

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I
BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA UVOĐENJA ROBOTA U
PROIZVODNI SUSTAV

Ivan Mucić

Split, srpanj 2018.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Diplomski studij: Industrijsko inženjerstvo
Smjer/Usmjerenje: PLM
Oznaka programa: 272
Akademska godina: 2017/2018.

Ime i prezime: **IVAN MUCIĆ**
Broj indeksa: 737-2016

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Naslov: **ANALIZA UVOĐENJA ROBOTA U PROIZVODNI SUSTAV**

Zadatak: Posljednjih desetljeća se sve više uvode roboti u fleksibilne obradne sustave i montažu u cilju postizanja kraćeg ciklusa proizvodnje povećanjem produktivnosti, te oslobađanja radnika ponavljajućih, monotonih i opasnih aktivnosti. U diplomskom radu bi trebalo analizirati obradne ili montažne sustave koji koriste robote. Na konkretnom proizvodnom sustavu navesti razliku između rada s uvođenjem robota i ručnog rada.

Prijava rada: 08.03.2018.

Rok za predaju rada: 21.09.2018.

Rad predan:

Mentor:

Prof.dr.sc. Ivica Veža

Predsjednik Odbora:

Prof.dr.sc. Ivica Veža

IZJAVA

Ovom izjavom potvrđujem da sam diplomski rad s naslovom ANALIZA UVOĐENJA ROBOTA U PROIZVODNI SUSTAVI pod mentorstvom prof. dr. sc. IVICE VEŽE pisao samostalno, primijenivši znanja i vještine stečene tijekom studiranja na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, kao i metodologiju znanstveno-istraživačkog rada, te uz korištenje literature koja je navedena u radu. Spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti drugih autora koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu citirao sam i povezoao s korištenim bibliografskim jedinicama.

Student

Ivan Mucić

SADRŽAJ

1. UVOD
2. RAZVOJ ROBOTA KROZ POVIJEST
3. PROIZVODNI SUSTAVI
 - 3.1. PROIZVODNI PROCES
 - 3.2. PROJEKTIRANJE PROIZVODNOG SUSTAVA
 - 3.3. CILJEVI I NAČELA PROJEKTIRANJA PROIZVODNIH SUSTAVA
4. PROJEKTIRANJE AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SUSTAVA
 - 4.1. UTJECAJNI ČIMBENICI PROJEKTIRANJA AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SUSTAVA
 - 4.2. DFA METODA
 - 4.3. SUSTAVI I UREĐAJI ZA AUTOMATSKU MONTAŽU
 - 4.3.1. UREĐAJI ZA POMICANJE
 - 4.3.2. DODAVAČI
 - 4.3.3. SPREMNICI ZA SREĐENU POHRANU
 - 4.3.4. DOSTAVNE STAZE
 - 4.3.4. "UZMI-STAVI" MANIPULATORI
 - 4.4.5. INDUSTRIJSKI ROBOTI
5. KOLABORATIVNI ROBOTI
6. AUTOMATIZACIJA PROIZVODNOG SUSTAVA NA PRIMJERU IZ PRAKSE
7. ZAKLJUČAK
8. LITERATURA

1. UVOD

U današnjem vremenu, proizvodni sustavi sve se više nastoje automatizirati pa ne čudi sve veća primjena robota unutar njih. Napredak tehnologije u brojnim područjima, a poglavito u području automatizacije rezultirao je uvođenjem robota u različitim sferama ljudskog života. Međutim, od svih grana u kojima su roboti primjenjivi posebno se ističe industrija. U ovom radu, naglasak će biti na primjeni robota upravo u industriji, a osobito unutar proizvodnih sustava.

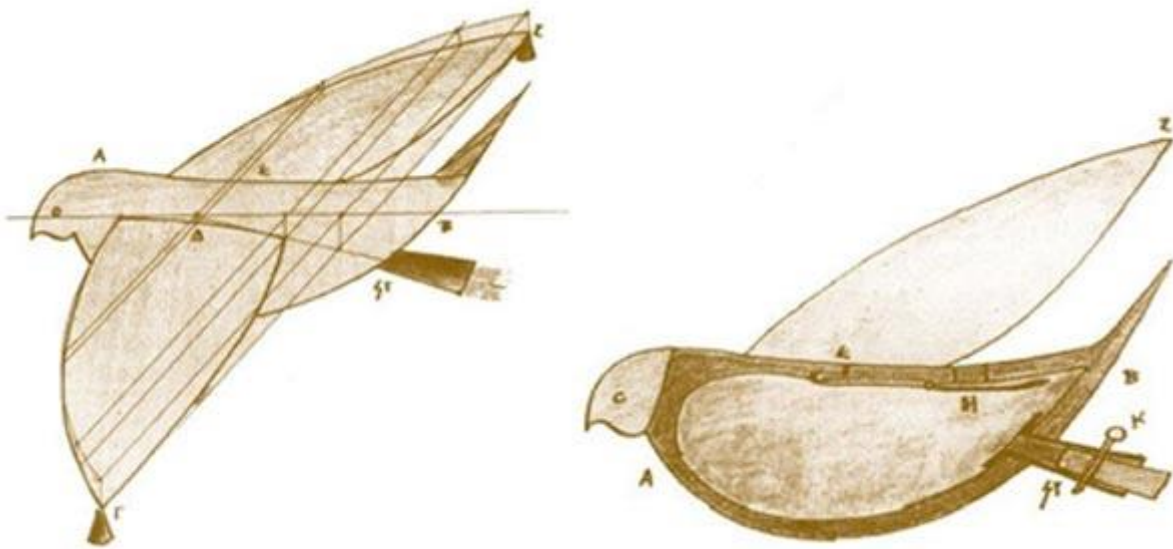
Osnovni razlozi zbog kojih se primjenjuju roboti u proizvodnim sustavima su tehničke i ekonomske prirode. Ovdje se ponajprije misli na povećanje efikasnosti koje se ogleda u: povećanju kvalitete gotovih proizvoda, smanjenju škarta, povećanju sličnosti proizvoda, smanjenje potrebnog broja radnika, smanjenje troškova proizvodnje itd. Za razliku od čovjeka, roboti mogu raditi u kontinuitetu koliko god je to potrebno, što ih čini značajno efikasnijim rješenjem od ljudi. Unatoč svim navedenim prednostima, treba biti oprezan jer uvođenje robota u svakakve proizvodne sustave nije uvijek ekonomski opravdano. To prije svega ovisi o količini proizvodnje i vrsti operaciji koje sam robot obavlja. Stoga, može se reći da je racionalno koristiti robota u serijskoj i masovnoj proizvodnji, kao i kod operacija koje je čovjeku vrlo teško izvršiti.

Postoje različite definicije robota i svaka od njih interpretira robota na svoj način. Prema normi ISO 8373 koja se odnosi na robote i robotske uređaje, industrijski roboti predstavljaju automatski kontrolirane, reprogramibilne, višefunkcionalne manipulatore, programibilne u 3 ili više osi, koji mogu biti fiksirani na određenom mjestu ili pokretni te služe za primjenu u automatskim operacijama. Valja napomenuti da industrijski roboti sadrže: manipulator(uključujući pogone) i kontrolor(uključujući "učeći" privjesak i bilo koje automatsko sučelje).

U samom radu će biti opisan razvoj robota kroz povijest. Također, bit će prikazan način primjene robota u fleksibilnim obradnim i montažnim sustavima te različite vrste automatskih sustava. Analizirat će se način na koji roboti povećavaju produktivnost samih sustava. Na konkretnom primjeru iz prakse će se provesti usporedba rada u proizvodnom sustavu s robotom i s ručnim načinom rada.

2. RAZVOJ ROBOTA KROZ POVIJEST

Ideja o razvoju robota je iznimno stara, a proizašla je iz čovjekove težnje da pronađe zamjenu za sebe koja bi mogla izvršavati zadatke na efikasniji način od ljudi. Naziv robot prvi je upotrijebio K. Čapek 1920. godine u svojoj drami "R.U.R." za opis čovjekolikog stroja konstruiranog kako bi zamijenio ljudski rad u tvornicama. Ipak, začetke razvoja robota treba tražiti u antičkoj Grčkoj. Koncepti slični robotu mogu se naći u 4. stoljeću prije Krista kad je grčki matematičar Arhita konstruirao mehaničku pticu koja je bila pogonjena parom. Valja napomenuti da je Aristotel u svom djelu "Politika" naglašavao da bi upravo upotreba robota trebala omogućiti ukidanje ropstva.[1]



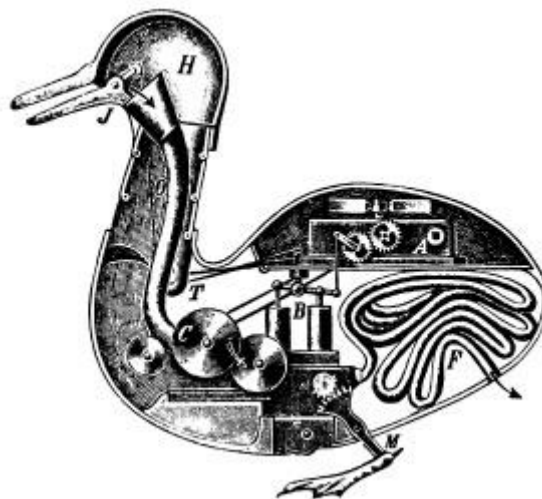
Slika 2.1. Arhitov "golub" [1]

Unatoč brojnim idejama za konstrukciju automata i robota, prvi pravi oblici modernog robota se javljaju oko 1500. godine kada je Leonardo da Vinci izradio mehaničkog lava koji se pokrenuo, rastvorio prsni koš i pokazao francuski grb. Jedan od prvih snimljenih nacрта humanoidnih robota također potječe od Leonarda da Vincija, gdje se iz njegove bilježnice mogu naći crteži mehaničkog viteza koji je mogao sjesti te pomaknuti svoje ruke i čeljust. Cijeli sustav ovog viteza se temeljio na remenicama i kabelima. Smatra se da je robot nastao kao inspiracija da Vincijevog istraživanja o vitruvskom čovjeku. [2]



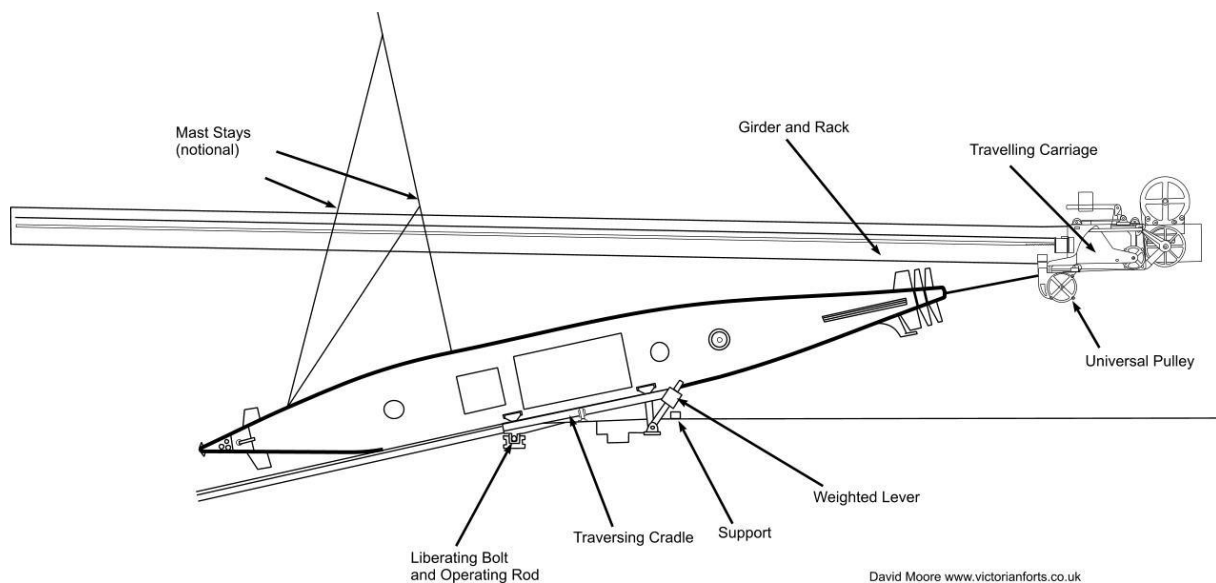
Slika 2.2. Leonardov robot-vitez [2]

Oko 1700. godine izrađeno je mnogo automata koji su mogli hodati, crtati, letjeti ili reproducirati glazbu među kojima se posebno ističe djelo Jacquesa de Vaucanson "The Digesting Duck". Vaucansonova patka je mogla oponašati pravi let krila patke (svako krilo je sadržavalo 400 dijelova), jesti zrna te ga probaviti. Japanski obrtnik Hisashige Tanaka, poznat pod nazivom "Japanski Edison", stvorio je niz iznimno složenih mehaničkih igračaka, od kojih bi neke mogle poslužiti čaj.



Slika 2.3. Unutrašnjost Vaucansonove patke [3]

Vozila na daljinu prikazana su krajem 19. stoljeća u obliku nekoliko vrsta daljinski upravljanih torpeda. Louis Brennan je 1877. izumio svoja torpeda koja pokreću dva kontra-rotirajuća propelera koji se rotiraju brzim izvlačenjem žica iz bubnjeva ugrađenih u sami torpedo. Različite brzine žica su bile povezane s obalnom stanicom što je omogućavalo da torpedo bude usmjeren prema svome cilju, što ga je činilo prvim praktičnim svjetskim pilot projektilom. 1898. godine Nikola Tesla napravio je bežični torpedo koji je trebao prodati američkoj mornarici. Archibad Low je bio poznat kao "otac radijskih vodilica" koje je primijenio na rakete i zrakoplove tijekom Prvog svjetskog rata. Godine 1917. demonstrirao je zrakoplov s daljinskim upravljanjem, a iste je godine izgradio i prvu ručnu raketu.

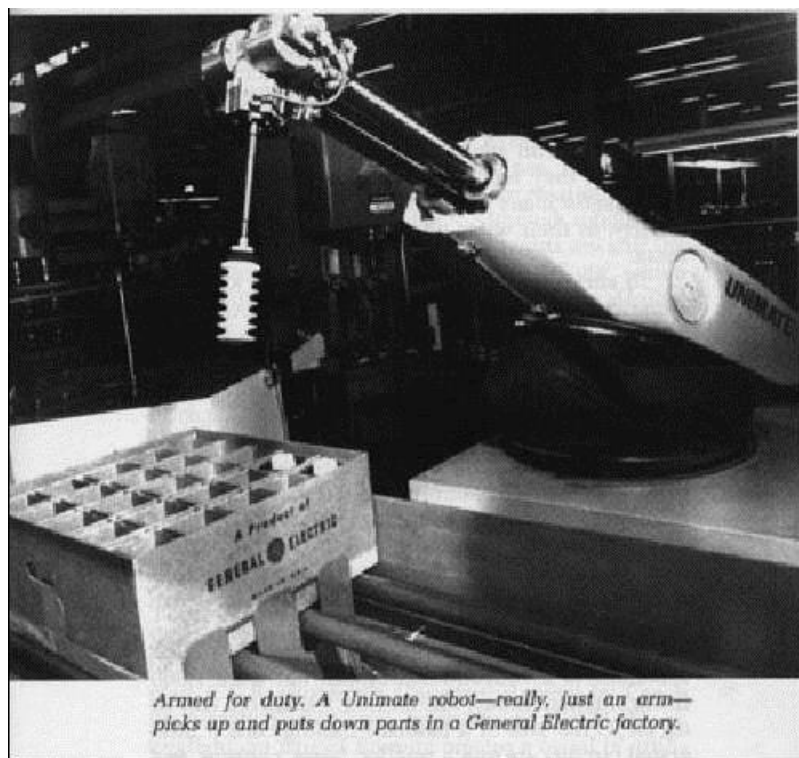


Slika 2.4. Princip rada Brennanovog torpeda [4]

Prvi humanoidni robot bio je vojnik s trubom, koju je 1810. godine Friedrich Kaufmann izradio u Dresdenu, Njemačka. 1928. godine, jedan od prvih humanoidnih robota bio je izložen na godišnjoj izložbi Modela inženjera društva u Londonu. Robot se zvao Eric, a sastojao se od aluminijskog oklopa s 11 elektromagneta i jednog motora pogonjena 12-voltnim izvorom napajanja. Robot je mogao micati glavu i ruke, te je bio kontroliran daljinskim upravljačem ili glasom.

