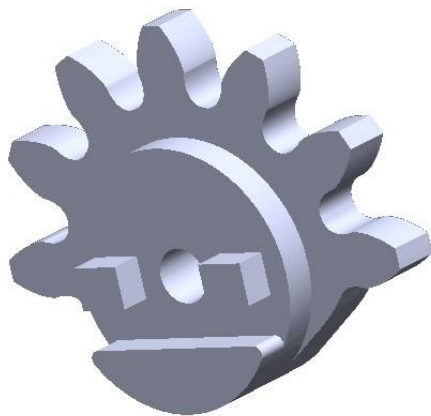
Pozicija 12 – Lijevi dio hvataljke



Pozicija 13 – Desni dio hvataljke



Pozicija 14 – Pogonski zupčanik



Pozicija 15 – Gonjeni zupčanik