Industrijski robot je uređaj koji može manipulirati dijelovima, alatima, pomagalicama te prilagodljivim promjenama programa obavljati različite zadatke. Industrijski roboti su poznatiji pod nazivom "robotska ruka". Industrijska revolucija potaknuta razvojem parnog stroja rezultirala je poboljšanjem rada strojeva, a zatim i do pojave automatskog upravljanja strojeva. Prvi industrijski robot koji je našao svakodnevnu primjenu je korišten u Fordovoj tvornici radi povećanja produktivnosti proizvodnje automobilskih dijelova i samih

automobila. Bili su to numerički upravljani strojevi za obradu metala, u početku programirani pomoću bušenih kartica, a kasnije elektroničkim računalom. Osim toga, Henry Ford je koristio montažnu vrpcu koja omogućuje bržu izradu automobila. Međutim, to nije bilo dovoljno za maksimalno povećanje produktivnosti jer je dolazilo do vremenskih zastoja iz razloga što se prijenos dijelova između strojeva vršio ručno. Upravo se prvim pravim industrijskim robotom smatra programirani prijenosnik dijelova, kojeg je izumio Amerikanac George Devol 1954. godine. On je zajedno s Joseph F. Engelbergerom osnovao tvrtku Unimation koja je prva proizvela robota. Njihovi roboti su se još nazivali programibilni prijenosni strojevi jer je njihova glavna uloga u početku bila prenošenje objekata s jedne točke na drugu. Koristili su hidraulične aktuatorne i tzv. zglobni koordinatni sustav. [5]



Slika 2.5. Unimatov prvi robot [6]

Nakon Fordove uspješne implementacije robota koja je rezultirala povećanjem produktivnosti cijelog proizvodnog sustava, istraživanje i primjena robota je krenula u brojnim poduzećima diljem svijeta. Tu valja posebno istaknuti SAD i Japan koji su najbrže prihvatili implementaciju robota u proizvodni sustav. Unimation je kasnije prodao svoju licencu tvrtki Kawasaki Heavy Industries koja je postavila temelje robotike u Japanu. Godine 1969. Victor Scheinman na Sveučilištu Stanford je izumio tzv. Stanford ruku koja je bilo potpuno električni robot i djelovala je u smjeru 6 osi. To mu je omogućilo točno praćenje proizvoljnih putanja u prostoru i proširilo potencijalnu upotrebu robota na sofisticirane primjene poput

montaže i zavarivanja. Industrijski roboti su vrlo brzo preplavili i Europu gdje se posebno ističu tvrtke ABB Robotics i KUKA Robotics koje su lansirale svoje robote na tržište 1973. Osamdesetih godina došlo je do ekspanzije robota u industriji, ali i svim ostalim granama. Japanci su tako najviše napredovali, pa su 1983. posjedovali 16 000 robota u različitim sektorima proizvodnje. Slijedi, SAD koji je imao čak dvostruko manje robota, dakle oko 8 000. Japan je i danas vodeći po broju korištenih robota u proizvodnji i smatra se da se tamo nalazi čak polovina ukupnog broj robota na svijetu.

Razvoj robota i robotike može se podijeliti u nekoliko faza[7]:

1. Roboti prve generacije:

- automatski ponavljaju zadane pokrete
- najbrojniji u tvornicama i pogonima
- upravljački sustav prilagođen ručnim operacijama
- upotreba: prešanje, zavarivanje itd.

2. Roboti druge generacije:

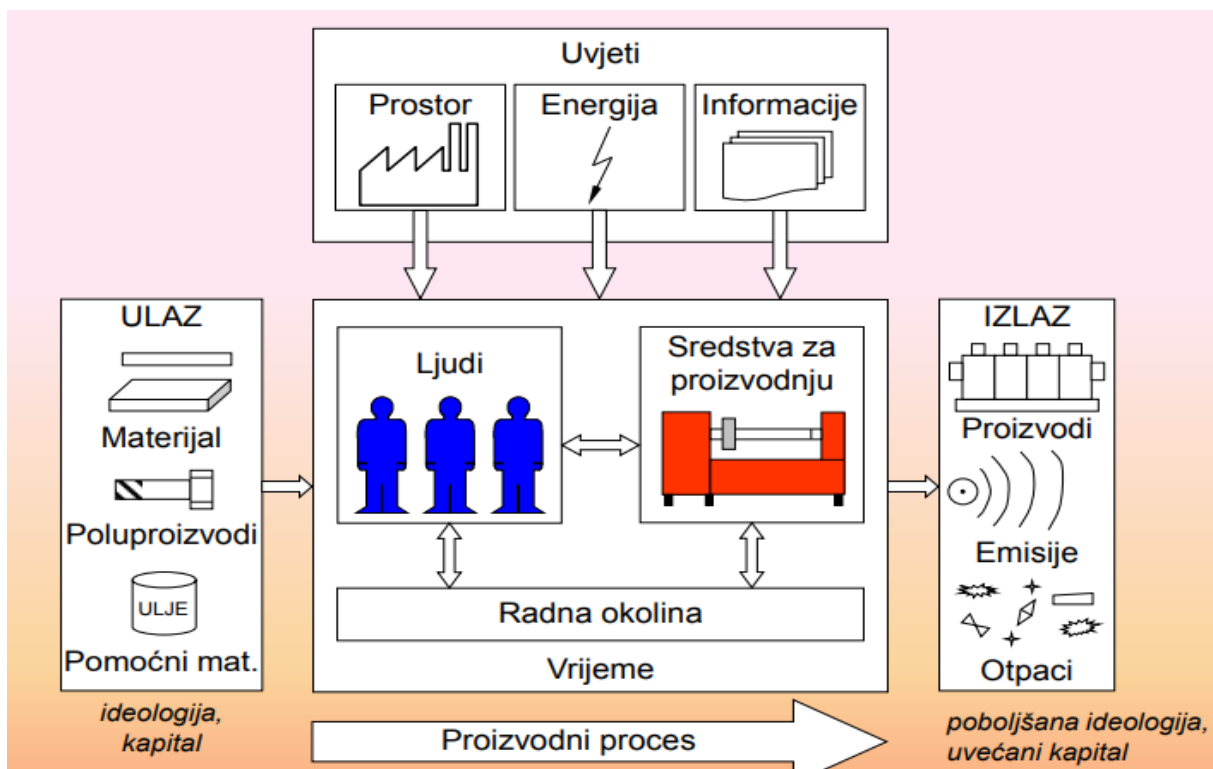
- mogućnost snalaženja u nepredvidljivim prostorima- posjeduju senzore
- od senzora dobivaju potrebne informacije
- orijentiranje i postupci u radnom prostoru su programirani
- upotreba: pokretna traka, montaža, bojenje itd.

3. Roboti treće generacije:

- korištenje brojnih senzora i umjetne inteligencije
- opremljeni računalima i specijaliziranim programima
- mogućnost prepoznavanja okoline, analize svojih učinaka i učenja na greškama
- samostalno i inteligentno mijenjaju svoj način rada kako bi se prilagodili uvjetima rada i okolini te na taj način poboljšati učinak

3. PROIZVODNI SUSTAVI

Proizvodni sustav je složena socijalna i materijalna tvorevina kojoj je glavna svrha stvaranje vrijednosti, odnosno materijalnih i ostalih dobara. Svaki ovakav sustav predstavlja centralni dio organizacije koji je zadužen za proizvodnju dobara ili davanje usluga. Osnovna aktivnost unutar svih proizvodnih sustava je proizvodnja. Proizvodnja se može definirati kao slijed aktivnosti čija je namjena stvaranje korisnih učinaka za kupce, kao što su fizički opipljivi proizvodi, usluge ili informacije. Tijekom svakog procesa proizvodnje dolazi do mijenjanja ulaznih veličina u izlazne korištenjem materijala, alata, strojeva, metoda i radne okoline. Tako npr. u prehrambenoj industriji ulaze predstavljaju sirovo povrće, voda, energija, rad, prostor, strojevi. Procesi obrade su čišćenje, sjeckanje, kuhanje, izrada limenki, pakiranje te označavanje. I na kraju, kao izlaz se dobije konzervirano povrće. Za ostvarivanje procesa proizvodnje potrebno je osigurati: elemente sustava, određene uvjete te komunikaciju. Osnovni elementi proizvodnog sustava su ljudi koji posjeduju određeno iskustvo i sredstva za proizvodnju koja zajedničkim djelovanjem u radnoj okolini uz prikladne uvjete (energija, prostor, informacije) transformiraju ulazne u izlazne veličine.[8]



Slika 3.1. Shema proizvodnog sustava [8]

3.1. PROIZVODNI PROCES

Proizvodni proces je proces rada proizvodnog sustava i obuhvaća sva zbivanja u procesu izrade nekog proizvoda kojima se izravno i svrsishodno djeluje na predmete rada i tako povisuje njihova vrijednost, ali i zbivanja koja ne pridonose povećanju vrijednosti ali su nužna za odvijanje procesa. Proizvodni proces je rješenje tehnološkog procesa u prostoru i vremenu.[8]

Osnovna podjela proizvodnih procesa je na kontinuirane i diskretne. Kontinuirani proizvodni procesi su oni u kojima se predmet rada javlja u obliku koji se može kontinuirano mjeriti (kao npr. u procesnoj prehrambenoj industriji). S druge strane, diskretni proizvodni procesi su oni kod kojih se predmet rada javlja u diskretnim, cjelobrojnim, količinama (komadna proizvodnja, npr. metaloprerađivačka industrija). Svaki proizvodni proces karakterizira podjela rada što znači da se određeni dijelovi procesa odvijaju na prostorno različitim mjestima u sustavu. Rezultat prostorne diferencijacije su proizvodni tokovi koji osiguravaju interakciju svih potrebnih elemenata sustava. Postoje četiri osnovne vrste proizvodnih tokova, a to su: tok materijala, tok energije, tok ljudi i tok informacija.

3.2. PROJEKTIRANJE PROIZVODNIH SUSTAVA

Osnovna obilježja svakog proizvodnog sustava su[8]:

- konkretnost: sustav je potpuno definiran vezom između elemenata sustava
- umjetan: stvoren je ljudskim radom u svrhu zadovoljavanja potreba
- dinamičnost: sustav se mijenja kroz vrijeme
- složenost: svaki sustav sadrži zasebne podsustave koje čine osnovni elementi
- otvorenost: konstantan vanjski utjecaj zbog brojnih veza s okolinom
- stohastičnost: ponašanje proizvodnog sustava se može predvidjeti s određenom vjerojatnošću
- sociotehničnost: temeljni elementi sustava su ljudi i tehnička sredstva

Projektiranje proizvodnih sustava je multidisciplinarna djelatnost kojoj je osnovni cilj kreiranje funkcionalnog, ekonomičnog, fleksibilnog, humanog i ekološkog proizvodnog sustava racionalnim korištenjem ljudskih i materijalnih potencijala. Ova djelatnost je iznimno odgovorna, zbog angažmana velikih financijskih sredstava za realizaciju, ali i zbog utjecaja na trajnost samih sustava. Naime, vijek trajanja proizvodnih sustava je znatno duži od vijeka trajanja samog proizvoda. Realizacija samog proizvodnog sustava predstavlja dovođenje u sklad mnogih, kompleksnih činitelja. Proizvodni je sustav sastavljen od brojnih podsustava koji su u stalnoj međusobnoj interakciji te stoga mora biti cjelovit.

Osnovna karakteristika svakog projektiranja je deduktivan pristup koji ide od općeg prema pojedinačnom, od generalnih rješenja prema pojedinačnim detaljima te od idealnih rješenja prema primjenjivim rješenjima. Tijekom projektiranja proizvodnih sustava trebaju biti obuhvaćeni: proizvod, količine proizvoda, rokovi za izradu proizvoda, raspoloživost investicijskih sredstava za realizaciju proizvodnih sustava te ostali zahtjevi nužni za izvedivost projekta.

Postoji pet osnovnih vrsta projektiranja proizvodnih sustava[8]:

1. projektiranje potpuno novog proizvodnog sustava;
2. rekonstrukcija proizvodnog sustava uz njegovo širenje;
3. rekonstrukcija proizvodnog sustava bez njegovog širenja;
4. uvođenje manjih racionalizacija u postojećem proizvodnom sustavu;
5. dekonstrukcija proizvodnog sustava.

Također, postoje tri osnovna čimbenika koji određuju vrstu samog zadatka u projektu, a to su[8]:

- potreba za novim proizvodom
- promjena proizvedenih količina postojećih proizvoda
- uvođenje novih postupaka izrade i montaže

U slučaju da postoje tri navedena čimbenika, biti će potrebno projektirati potpuno nov proizvodni sustav. Svaki proizvodni sustav je dinamičan i podložan promjenama, pa s vremenom dolazi do odstupanja stvarnog stanja sustava od projektiranog stanja. Tada je nužna rekonstrukcija samog sustava. Do potrebe za rekonstrukcijom najčešće dolazi kada dođe do povećanja proizvodnih količina. Uvođenje manjih racionalizacija u proizvodni sustav se odvija svakodnevno prilikom izvršavanja samog projekta. Cilj je postići prilagodbu sustava manjoj promjeni proizvedenih količina i promjenama u operacijama obrade i montaže. Dekonstrukcija proizvodnog sustava predstavlja njegovo uklanjanje jer je sustav izgubio svrhu postojanja.

3.3. CILJEVI I NAČELA PROJEKTIRANJA PROIZVODNIH SUSTAVA

Prvi pokušaji projektiranja proizvodnih sustava mogu se naći već u razdoblju prve industrijske revolucije. Ipak, potpuno afirmaciju kao znanosti, projektiranje proizvodnih sustava postiže za vrijeme i nakon Drugog svjetskog rata. Naime, u to doba dolazi do stvaranja velikih industrijskih postrojenja kod kojih se naglasak stavlja na važnost prostornog određenja proizvodnih sustava. Općenito gledano, prostorno određenje sustava u potpunosti definira prostor potreban za: odvijanje proizvodne djelatnosti, smještaj opreme i ljudi, rukovanje i transport materijala, spremišta i skladišta te sve ostale potrebne djelatnosti. Pri tome, glavni cilj je postići takvo prostorno određenje sustava koje će osigurati profitabilnu proizvodnju uz konkurentnu cijenu proizvoda.

Postoji šest klasičnih načela projektiranja proizvodnih sustava, a to su[8]:

1. Načelo integracije svih utjecajnih činitelja- ljudi, sredstva rada i svi ostali činitelji trebaju biti posloženi na način koji će ih najbolje iskoristiti
2. Načelo kretanja materijala- najkraći putevi materijala
3. Načelo toka- prostorno određenje proizvodnog sustava treba biti u skladu s redosljedom tehnološkim procesima
4. Načelo kugle- efikasna iskorištenost proizvodnog prostora(i vodoravno i okomito)
5. Načelo zadovoljstva i sigurnosti uposlenih
6. Načelo fleksibilnosti- osigurava se prilagodba sustava promijenjenim uvjetima uz minimalne troškove i poteškoće

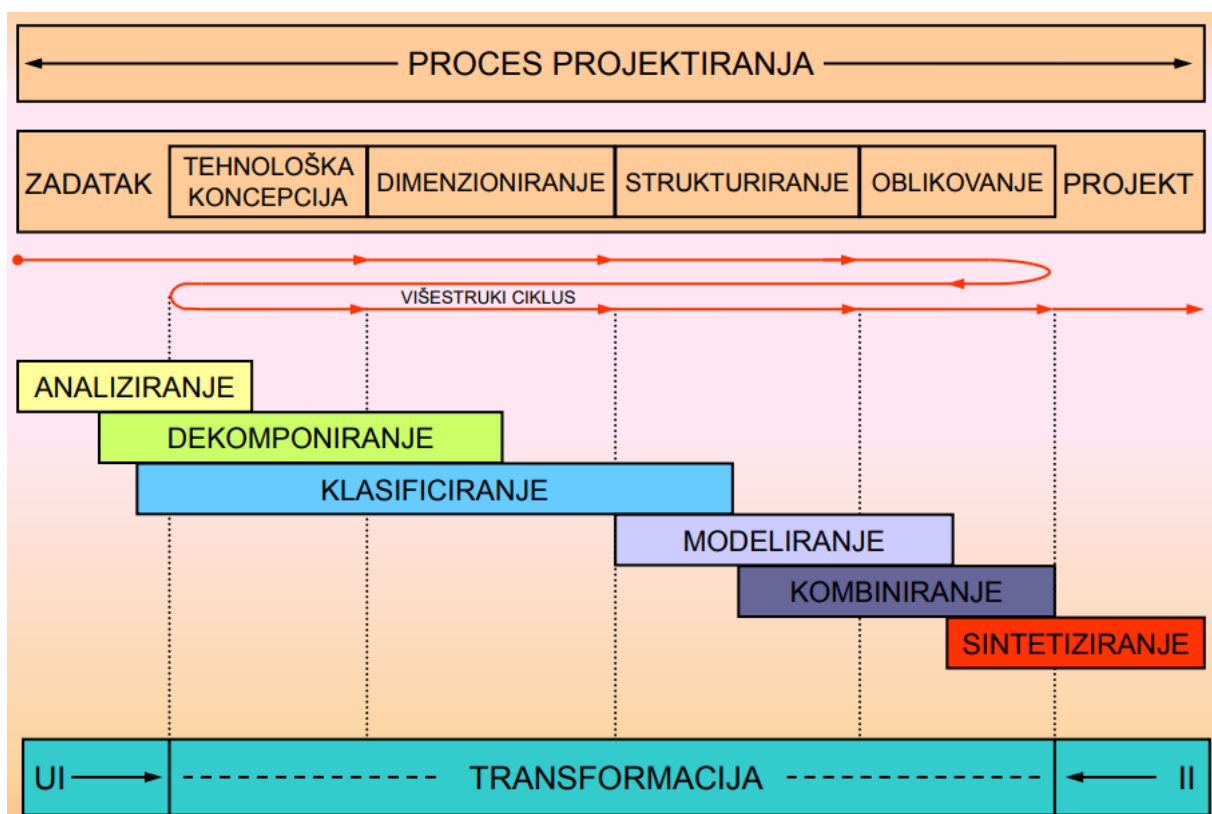
Projektiranje proizvodnoga sustava se uvijek zasniva na nekome proizvodnome programu. Proizvodni program se definira za točno određeno tržišno razdoblje. Potrebno je u ranim fazama projektiranja voditi računa o zahtjevima koji bi se mogli postaviti pred proizvodni sustav u budućnosti kako bi se postigla održivost samog sustava. Osim toga, odgovarajućim projektnim rješenjima tijekom projektiranja se može značajno, bilo pozitivno, bilo negativno, utjecati na troškove. Nadalje, efikasna proizvodnja zahtijeva postizanje različitih, najčešće suprotstavljenih ciljeva. Tako je minimiziranje ciklusa proizvodnje suprotno maksimiziranju iskorištenosti kapaciteta, a maksimiziranje proizvodnosti teško ostvarivo uz zahtjev za visokom fleksibilnošću. Zbog svih navedenih razloga, kao i ciljeva koji se žele ostvariti projektiranjem potrebno je imati odgovarajuću metodologiju projektiranja, koja treba svojim

sadržajem i primjenom omogućiti ostvarivanje željenih ciljeva. Projektiranje proizvodnih sustava po svom sadržaju je prije svega tehnički zadatak, tijekom kojeg je potrebno ispitivati buduće ekonomske učinke, kao i utjecaj na društvenu zajednicu. Stoga projektiranje proizvodnih sustava podrazumijeva aktivnost najekonomičnijeg, kvalitativnog i kvantitativnog, prostornog i vremenskog, povezivanja i usklađivanja činitelja proizvodnje.

Projektiranje obuhvaća[8]:

- određivanje funkcije sustava i tehnološke koncepcije
- dimenzioniranje sustava
- tehnološko i prostorno strukturiranje sustava
- oblikovanje detaljnog rasporeda elemenata unutar sustava

Funkcija samog sustava, kao i njegova ograničenja, moraju se što preciznije postaviti, budući da ispunjenje funkcije i zadovoljenje ograničenja izravno ovise o rezultatima dimenzioniranja, strukturiranja i oblikovanja.



Slika 3.3.1. Shematski prikaz procesa projektiranja i njegovih faza [8]

Zbog postojanja brojne veze između različitih elemenata sustava potrebno je provesti odgovarajuće strukturiranje sustava, odnosno pronaći pravu strukturu sustava. Pronalaženje

odgovarajuće strukture sustava predstavlja srž problema projektiranja proizvodnih sustava. Dobivanje optimalnog rasporeda elemenata u proizvodnom sustavu, tj. optimalne proizvodne strukture moguće je samo primjenom odgovarajućih metoda optimizacije.

4. PROJEKTIRANJE AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SUSTAVA

Montaža predstavlja djelatnost izgradnje nove strukture u svrhu povećanja njene vrijednosti. Sastavni je dio svakog proizvodnog procesa proizvoda koji se sastoji od najmanje dva ugradbena elementa. Montaža je djelatnost jednako stara kao i ljudska civilizacija, te se razvijala paralelno s napretkom same civilizacije. Upravo su prvi alati nastali primjenom montaže gdje se kombiniranjem kamene oštrice s drvenom drškom dobila sjekira. U usporedbi s drugim tehnologijama, montaža je kompleksnija jer uključuje različite tehnike i operacije. Upravo te operacije iziskuju vrlo složene motoričke sposobnosti i visoku razinu inteligencije pa se kao rezultat tih zahtjeva pojavila primjena mehatronike i umjetne inteligencije. Zbog svoje složenosti montaža se sporije razvijala, mehanizirala i automatizirala, posebice u odnosu na obradne tehnologije. U današnjoj proizvodnji, automatizacija montaže predstavlja glavni strateški pravac racionalizaciji proizvodnje te povećanju njene produktivnosti. Valja naglasiti da tijekom proizvodnih procesa na operacije montaže otpada više od jedne trećine ukupnog radnog vremena, a u nekim slučajevima čak i dvije trećine. Automatizacijom procesa montaže moguće je značajno racionalizirati troškove proizvodnje, povećati proizvodnost i kvalitetu. Također, dolazi do smanjenja udjela ljudskog rada i skraćivanja vremena izvođenja operacija. Sve to ukazuje da automatski montažni sustavi polako postaju neizostavni dio svakog proizvodnog sustava.

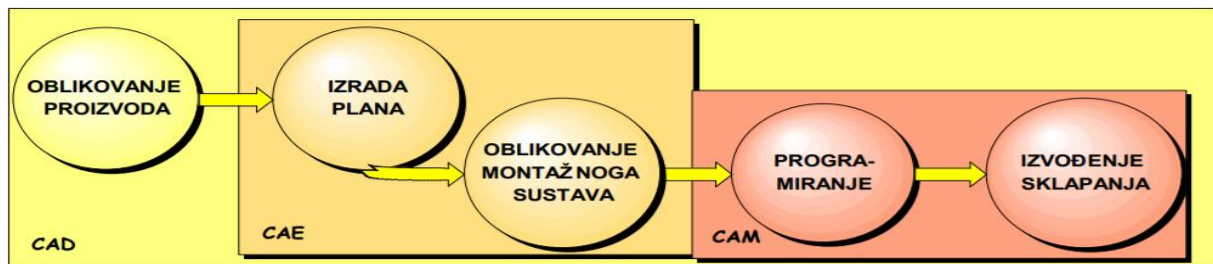
4.1. UTJECAJNI ČIMBENICI PROJEKTIRANJA AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SUSTAVA

Automatizacija montažnih operacija je iznimno složen inženjerski zadatak koji zahtjeva visoku stručnost i širok raspon znanja, od konstrukcije proizvoda do elektronike. Prije donošenja odluke o automatskom sklapanju nekog proizvoda potrebno je razmotriti sve bitne utjecajne čimbenike koji utječu na automatizaciju montažnog procesa. Prema [9] to su:

- Količina proizvoda - Broj komada je presudan čimbenik prilikom donošenja odluke o automatizaciji montaže. S većim brojem komada uložena sredstva se brže vraćaju.
- Veličina i masa proizvoda - Za automatizaciju su pogodni proizvodi ergonomskih veličina ili manji. S veličinom proizvoda znatno raste i cijena sustava zbog problema pri ostvarivanju točnosti pozicioniranja i krutosti izvršnih elemenata.
- Konstrukcija proizvoda – Utječe na konstruktivno rješenje automatskog uređaja za sklapanje. Konstruktivna rješenja moraju biti u skladu s principima lakšeg sklapanja kao što su: sklapanje odozgo, simetričnost oblika, lagana orijentacija itd.
- Kompleksnost i struktura proizvoda – Izvedivost montaže nekog proizvoda ovisi o broju ugradbenih elemenata i strukturi sklopa. Manji broj ugradbenih elemenata omogućava primjenu jednostavnih transportnih naprava, dok veći broj elemenata iziskuje primjenu linijskog transporta predmeta rada.
- Tolerancija sastavnih dijelova – Kod mehanizacije i automatizacije montažnih operacija sužava se tolerancijsko polje dimenzija ugradbenih elemenata.
- Životni vijek proizvoda – Prema uobičajenim pravilima ulaganja u automatizaciju trebaju se isplatiti unutar jedne do tri godine. Pri tome se amortizacija na tri godine uzima u obzir za proizvodne čiji je životni vijek znatno duži od tri godine
- Struktura troškova – Ne isplati se ulagati u automatizaciju montaže tamo gdje glavni udio u troškovima predstavlja cijena materijala i gdje cijena sklapanja predstavlja manji dio troškova

Najizrazitije prednosti automatizacije i mehanizacije montažnih operacije su: smanjenje cijene troškova montaže, povećanje produktivnosti, ujednačenost kvalitete proizvoda i sigurnost radnika kod opasnih operacija. Iako su prva dva efekta najčešće presudna, ne smije se nikako zanemariti važnost druga dva efekta. Oni se ne mogu izraziti u novcu, ali je njihova važnost vrlo velika pa su često sami dovoljni za donošenje odluke o automatizaciji procesa.

Idealno je kada se projektiranje sustava za automatsku montažu proizvoda odvija paralelno s razvojem njegove konstrukcije. Suvremeni inženjerski računalni alati (npr. CAD) omogućavaju da se već u ranoj fazi konstrukcije vrše tehnološke analize te da se konstrukcijska rješenja prilagode zahtjevima automatizacije. Ako se poznaje struktura proizvoda i sami oblici ugradbenih elemenata moguće je razviti odgovarajući automatski montažni sustav.



Slika 4.1.1. Metodologija projektiranja automatskog montažnog sustava[10]

4.2. DFA METODA

DFA metoda je postupak tehnološkog oblikovanja proizvoda za montažu. Začetnici ove metode bili su Boothroyd i Drewhurst koji su je objavili 1980. godine. Sama metoda omogućava značajne uštede u vremenu montaže. Svrha ove metode je minimalizacija troškova montaže proizvoda koja se zasniva na smanjenju broja dijelova proizvoda i osiguravanju uvjeta za lako sklapanje dijelova. DFA metoda je sustavna i sastoji se od tri stupnja. U prvom stupnju donosi se odluka o načinu sklapanja, odnosno hoće li proizvod biti sklapan ručno ili automatski. Nakon toga proizvod se analizira sa stajališta odabranog načina sklapanja. I konačno, treći stupanj obuhvaća poboljšanje proizvoda i ponovnu analizu.[9]

Kao što je već rečeno, u prvom koraku DFA metode određuje se vrsta montažnog sustava. Izbor samog sustava zasniva se na raznim parametrima kojima se određuje koji je montažni sustav najekonomičniji. Trošak sklapanja proizvoda ponajviše ovisi o konstrukciji proizvoda i odabiru montažnog sustava. Najniži trošak sklapanja može se postići oblikovanjem proizvoda koji će se na najekonomičniji način moći sklopiti s odgovarajućim montažnim sustavom. Tri su osnovne vrste montažnih sustava, a to su: ručni, jednonamjenski automatski i programibilni automatski.

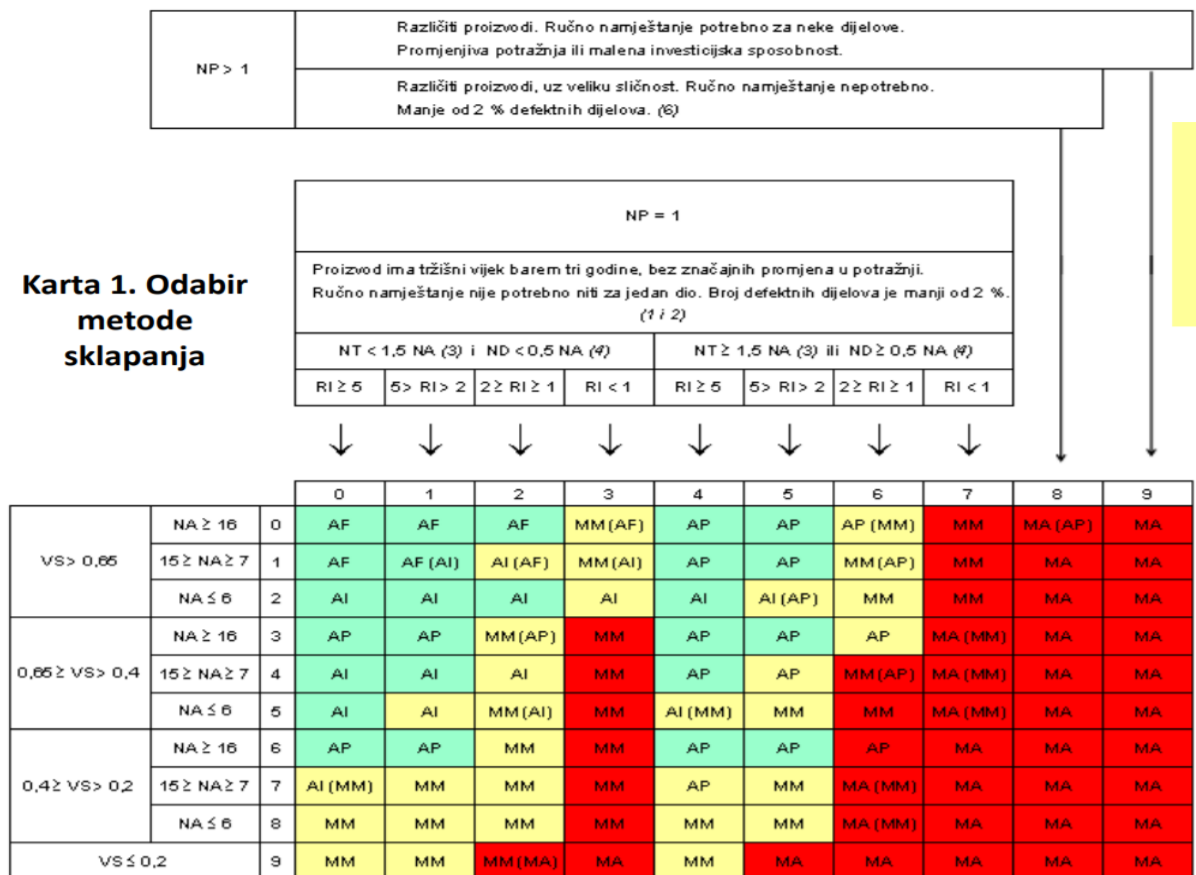
Ručni sustavi sastoje se od više radnih stanica, linijski raspoređenih, s transportnim uređajem i spremnicima za svakog radnika. Ovakvi sustavi su iznimno fleksibilni. Posebna vrsta ručnih sustava su mehanizirani sustavi koji se primjenjuju kad je ekonomično radniku osigurati mehaničke uređaje.[9]

Jednonamjenski automatski sustavi se primjenjuju kod montaže specifičnog proizvoda. Sastoje se od transportnog uređaja, jednonamjenskih radnih jedinica i dodavača dijelova u sklopu radnih stanica.[9]

Programibilni automatski sustavi omogućavaju izvođenje više od jedne operacije sklapanja na radnoj stanici, pri čemu su fleksibilni s obzirom na promjene u proizvodnim količinama i konstrukciji proizvoda. Za manje proizvodne količine preferiraju se pojedinačne robotske stanice.[9]

Za odabir montažnog sustava koristi se posebna karta u koju su uključeni brojni parametri koji utječu na izbor sustava. Obojenost pojedinog polja ukazuje na ekonomičnost sustava. Vrlo važno je odrediti koji parametar ima najveći utjecaj na izbor montažnog sustava. Tako, u

slučaju male vrijednosti investicijsko faktora, mogućnost automatizacije je niska. Ako proizvod ima kratak životni vijek ili niskokvalitetne dijelove, pogodnija je ručna montaža.



Slika 4.2.1. Karta za izbor montažne metode[9]

Nakon odabir montažne metode slijedi drugi stupanj DFA metode u kojem se provodi analiza proizvoda za automatsku montažu koja obuhvaća[9]:

- Proučavanje značajki konstrukcije u svrhu određivanja cijene automatizacije
- Određivanje efikasnosti oblikovanja
- Smjernice za poboljšanja

Prema [9] postoje tri osnovna koraka analize:

1. Određivanje cijene rukovanja dijelom koji se nalazi u nesređenoj gomili i dovođenja tog dijela u zahtijevanu orijentaciju kako bi ga se spojilo u sklop.
2. Određivanje cijene spajanja dijela i uz to popratnih operacija.
3. Donošenje odluke o tome koji dio treba izdvojiti od ostalih dijelova proizvoda.

Iz ova tri koraka analize procjenjuje se ukupna cijena operacija rukovanja i sklapanja te efikasnost oblikovanja. Automatsko rukovanje dijelovima ujedno je najvažniji, ali i

najkompleksniji dio analize. Naime, neke je dijelove nemoguće dodavati i orijentirati automatski, pa je zato potrebno uključiti ručne radne stanice u sam sustav.

Dva su osnovna pravila za automatsko rukovanje[9]:

1. Dijelovi trebaju biti oblikovani na način da ih je što lakše izdvojiti iz gomile i transportirati uzduž staze vibracijskog ili nevibracijskog dodavača. Iz toga proizlazi da treba izbjegavati dijelove koji se zapliću, savijaju, imaju nakošene bridove, koji su osjetljivi ili lomljivi, ljepljivi ili magnetični, abrazivni, manji od 3 mm s obzirom na najveću dimenziju, odnosno veći od 150 mm u odnosu na najveću dimenziju, te malih specifičnih težina (ispod 150 kN/m³).

2. Geometrijske karakteristike dijelova moraju biti "uočljive" za automatske uređaje što se postiže simetričnošću dijelova ili naglašenom nesimetričnošću značajki oblika.

Efikasnost dijelova za dodavanje i orijentiranje se određuje uz pomoć posebnih karata. Karte sadrže dva parametra rukovanja dijelovima: relativna cijena dodavača za rukovanje i efikasnost orijentiranja. Cijena umetanja određuje se iz specificiranih karti. Iz karte se mogu očitati procesi umetanja i relativne cijene radnih jedinki. S obzirom da cijena montaže raste s povećanjem broja dijelova proizvoda, nijedan dio se ne smije zanemariti bez obzira koliko niski bili njegovi jedinični troškovi. Svaki dio koji čini proizvod se treba ispitati prema kriterijima koji služe za određivanje minimalnog broja dijelova. Kriteriji uzimaju u obzir pomičnost dijela u odnosu na sklop, različitost materijala dijela i potrebu za odvajanjem dijela od već sklopljenih dijelova. Nakon ispitivanja svih dijelova i određivanja potrebnog broja zasebnih dijelova dobiva se teorijski minimalan broj dijelova. Provedbu analize za automatsko sklapanje potrebno je izvesti objektivno bez obzira na očiglednu eliminaciju pojedinih dijelova. Analiza se provodi u sedam koraka iz kojih se izračunavaju cijena automatskog rukovanja i umetanja, CA i teorijski minimalan potreban broj dijelova, NM . Na kraju se dobiva izraz za izračunavanje efikasnosti konstrukcije za automatsku montažu:

$$EA = \frac{0,09 * NM}{CA}$$

U slučaju kad je ručno rukovanje neizbježno ili kad je cijena automatizacije previsoka, vrši se analiza za ručnu montažu i određuje cijena ručne montaže.

I na kraju, u trećem stupnju DFA metode izbode se poboljšanja na proizvodima te ponovna analiza pri čemu je moguće smanjiti broj dijelova ili poboljšati rukovanje i spajanje.

4.3. SUSTAVI I UREĐAJI ZA AUTOMATSKU MONTAŽU

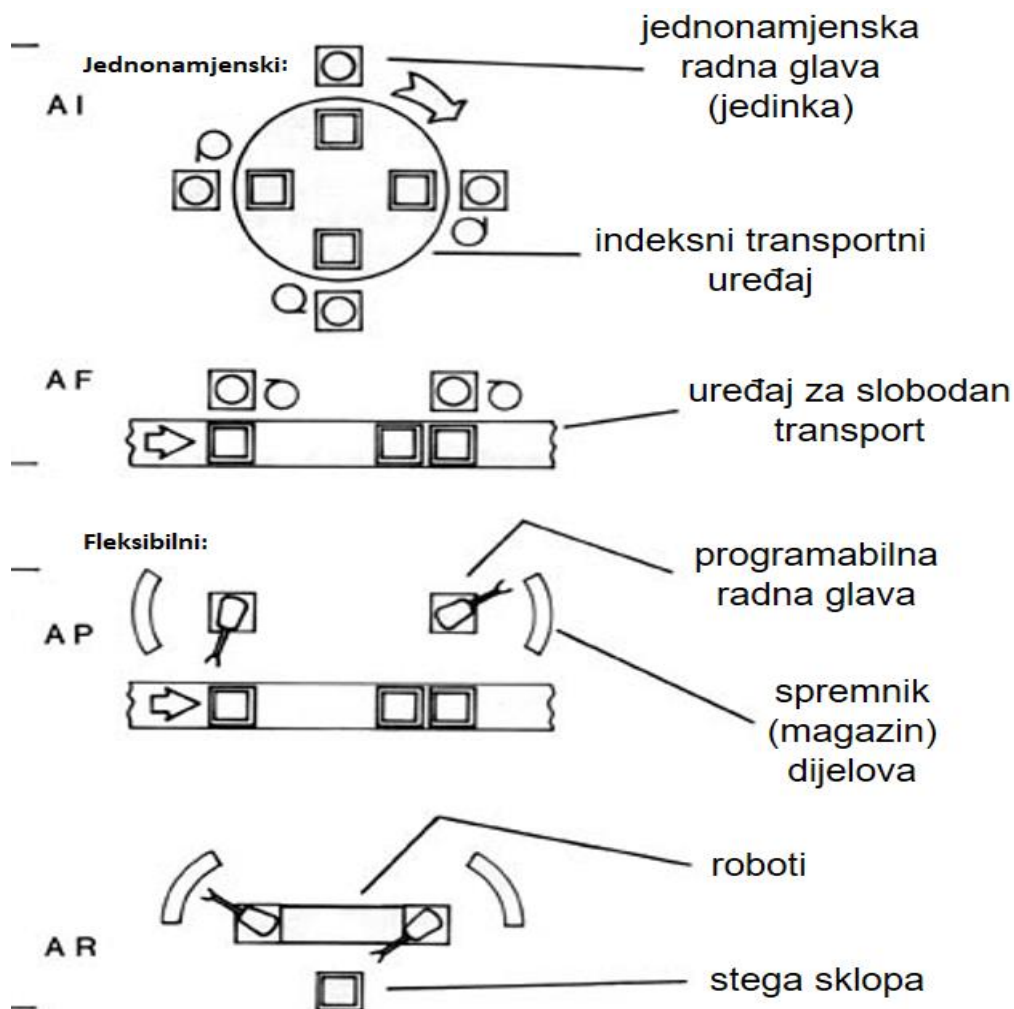
Automatski montažni sustav je skup tehničkih uređaja potreban za realizaciju određenog proizvoda. Osnovna podjela ovakvih sustava je na jednonamjenske i fleksibilne montažne sustave. Brojni parametri koji su opisani u prethodnim poglavljima utječu na izbor sustava pri čemu se odabire troškovno najpovoljniji sustav. Jednonamjenski automatski sustave koriste se za montažu točno određenog proizvoda. Namijenjeni su za montažu velikih količina proizvoda. Sastoji se od uređaja za pomicanje i radnih stanica sa specijaliziranim uređajima i alatima. Vrsta uređaja za pomicanje ponajprije ovisi o obliku i načinu rada montažnog automata. Radne stanice su oblikovane prema konkretnom montažnom zadatku pri čemu se koriste različiti uređaji: dodavači, odjeljivači, uzmi-ostavi, manipulatori itd.

Pet je osnovnih kriterija na osnovu kojih se vrši izbor koncepcije montažnog sustava, a to su: oblik, struktura, veličina, težina i vrsta materijala te tolerancije. **Oblik** je zapravo geometrija ugradbenog elementa i predstavlja osnovu za izbor koncepcije uređaja unutar montažnih sustava. Oblik uvjetuje simetričnost, stabilnost, mogućnost transporta, hvatanje, zaplitanje itd. Posebne karakteristike koje proizlaze iz oblika su stabilnost položaja i sposobnost slaganja. **Struktura** proizvoda utječe na mogućnost grupiranja uređaja, čime se pojednostavljuje tehnička izvedba montažnog sustava te se povećava fleksibilnost i skraćuje ciklus rada. **Veličina, težina i vrsta materijala** najviše utječu na izbor uređaja za transport i rukovanje. Ovi kriteriji imaju poveznicu s problemima trenja, silama hvatanja, nosivosti komponenti i slično. Posebne karakteristike ovih faktora su: sposobnost klizanja, osjetljivost površine i krutost. **Tolerancije** direktno utječu na traženu mehaničku preciznost komponenata. U slučaju iznimno male tolerancije treba smanjiti stoge zahtjeve za pozicioniranjem odgovarajućim oblikovanjem ugradbenih elemenata.[9]

Jednonamjenski montažni sustavi imaju komponente posebnih fizikalnih i geometrijskih osobina pa se ne daju jednostavno, brzo i racionalno prilagoditi s drugim komponentama. Ovakvi sustavi u izrazito nefleksibilni prema promjeni proizvodnih količina. Zbog zahtjeva tržišta koji se ogledaju u većem broju varijanti proizvoda dolazi do promjena u proizvodnim količinama koji rezultiraju potrebama za fleksibilnom automatizacijom. Fleksibilni automatski montažni sustav (FAMS) je skup uređaja pomoću kojih se vrši montaža neke varijante proizvoda prema proizvoljnom rasporedu operacija i koji se u kratkom vremenu može oblikovati za izradu druge varijante proizvoda. FAMS omogućuje izvođenje više od jedne montažne operacije na radnoj stanici čime se osigurava fleksibilnost prema proizvodnim količinama i promjeni konstrukcije proizvoda. Budući da su kod automatizacije

montažnih sustava najvažniji uređaji za rukovanje, razvoj FAMS-a temeljio se na razvoju industrijskih robota koji su predstavljali uređaje za rukovanje. Prema proizvodu FAMS čine industrijski robot, uređaji za prijem i centriranje paleta i standardne palete s radnom okolinom robota.

Montažni uređaji se najčešće klasificiraju prema tehničkim rješenjima, a ne montažnim operacijama. Razlog tome je što uređaji mogu obavljati više operacija, pa bi nazivlje prema operacijama bilo nepraktično. U ovom radu će biti opisani najčešće korišteni uređaji u automatskim montažnim sustavima kao što su uređaji za pomicanje; manipulatori uzmi-stavi; industrijski roboti; dostavne staze; dodavači i spremnici.



Slika 4.3.1 Usporedba jednonamjenskih i fleksibilnih proizvodnih sustava[10]

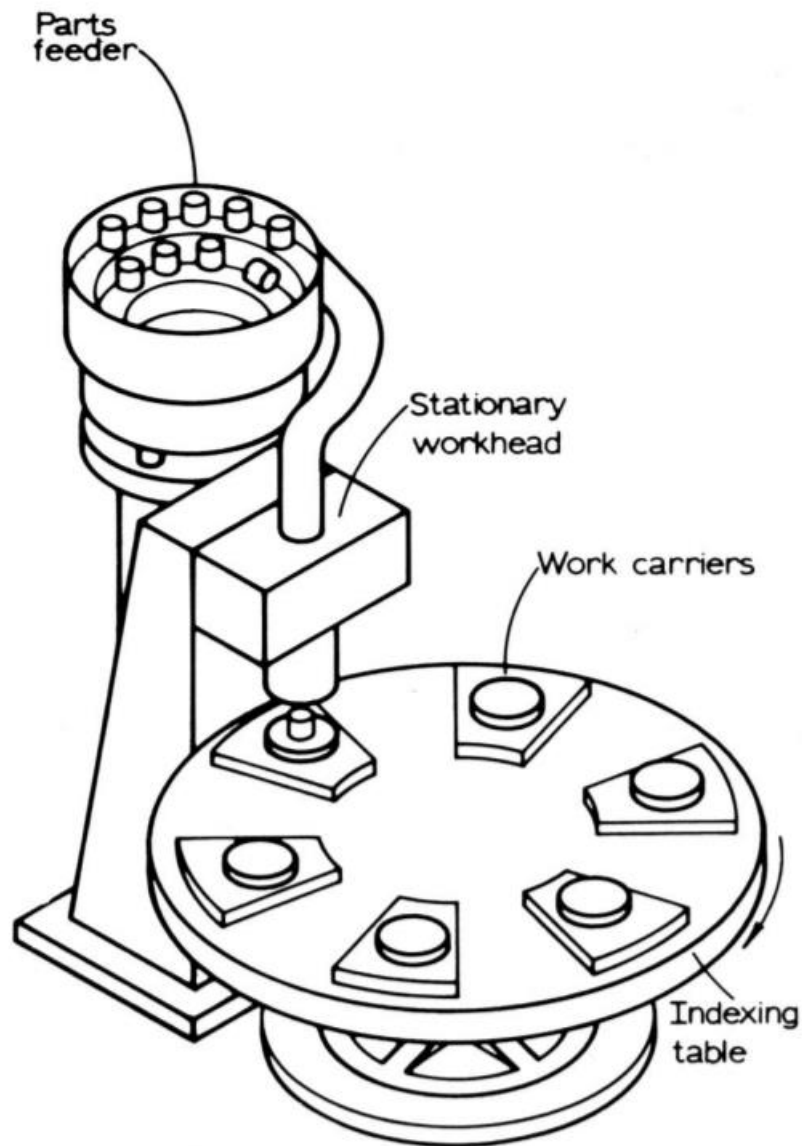
4.3.1. UREĐAJI ZA POMICANJE

Uređaji za pomicanje služe se kretanje montažnih dijelova od radne stanice do radne stanice. Njihova osnovna podjela je prema načinu gibanja te se dijele na uređaje s kontinuiranim i intermitentnim gibanjem. Kod uređaja s kontinuiranim gibanjem, objekti se pomiču konstantnom brzinom, pravocrtno ili kružno. Ovakvi uređaji imaju ciklus rada koji ne sadrži vremena usporenja, točnog pozicioniranja i ubrzanja, što rezultira visokom proizvodnošću. Zbog nepostojanja inercijskih sila, uređaji s kontinuiranim gibanjem pogodni su za pomicanje teških objekata i objekata koji nisu osigurani protiv rastavljanja. Problemi nastaju zbog otežane sinkronizacije rada uređaja za pomicanje i radnih stanica. Uređaji za kontinuirano gibanje se isključivo koriste u masovnoj proizvodnji jednostavnih proizvoda.

S druge strane, kod uređaja s intermitentnim gibanjem objekti montaže se gibaju s prekidima, odnosno u vremenskim intervalima potrebnim za izvršavanje operacija. Dvije su osnovne izvedbe ovih uređaja: taktni i sa slobodnim tokom. Kod taktnih uređaja, objekti se gibaju istovremeno u jednakim vremenskim intervalima jer su nosači objekata čvrsto vezani s uređajem za pomicanje. Kod uređaja sa slobodnim tokom, takva veza ne postoji pa se objekti pomiču između radnih stanica nezavisno jedan o drugom.[9]

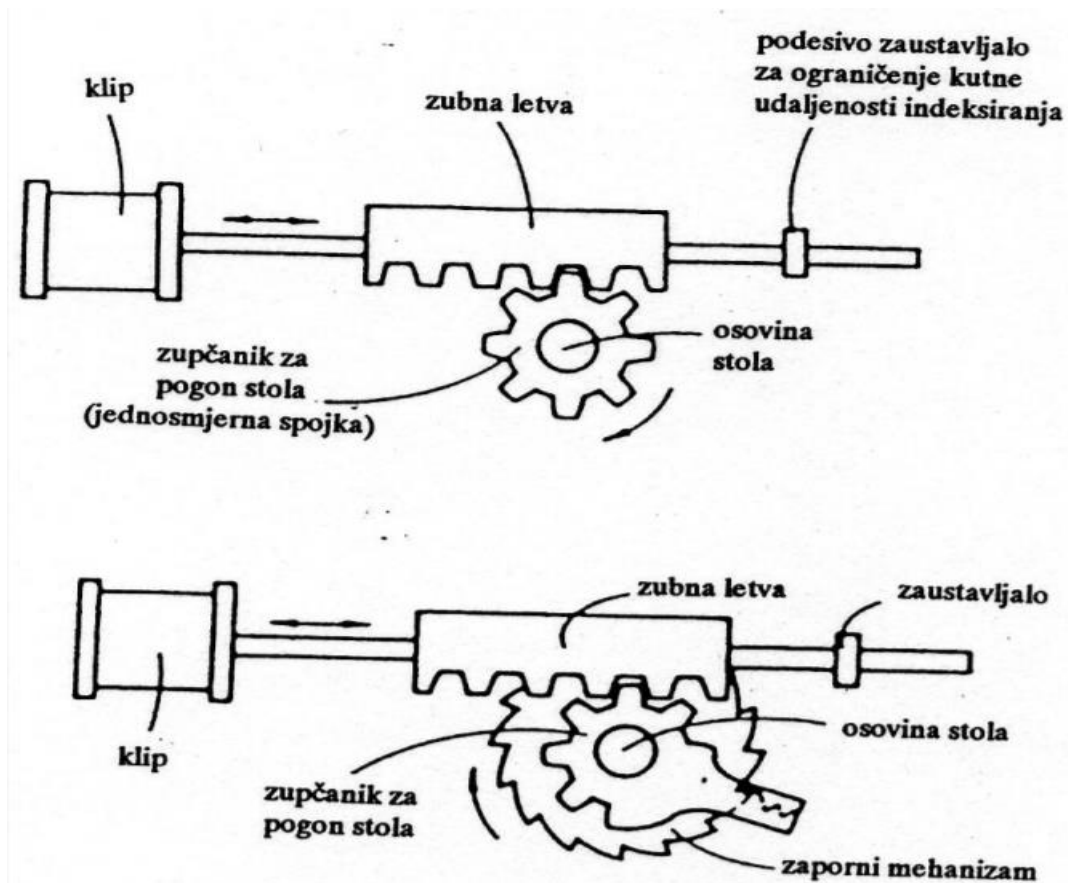
Osnovne izvedbe taktnih **uređaja za pomicanje** su okrugli okretni stolovi i linijski taktni uređaji. Taktno vrijeme čini zbroj vremena pomicanja i vremena najduže operacije sastavljanja. Izbor izvedbe ponajprije ovisi broju spajanja i broju ugradbenih elemenata. Kod okretnog stola postoje dva smjera sklapanja – okomiti i vodoravni. Linijski uređaji dozvoljavaju minimalno tri smjera sklapanja i teoretski beskonačan broj radnih stanica. Kod okretnih stolova broj radnih stanica je ograničen jer njihovim porastom raste promjer stola, a samim time i moment inercije što uzrokuje lošija dinamička svojstva uređaja. Za montažu jednostavniji proizvoda s manjim brojem ugradbenih elemenata češće se koristi okretni stol jer se njime postiže visoka točnost pozicioniranja.

Okretni stol je jedan od najčešće korištenih transportnih uređaja kod kojih se pomiče ležište izratka. Može se postaviti okomito, vodoravno ili koso. Standardne izvedbe grede su promjera 100-500 mm s točnošću izrade 0.01-0.1 mm.



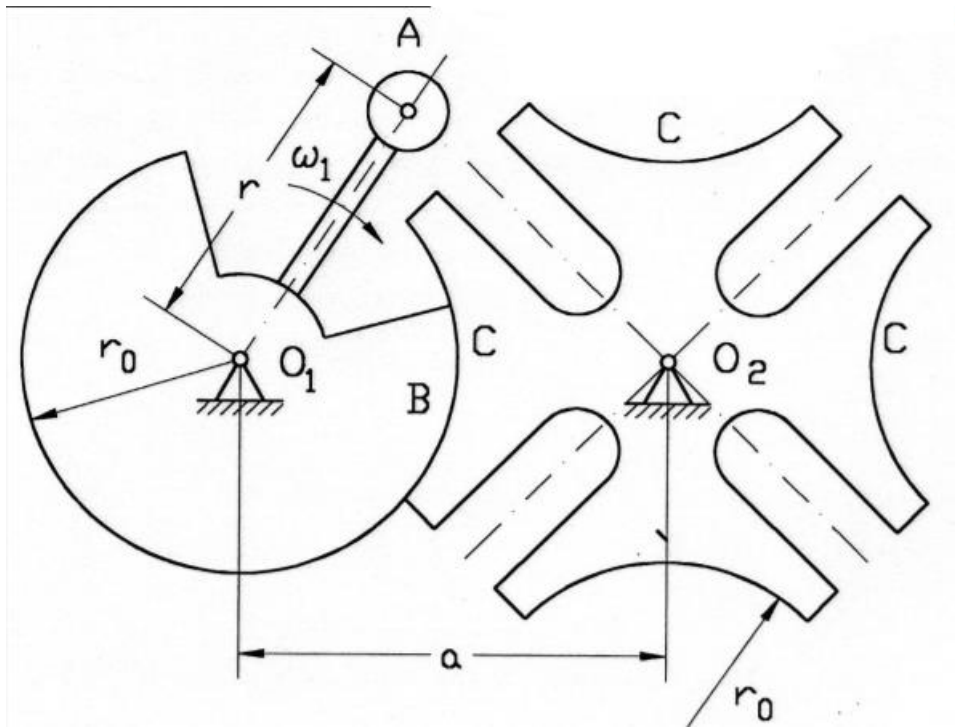
Slika 4.3.1.1. Primjer okretnog stol s radnom stanicom[10]

Pogon okretnog stola može biti elektromotorni, pneumatski ili hidraulički. Kod zadnja dva pogona translacijsko gibanje se preko zubne letve i zupčanika pretvara u rotacijsko. Rotacijsko se gibanje prenosi na osovinu i zupčastu letvu okretnog stola preko zapinjače ili preko jednosmjerne spojke. Pozicioniranje stola najčešće se vrši zatikom kojeg pokreće pneumatski cilindar. Osim za pozicioniranje, zatik sprječava prijenos sile na zaporni mehanizam. Ovaj mehanizam je koristan kada se radi o relativno sporim taktim gibanjima s malim silama i bez značajnih ubrzanja okretnog stola.[9]



Slika 4.3.1.2. Mehanizam pneumatskog okruglog stola[9]

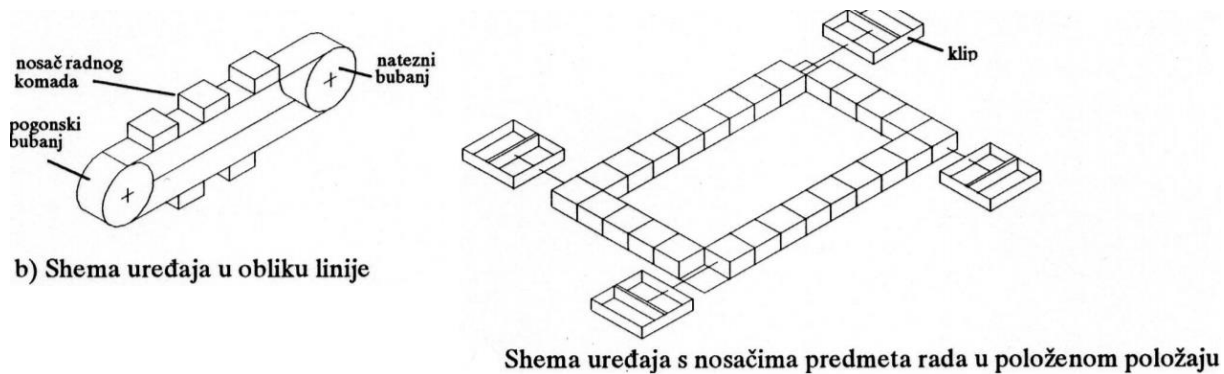
Kod elektromotornog pogona kontinuirano gibanje se pretvara u koračno pomoću koračnih prijenosnika izvedenih u obliku malteškog križa ili krivuljnog prijenosnika. Mehanizam malteškog križa sastoji se od pogonskog i pogonjenoga članka. Pogonski članak je izveden u obliku ručice s valjčićem, a pogonjeni član čini ploča s prorezima koja svojim izgledom podsjeća na odličje Malteškoga reda. Vrijeme okretanja elektromotorom pogonjene osovine odgovara vremenu takta. Pogonski valjčić ulazi u prorez na ploči te se nalazi u zahvatu toliko dugo dok kružnim gibanje ne izađe iz njega. Nakon punog okreta valjčić ulazi u sljedeći prorez križa i na taj način omogućuje koračno gibanje. Mirovanje križa osigurava se međusobnim dodirom lukova B i C pogonskog i gonjenog članka čiji su polumjeri zakrivljenosti r_0 međusobno jednaki. Kako bi se osigurao nesmetan ulaz i izlaz valjčića iz proreza, smjer kretanja valjčića mora se poklapati sa središnjicom proreza.[9]



Slika 4.3.1.3. Mehanizam elektromotornog okretnog stola s malteškim križem[9]

Kod krivuljnog prijenosnika se na pogonskoj osovini nalazi bubanj s krivuljnim pločama koje služe za pokretanje diobenog kotača, čvrsto spojen sa stolom koji se okreće. Diobeni kotač na obodu posjeduje odgovarajući broj kotačića točno određen prema broju radnih stanica. Vrijeme okretanja pogonske osovine s bubnjem odgovara taktu okretnog stola. Ovaj je mehanizam pogodan za velike brzine, ima visoku točnost pozicioniranja, a broj zaustavljanja po okretu je neograničen.

Kod montaže proizvoda s većim brojem ugradbenih elemenata koriste se **linijski uređaji** za pomicanje u taktu ili slobodnom toku. Raspored radnih stanica u liniji uvjetuje oblikovanje sustava u obliku linije ili pravokutnika. Montaža se izvodi u najmanje tri smjera, a radne stanice mogu biti smještene s obje strane uređaja za pomicanje. Uređaj za pomicanje omogućava da su početak i kraj montaže na suprotnim krajevima, što je prednost u slučaju potrebe za direktnim prijenosom montiranog sklopa u montažni sustav. Glavni nedostatak je iskoristivost uređaja, budući da se aktivno koristi samo 40% nosača objekata, dok je 60% u povratnom toku. Ipak, ovaj nedostatak ne postoji kod sustava u obliku pravokutnika. Kod njih su početak ili završetak montaže jedan pokraj drugoga ili integrirani u jednoj stanici.



Slika 4.3.1.4. Linijski uređaji za pomicanje[10]

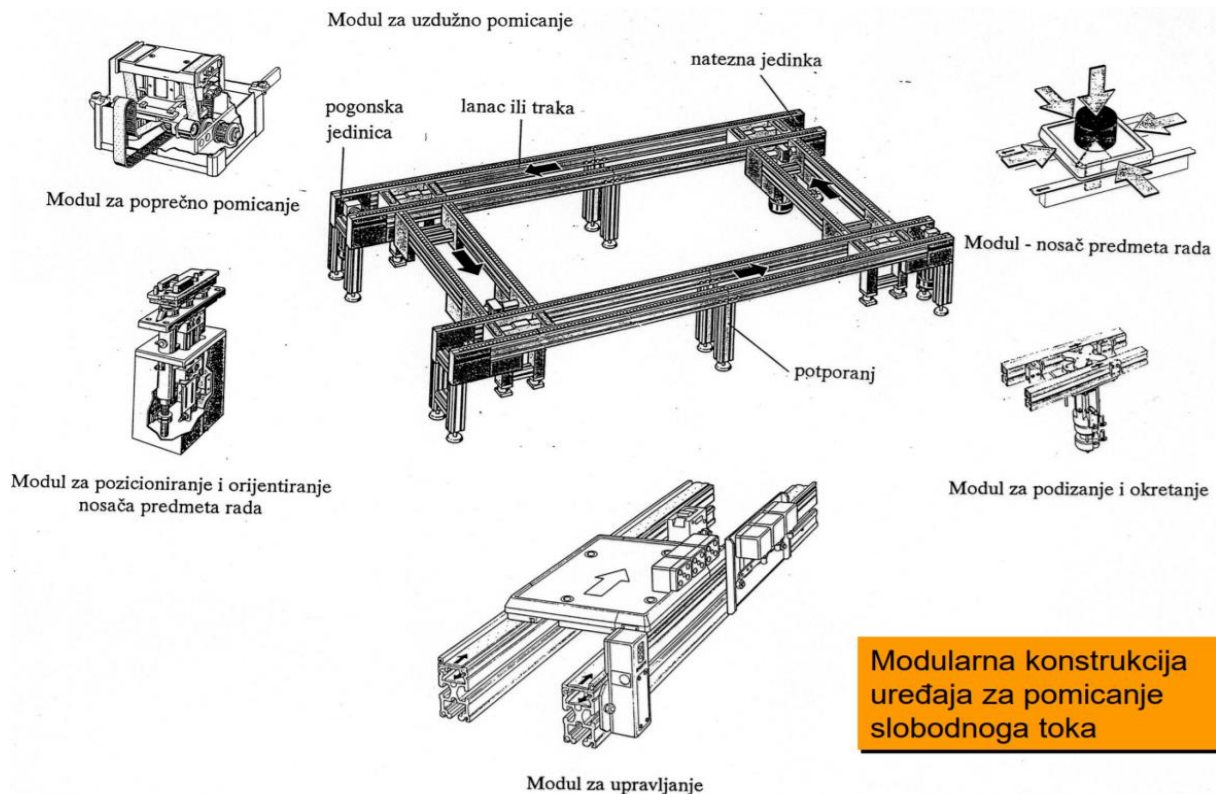
Pogon taktnih uređaja za pomicanje u obliku linije i pravokutnika s nosačima objekata u uspravnom položaju je elektromotorni koji sadrži prijenosnik s krivuljnom pločom. Nosači objekata učvršćeni su na čeličnoj traci ili lancu. Traka je "beskonačna" ili sastavljena od segmenata. Točnost pozicioniranja isključivo ovisi o točnosti izrade trake te se povećanjem dužine trake i broja nosača smanjuje točnost pozicioniranja. S druge strane, izvedba s lancem je u odnosu na uređaj s čeličnom trakom jeftinija, ali i netočnija jer se prilikom rada lanac s vremenom isteže. Zbog toga razmaci između nosača nisu konstantni, pa se nosači moraju na svakoj radnoj stanici dodatno pozicionirati. Veća točnost pozicioniranja može se postići izvedbom s člankastim lancem.

Transport s premještanjem izradaka iz jednog ležišta u drugo koristi se kada je potrebno da se izradak premještanjem postavi u točan položaj za obradu. Ovaj način transporta zahtjeva da izradak bude prikladnog oblika. Pomak nosača omogućava premještanje cijele grupe izradaka za jedan korak s obzirom na potrebe obrade. Dvije su osnovne izvedbe transportnih uređaja s pomakom nosača – u okomitom i vodoravnom smjeru. Odabir odgovarajuće izvedbe ovisi o konstrukciji i namjeni cijeloga uređaja. Za transport traka i profila koriste se posebni uređaji mehaničkog, pneumatskog i hidrauličnog pogona. U ekstremnim uvjetima rada ili kada nijedan od navedenih načina transporta nije prihvatljiv, koriste se transporter s hvataljkama. Najčešće su to posebni oblici industrijskih robota s malim stupnjevima slobode kretanja.

Glavna karakteristika **uređaja za pomicanje slobodnog toka** je neistovremeni pomak nosača objekata ili naprava s izradcima. Sam uređaj se sastoji od većeg broja nosača pomicanih dvjema gumenim trakama ili dvama lancima s valjčićima. Na radnim stanicama nosači se zaustavljaju jedinkama za zaustavljanje, podižu nekoliko milimetara i pozicioniraju jedinkama za dizanje i pozicioniranje, dok trake ili lanci s valjčićima nastavljaju gibanje. Nakon završetka montažne operacije nosače se spušta na gumenu traku ili lanac s valjčićima,

te pomiče na sljedeću radnu stanicu. Uređaji za pomicanje sa slobodnim tokom uglavnom su modularne konstrukcije s modulima za uzdužno i poprečno pomicanje, pozicioniranje i orijentiranje, nošenje objekata i upravljanje. Moduli omogućuju oblikovanje više varijanti uređaja za pomicanje ovisno potrebama montaže. Veličine nosača objekata iznose od 80×80 mm do 800×1200 mm, uz prilagodbu geometriji i masi objekta. Modul za upravljanje obavlja različite zadatke kao što su identifikacija položaja nosača, jedinice za zaustavljanje i jedinice za identifikaciju i pohranu podataka. Jedinica za identifikaciju i pohranu podataka upravlja tokom materijala.[9]

Gomilanje nosača objekata ili naprava s izradcima ispred radne stanice omogućava da se kvar ili zastoj stanice otkloni prije nego se iscrpi pričuva ostalih stanica, pa se stroj ne mora zaustaviti. Pričuva omogućava da se radne stanice vremenski odvoje od takta. Ovime se ostvaruje 25 posto veća produkcija stroja u odnos na onaj s taktim transportom. Unatoč tome, ovo su skuplji strojevi pa treba izračunati optimalan tip stroja. Određivanje pričuve računa se s obzirom na vrijeme zastoja. U slučaju prevelike pričuve, zastoj radne stanice neće utjecati na rad ostalih stanica. Kapacitet pričuve se može dobiti iz aproksimativnog proračuna, pri čemu postoje sljedeće pretpostavke: sve radne stanice rad s istim vremenskim taktom i sve radne stanice dobivaju isti postotak škarta.

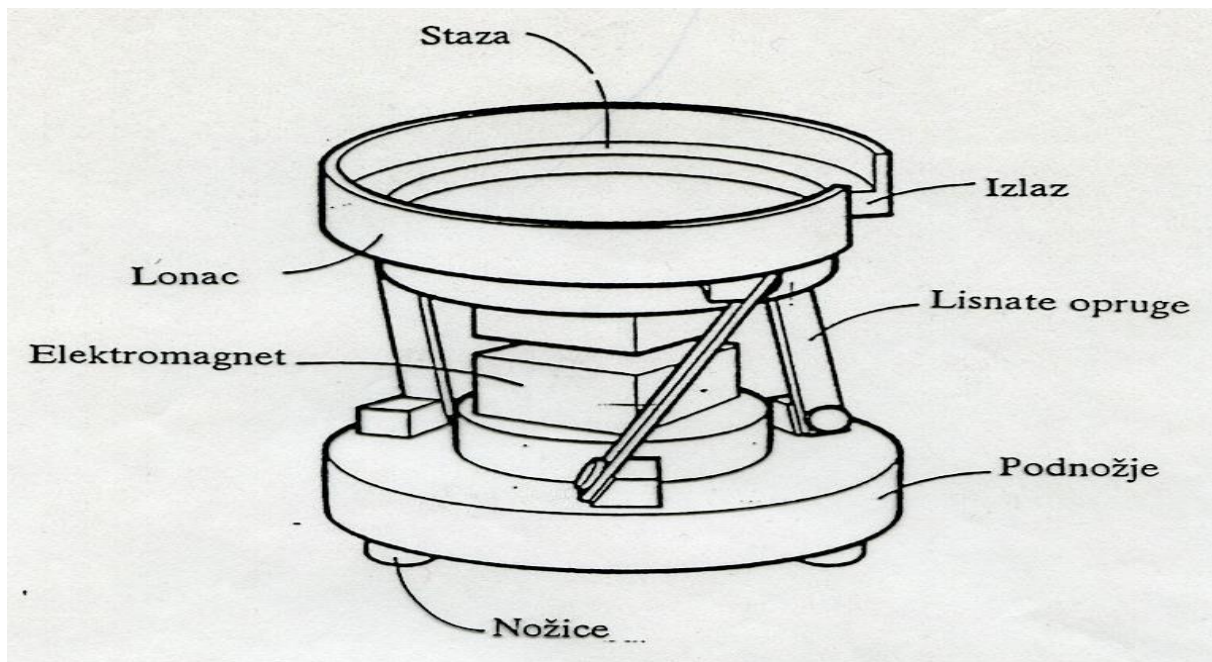


Slika 4.3.1.5. Modularna konstrukcija uređaja za pomicanje slobodnog toka [10]

4.3.2. DODAVAČI

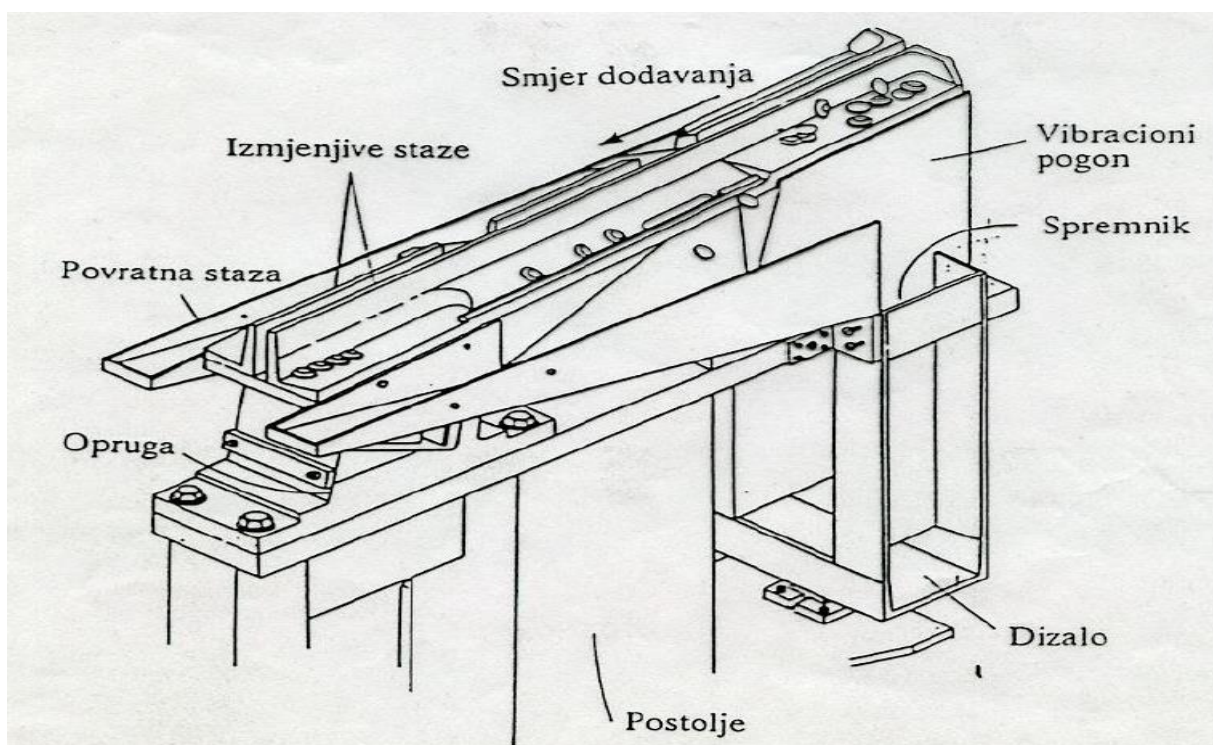
Dodavači su uređaji čija je glavna uloga isporuka odgovarajuće količine izradaka u željenoj orijentaciji montažnom uređaju. Količina dobave određena je kapacitetom montažnog uređaja. Količina dobave dodavača ne smije biti manja od kapaciteta montažnog uređaja. U stvarnim uvjetima, količina dobave u dodavaču se s vremenom bitno mijenja, dok teoretska količina dobave treba ostati konstantna. Raspon količine dobave, ovisno o količini izradaka u dodavaču, opisuje osjetljivost dodavača na opterećenje. U slučaju visoke osjetljivosti, spajanjem dodavača na montažni uređaj, može doći do dugotrajnog kruženja izradaka u dodavaču što dovodi do njihovog trošenja i lomova. Da bi se osigurao pouzdan rad dodavača potrebno je vjerojatnost zaglavljivanja izradaka svesti na minimum. Također, dodavač predstavlja i kontrolni uređaj jer sprječava pristup lošim ili neadekvatnim dijelovima u montažni uređaj. Dvije su osnovne vrste dodavača, a to su vibracijski i nevibracijski.

Vibracijski dodavači su najčešće korišteni tip dodavača malih izradaka (veličine šake i lakši od 500 g). Iznimno su jednostavne konstrukcije te objedinjuju funkcije skladištenja, transporta i orijentiranja, što predstavlja ujedno i glavne razlog njihove primjene u automatiziranim montažnim sustavima. Prvi vibrododavač razvila je američka tvrtka *Syntron Company of America*. Prema putanji gibanja vibracijski dodavači se dijele na spiralne i linijske.[9]



Slika 4.3.2.1. Spiralni ili kružni vibrododavač[10]

Osnovni dijelovi svakog vibrododavača su: pogonska jedinica, spremnik izradaka, dostavna staza i orijentacijski uređaj s izlaznim dijelom staze[9]. Pogonska jedinica sastoji se od masivne temeljne ploče, jednog li više elektromagnetskih pobuđivača te uređaja za upravljanje. Spremnik izradaka drži izratke u nesređenom stanju, a može biti cilindričnog ili kružnog oblika. Dostavna staza je staza kojom se spremnici gibaju iz spremnika prema orijentacijskom uređaju. Kod linijskih vibrododavača ulogu staze preuzima dizalo. Postupak sređivanja isključivo ovisi o orijentacijskom uređaju koji se oblikuje prema geometrijskim i fizikalnim značajkama izradaka, što uvjetuje da promjena izratka koji se transportira uvjetuje i promjenu orijentacijskog uređaja. Ostale komponente vibrododavača su neovisne o svojstvima izradaka ukoliko su ona unutar određenih granica. Kako bi se postigla fleksibilnost vibrododavača, a samim time i montažnog sustava, koriste se izmjenjivi orijentacijski uređaji. Osim nefleksibilnosti, mane vibrododavača su i buka i vibracije koje su posljedica njihovog rada. Također, vibracije se prijenos na ostale uređaje montažnog sustava te tako utječu na točnost montažnog procesa. Ovaj nedostatak se može otkloniti fizičkim odijeljivanjem vibrododavača od uređaja za montažu. Stavljanjem vibrododavača u posebno oklopljeno kućište ili oblaganje njegove staze gumom sprečava širenje buke.



Slika 4.3.2.2. Shema linijskog vibrododavača[10]

Pobuđivači su posebna vrsta vibracijskih dodavača koja se koriste kod transporta materijala ili izradaka u silosima, bunkerima, usipnicima ili posudama. U takvim spremnicima stvaraju se tzv. mostovi ili svodovi uslijed lijepljenja materijala uz stjenku ili međusobnog uklinjavanja izradaka čime se sprječava daljnji transport materijala. Tri su osnovne vrste pobuđivača: mehanički, električni i pneumatski. Neki mehanički pobuđivači se ne mogu niti svrstati u grupu vibracijskih dodavača. To su obične poluge koje se pomiču u određenim vremenskim razmacima, a pogonjene su pokretnim dijelom samog uređaja ili elektromotorom. Osnovni cilj im je sprječavanje stvaranja "mostova" i uklinjenja izradaka. Budući da rastresaju stvorene svodove ili mostove dobili su naziv i rastresači. Upuhivanjem stlačenog zraka podižu se izradci i tako razbijaju stvorene mostove.

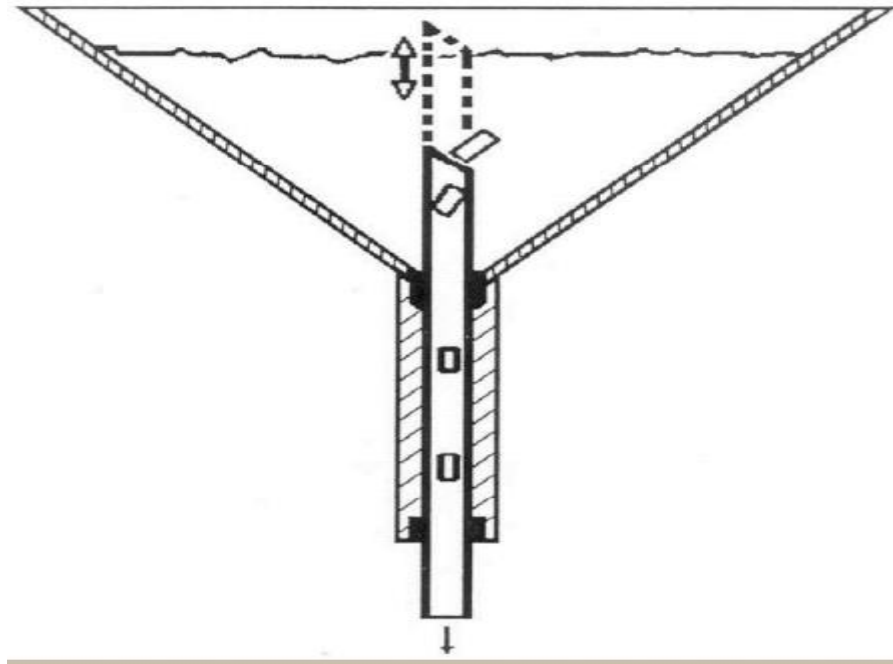
Mehanički pobuđivači sastoje se od ekscentrično postavljene rotacijske mase, a kao pogon obično služi elektromotor.

Električni pobuđivači sastoje se od elektromagneta identičnog kao i kod vibracijskih staza. Ovi pobuđivači stavljaju se na bočne stjenke ili posebno obrađene plohe kako bi svojim vibracijama omogućili pomicanje izradaka i spriječili njihovo gomilanje.

Pneumatski pobuđivači ostvaruju vibracije pomakom klipa ili kuglice djelovanjem stlačenog zraka. Izvedba ovog pobuđivača(kuglica ili masa) određuje tip vibracija, a prigušenje protoka zraka njegovu učestalost.

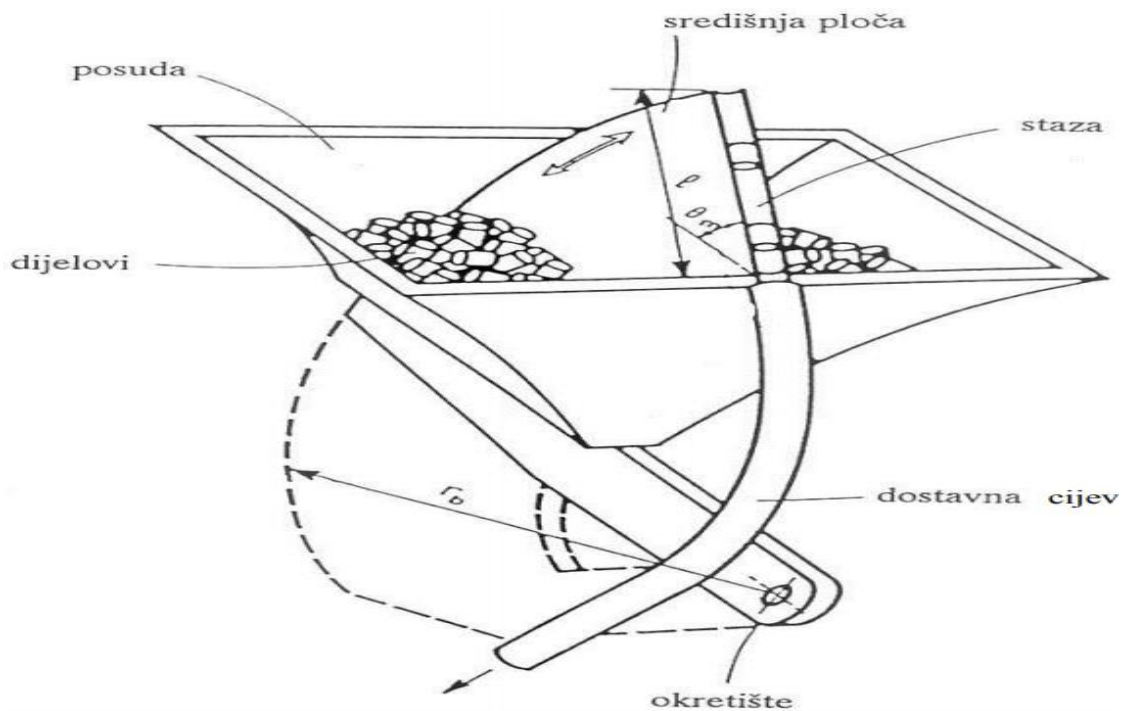
Nevibracijski dodavači se primjenjuju kod dijelova osnovnih geometrijskih oblika, pri čemu su jeftiniji od vibracijskih. Osnovna podjela nevibracijskih dodavača je na naizmjenične, okretne i remenske[9]

Najčešće korištena vrsta nevibracijskih dodavača su **naizmjenični cijevni dodavači** koji je prikazan na slici 17. U zdjeli konusnog oblika nalaze se izradci. Dovođenjem dostavne cijevi izuzima se jedan po jedan izradak iz zdjele. Vidljivo je da je vrh cijevi izveden pod kutom kako ne bi došlo do zaglavljivanja izradaka na vrhu cijevi.



Slika 4.3.2.3. Naizmjenični cijevni dodavač[10]

Osnovni dijelovi **naizmjeničnog dodavača sa središnjom pločom** su: ljevkasta posuda, središnja ploča koja je pokretna i dostavna cijev. Gibanjem prema gore središnja ploča zahvaća dijelove stazom. U gornjem položaju ploče dijelovi upadnu kroz stazu u dostavnu stazu.



Slika 4.3.2.4. Naizmjenični dodavač sa središnjom pločom[10]

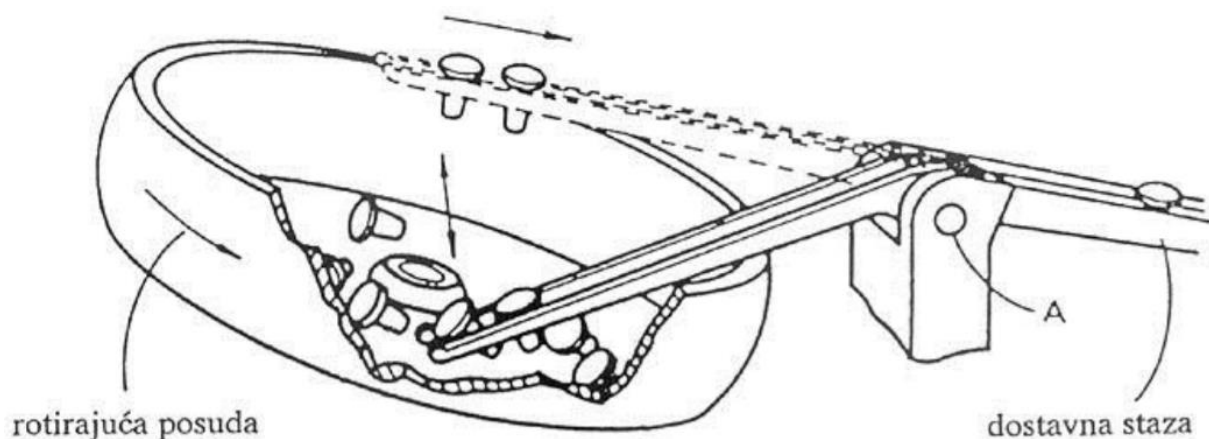
Osnovni parametri koji se uzimaju u obzir pri proračunu dodavača su[9]:

- polumjer otklona r_b , mm;
- duljina staze l , mm;
- kut nagiba staze Θ_m , rad;
- učestalost dobave n , 1/s;
- kut nagiba stjenke zdjele, rad.

Kut nagiba stjenke zdjele ne smije biti prevelik jer bi došlo do zaglavljivanja pri gibanju ploče nadolje. Najčešća vrijednost ovog kuta je 60° . Ploča mora biti postavljena na način da ne dođe do izlijetanja dijela sa staze. Pri tome, najugroženiji je onaj dio koji je najudaljeniji od okretišta. Povećanjem kuta nagiba ploče utječe se na maksimalnu količinu dobave i to na dva načina:

1. potrebno je više vremena da ploča postigne gornji položaj
2. potrebno je manje vremena da dijelovi skliznu iz staze središnje ploče u dostavnu stazu

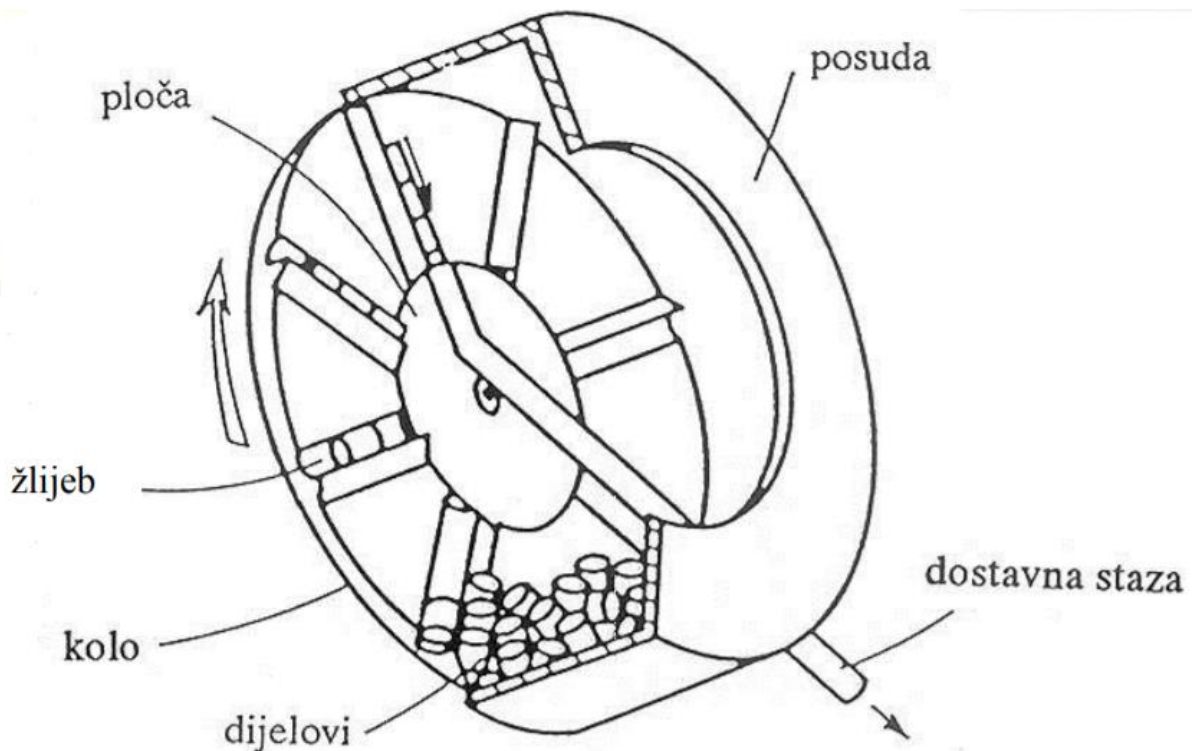
Naizmjenični vilični dodavač sastoji se od okretne, nagnute zdjele kod kojeg vilica služi za izdvajanje predmeta iz gomile. Nakon izuzimanja predmeta, vilica se podiže te izradci klize u dostavnu stazu. Ova vrsta dodavača pogodna je samo za dodavanje glavatih izradaka.



Slika 4.3.2.5. Naizmjenični vilični dodavač[10]

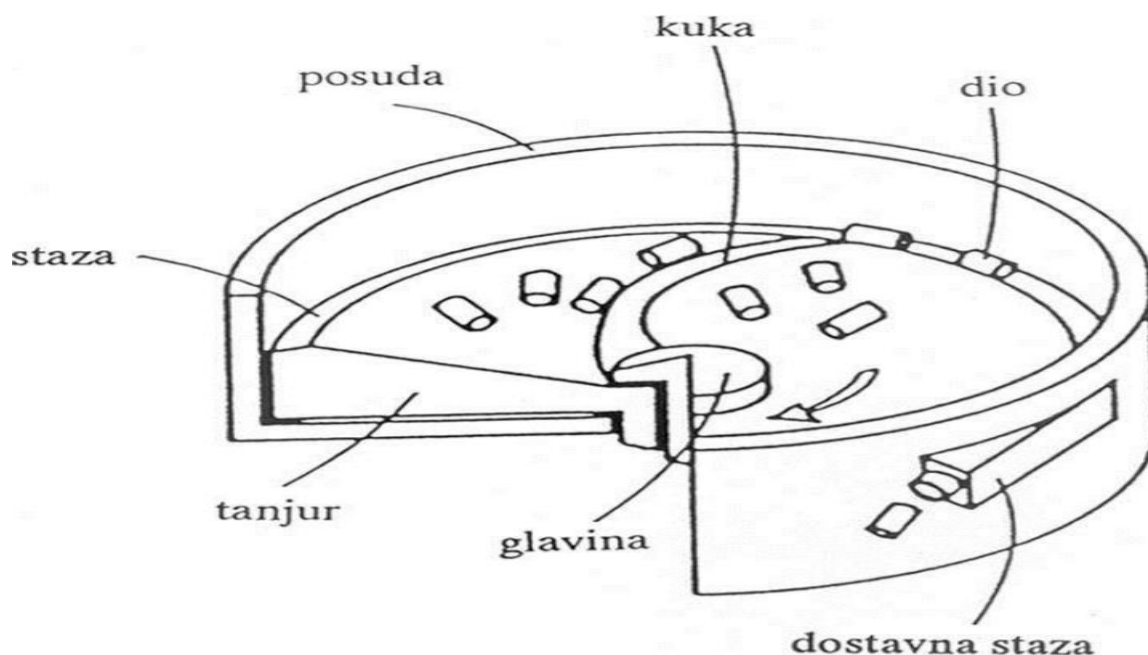
Okretni dodavač s ožljebljenim kolom sastoji se od kola na koji je postavljena nepomična posuda. Nepomični okvir osigurava stalan položaj izradaka u žlijebu sve dok se žlijeb ne poravna s ulazom u dostavnu stazu. Postoje dvije osnovne izvedbe dodavača s okretnim

kolom: kontinuirano okretni i indeksirano okretni. Dodavač s kontinuirano okretnim kolom pogodan je za dodavanje valjkastih pločastih dijelova te se znatno češće koristi u praksi.



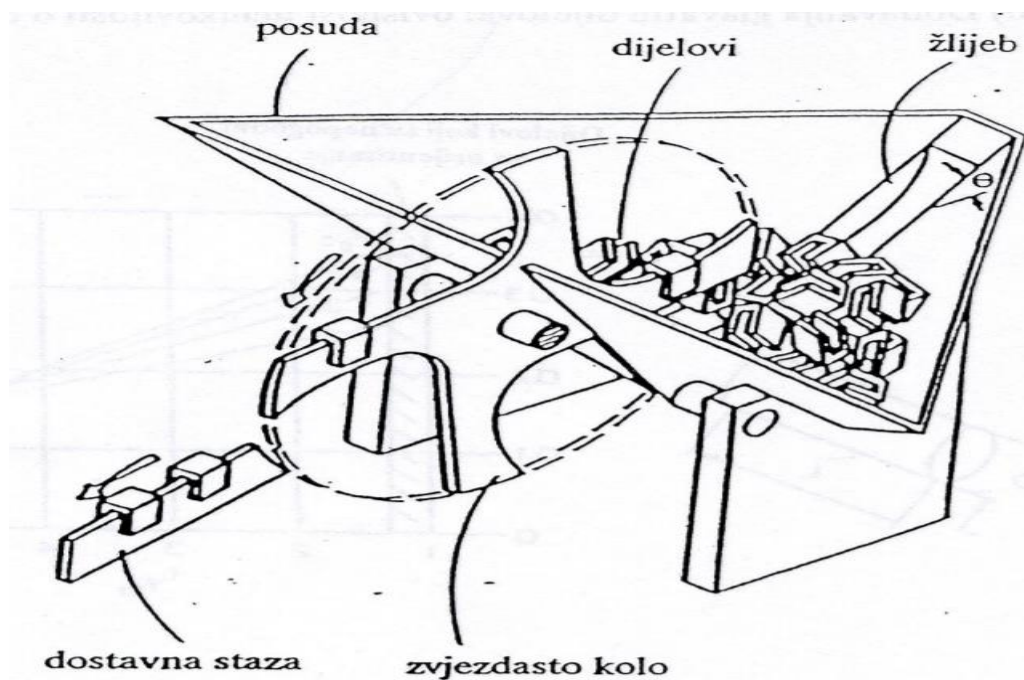
Slika 4.3.2.6. Okretni dodavač s ožljebljenim kolom[10]

Osnovu **okretnog dodavača s kukom** čini nepomična posuda u kojoj se nalazi okretni konkavni tanjur. Okretanjem tanjura izradci prate oblik nepomične kuke, izdvajajući se prema obodu. Na samom obodu posude tanjur ima posebno oblikovanu stazu. Osnovna namjena ovakve vrste dodavača je polagano dodavanje osjetljivih – valjkastih i glavatih izradaka.



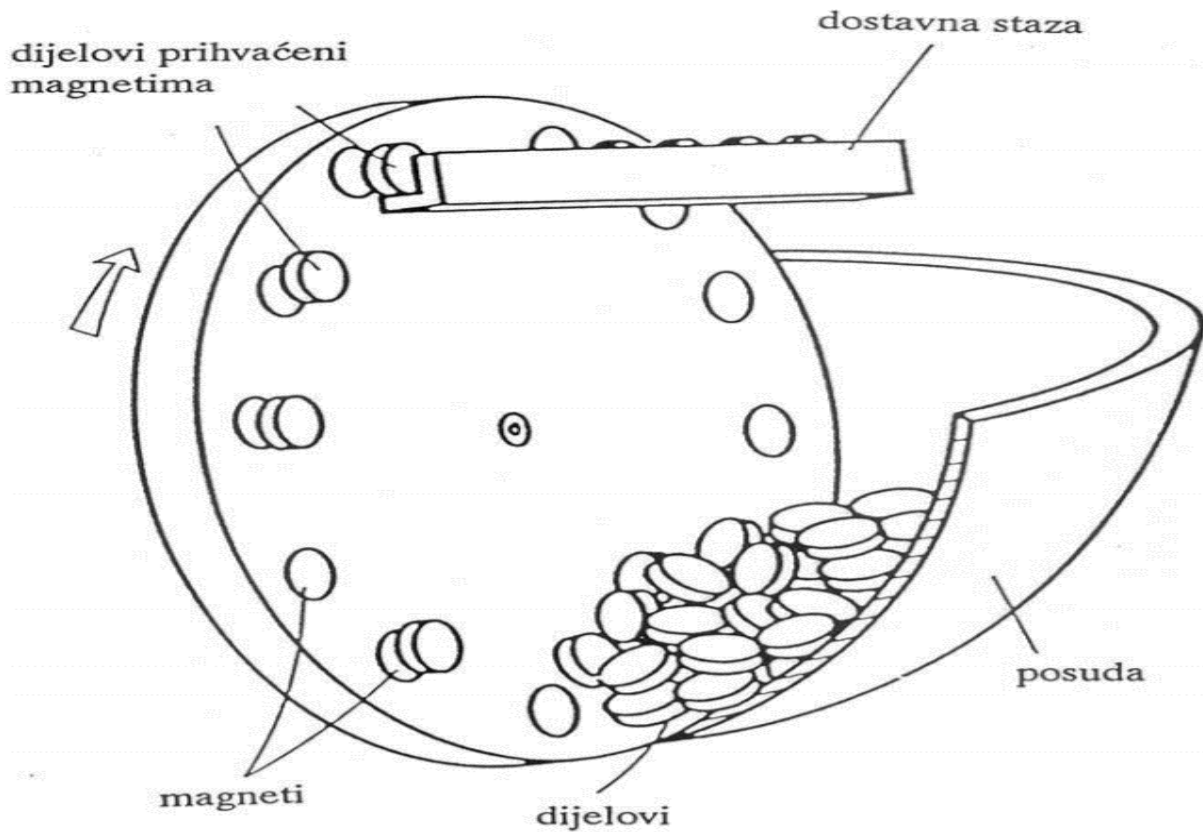
Slika 4.3.2.7. Okretni dodavač s kukom[10]

Okretni dodavač sa zvjezdastim kolom ima tri osnovna dijela: zdjela, kolo i dostavna staza. Zdjela sadrži žlijeb koji se nalazi u ravni kola. Osnovna svrha žlijeba je olakšavanje prihvata izradaka. Izradci se zahvaćaju krakovima kola. Rotacijom kola zahvaćeni izradak se giba po obodu kraka te se na kraju prebacuje na dostavnu stazu. Obodna brzina ne bi trebala biti veća od 0.6 m/s.



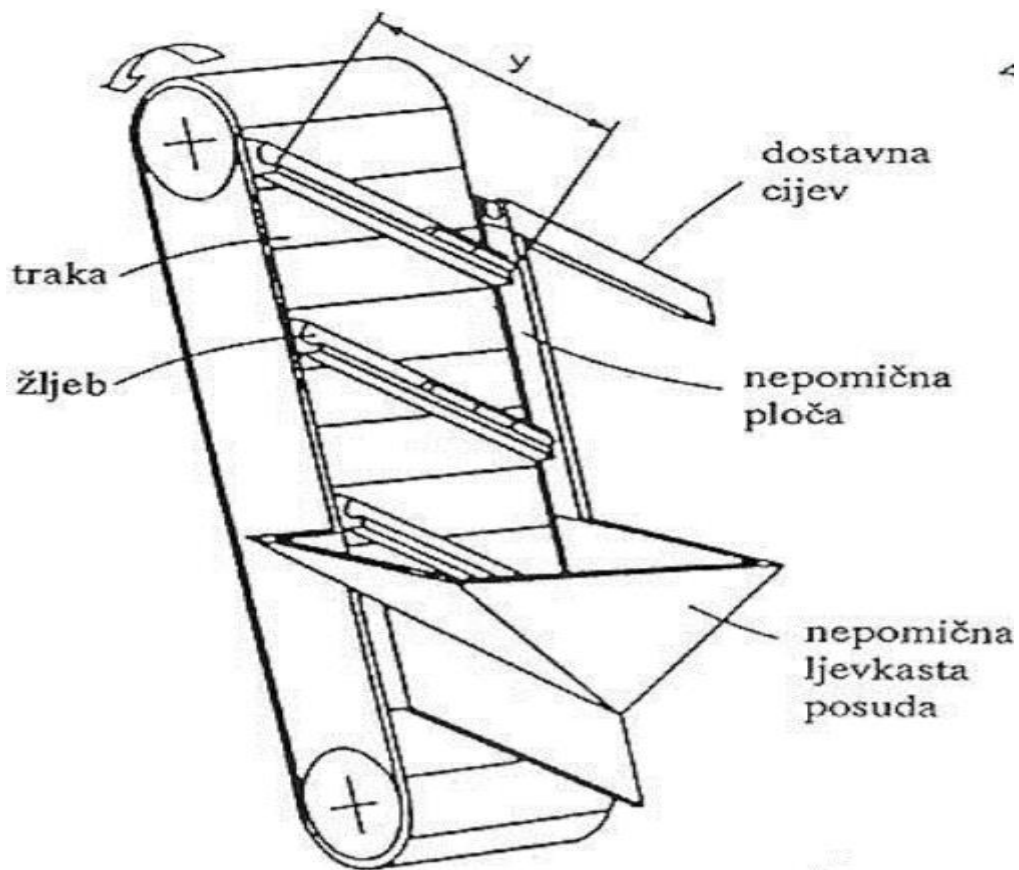
Slika 4.3.2.8. Okretni dodavač sa zvjezdastim kolom[10]

Kod **okretnog dodavača s magnetima** na okretnoj ploči su smješteni magneti koji pri rotaciji ploče izdvajaju iz spremnika izratke poluloptastog oblika. Sila magneta je do 20 puta veća od težine izradaka. Promjer magneta je otprilike jednak najvećoj izmjeri izratka. Okretni dodavači s magnetima najčešće se primjenjuju za matice, podloške, diskove ili kvadratne prizme.



Slika 4.3.2.9. Okretni dodavač s magnetima[10]

Remenski dodavač na svom remenu ima smještene žlijebove za izdvajanje izradaka iz posude. Posuda je oblikovana tako da olakša izdvajanje izradaka pri čemu izradci zauzimaju što je mogući niži položaj u posudi. Gibanjem remena, žlijebovi zahvaćaju izratke s dna posude, podižu ih te ih prenose na dostavnu stazu, koja je smještena na gornjoj strani dodavača. Remenski dodavači su karakteristični za valjkaste izratke.



Slika 4.3.2.10. Remenski dodavač[10]

Naizmjenični pločasti dodavač služi za podizanje orijentiranih izradaka iz gomile uz pomoć kaskadnih ploča. Dodavač sadrži nekoliko ploča čiji broj ovisi o vrsti izradaka i njihovim dimenzijama te o visini dodavanja. Najniža ploča zahvaća izradak i podiže ga na sljedeću ploču. Ta akcija se ponavlja sve dok se ne dođe do ploče najviše razine. Ovi dodavači se prije svega koriste za valjkaste izratke.

4.3.3. SPREMNICI ZA SREĐENU POHRANU

Spremnici služe dobavu ili pohranu predmeta rada. Spremnici za sređenu pohranu uglavnom imaju kontrolnu funkciju jer su u njih premeti rada posloženi točno prema određenoj orijentaciji pri čemu imaju određen oblik i izmjere. Za jednostavnije izuzimanje izradaka iz spremnika koriste se opruge, gravitacija ili stlačeni zrak. Punjenje ili pražnjenje spremnika odvija se u zajedno s montažnim sustavom ili odvojeno i to uz primjenu dodavača ili industrijskih robota. Na taj način svi zastoji u procesu vezani za izradak se odvijaju izvan montažnog sustava.[9]

4.3.4. DOSTAVNE STAZE

Pomicanje na radnoj stanici jest premještanje izradaka ili materijala tijekom procesa montaže. Često su transportni uređaji ili dostavne staze zbog svoje konstrukcije i namjene ujedno i spremnici izradaka te jedan njihov dio predstavlja usipnik (za nagomilane izratke) ili spremnik (za složene izratke).

Dostavne staze služe za povezivanje radnih jedinica te za pohranu predmeta rada između operacija. Do povezivanja dolazi u slučajevima kada nije moguće u potpunosti integrirati sve montažne operacije. Katkada, pojedini montažni uređaji ne rade sinkrono ili se događaju zastoji u njihovom radu pa staza u tom slučaju služi kao spremnik ugradbenih elemenata. S obzirom da se od staze očekuje da sačuva orijentaciju predmeta, profil staze treba biti oblikovan u skladu s predmetima rada tako da se spriječi njihovo prevrtanje, naslagivanje i slično.

Vrsta kretanja, kao i djelujuće sile utječu na način rješenja za pomicanje izradaka na radnom mjestu. Tri su osnovna oblika kretanja[9]:

- slobodno, pod djelovanjem sile teže,
- prisilno, pod djelovanjem vanjske sile,
- kombinirano, pod djelovanjem vibracija.

Slobodno kretanje najčešće se primjenjuje, budući da za njega nije potreban nikakav izvor energije ni specijalni mehanizam. Nedostatak ove vrste transporta manifestira se u neželjenom ubrzavanju izradaka što može dovesti do njihova oštećenja uslijed sudara. Ovi nedostaci mogu se ukloniti primjenom različitih mehanizama za usporavanje.

Prisilno kretanje se odvija pod djelovanjem vanjske sile na predmet rada, te mu omogućava kretanje u bilo kojem smjeru ubrzano, usporeno ili ravnomjerno. Za pomak se koriste

pneumatski, hidraulički i električni mediji koji su u izravnom dodiru s izratkom ili češće putem pretvarača energije koji djeluje posredno na izradak.

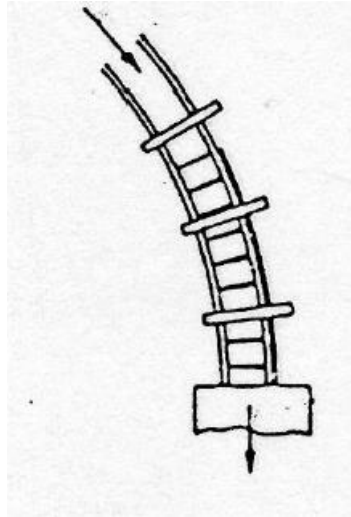
Kombinirano kretanje javlja se kao posljedica vibracija u vibracijskim uređajima. Ova vrsta transporta je zapravo kombinacija slobodnog i prisilnog kretanja. Izradci se gibaju uslijed djelovanja inercijske sile ostvarene djelovanjem vibracija podloge. Izradci jedan drugoga zaustavljaju, sve dok se ne oslobodi mjesto za daljnji transport izradaka u radnu poziciju što je karakteristika slobodnog transporta. S druge strane, izratke je moguće rotirati pod malim kutom u smjeru prema dolje, vodoravno ili prema gore što je ujedno i karakteristika prisilnog kretanja.

Dostavne gravitacijske staze ostvaruju se slobodnim transportom, a realiziraju se na dva načina: klizanjem i kotrljanjem. Iz toga proizlazi i osnovna podjela gravitacijskih staza na kotrljajuće i klizne.[9]

Kotrljajuće staze su vrsta staza kod kojih se predmeti kotrljaju po ravnoj nagnutoj plohi staze ili se transportiraju valjkastom stazom. Ovakve vrste transportnih naprava pogodne su za pomicanje izradaka valjkastog, kuglastog ili sličnog oblika, koji se mogu okretati oko jedne svoje osi.[9]

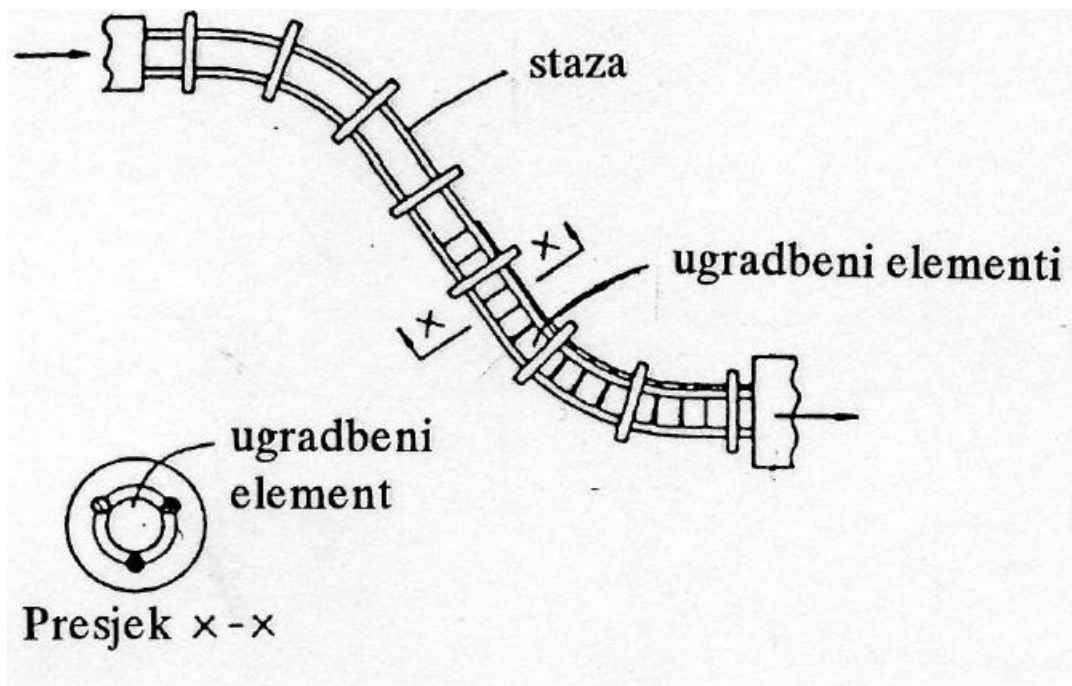
Klizne staze odlikuju se jednostavnošću i niskom cijenom. Izrađuju se cjevastog, polukružnog i kružnog oblika u krutoj ili elastičnoj izvedbi. Elastične služe za prilagodbu staze konfiguraciji uređaja ili kad postoji usporedno gibanje dijela staze s uređajem. "Tračnice" kao poseban oblik transportne staze, služe za transport klizanjem cilindričnih i stožastih obradaka u pravcu njihove osi. Ove staze se također koriste za transport izradaka s tzv. vijencem, kao što su vijci, zakovice itd. Neke vrste izradaka moguće je transportirati tako da se ovjese o prikladni oblik staze. Postoje dvije osnovne izvedbe kliznih staza, s obzirom na smjer dostave: vodoravna i uspravna. Kretanje ugradbenih elemenata odvija se pod utjecajem gravitacijske sile. Ovakve staze se u pravilu izrađuju u kombinaciji s uređajima za odjeljivanje. Odjeljivači propuštaju točno određenu količinu ugradbenih elemenata u zadanom vremenskom taktu.[9]

Uspravna staza, u usporedbi s vodoravnom stazom, ima veću brzinu dodavanja jer na nju praktički ne utječe sila trenja koja se javlja kod vodoravnog klizanja ugradbenih elemenata. Vrijeme dostave će biti jednakog vremenu koje je potrebno da ugradbeni element padne s visine ekvivalentne njegovoj dužini.



Slika 4.3.4.1 Uspravna staza[10]

Vodoravna staza, kao što je prikazano na slici sastoji se od tri dijela: odsječak AB duljine L_1 , zakrivljeni odsječak BC radijusa R na koji se nastavlja dio staze pod kutom. Zbog ovog nastavka ove staze se još zovu i vodoravno-kose staze.



Slika 4.3.4.2. Idealizirana vodoravna staza[10]

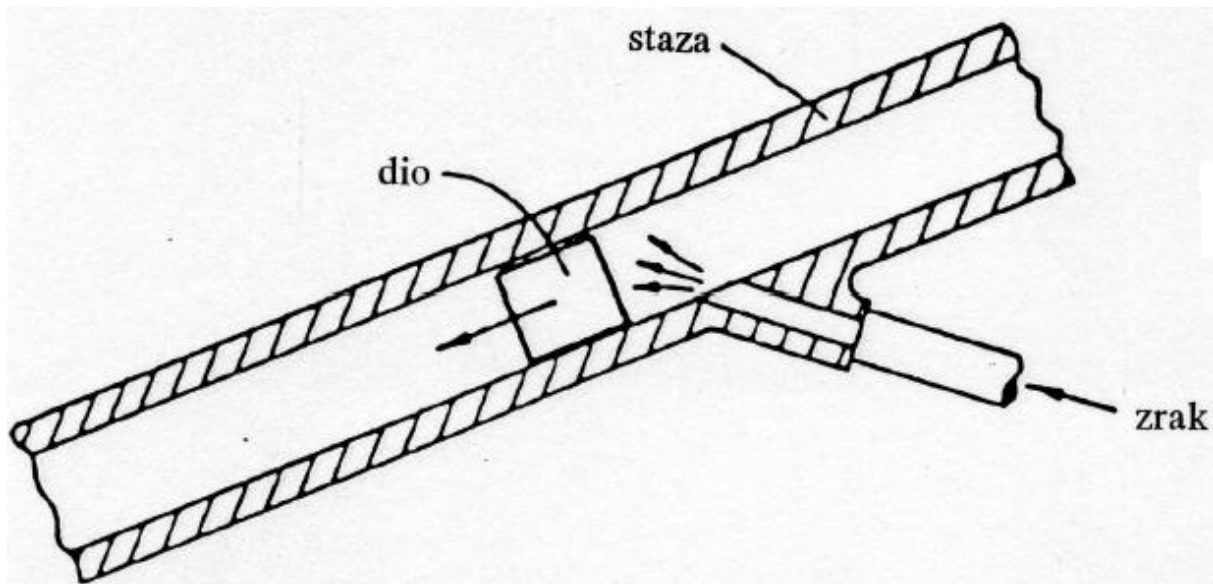
Dostavne staze s prignonom su posebni oblici prisilnog transporta koje se temelje na dva načela prijenosa pokreta:

- putem izravnog dodira izratka i pogonskog elementa
- preko oblika

Tri su osnovna oblika transporta – kontinuiran, isprekidan i varirajući.[9]

Vibracijska staza je poseban oblik dostavne staze s prignonom te je prikazana slici 4.3.4.3. gdje su obrađeni dodavači. Vibracije koje se proizvode mogu biti okomite i paralelne u odnosu na podlogu. Transport ugradbenih elemenata je u funkciji promjene vrijednosti koeficijenta trenja između staze i elemenata. Povećanjem koeficijenta trenja dolazi ujedno i do povećanja brzine kretanja izratka.

Pneumatska staza koristi stlačeni zrak za transport ugradbenih elemenata malih dimenzija i mase. Transport omogućuje zračno struja zraka koja proizvodi dinamički tlak u zatvorenoj stazi. Poželjno je da predmet rada bude konkavnog oblika i što pravilniji jer se time pojednostavnjuje izrada staze koja bi svojim oblikom trebala osigurati minimalnu propusnost zraka između stjenke i predmeta rada.

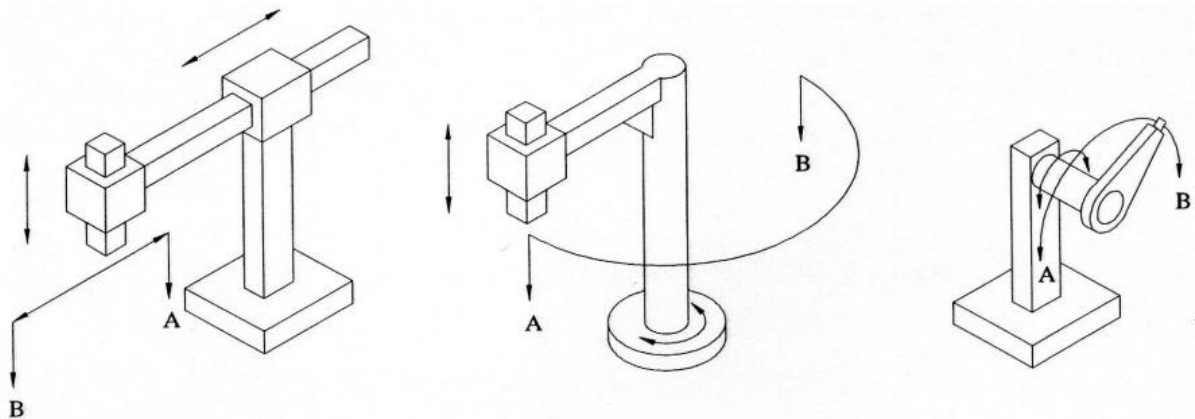


Slika 4.3.4.3. Pneumatska staza[10]

Osim navedenih vrsta dostavnih staza s prignonom, tu su još i magnetne trake, gurači, pogonjene valjkaste staze itd.

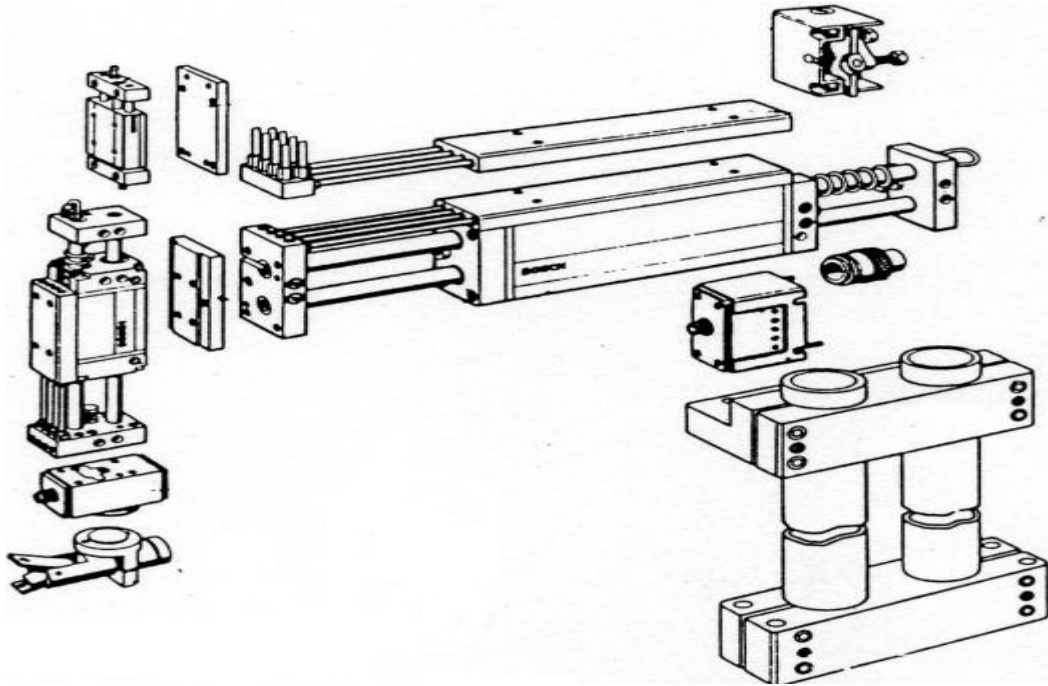
4.4.4. "UZMI-STAVI" MANIPULATORI

Manipulatori su uređaji s otvorenim kinematičkim lancem, pogonjeni pneumatskim, hidrauličkim ili električnim prigonima. "Uzmi-stavi" manipulatori su najčešće određeni s dva, tri ili četiri stupnja slobode. Ovi manipulatori se koriste kada je potrebno koristiti velike brzine i precizno postavljati ugradbene elemente (npr. elektroničke komponente). Manipulator započinje svoj rad hvatanjem predmeta s transportne staze, uz pomoć mehaničke, magnetske ili vakuumske hvataljke ovisno o karakteristikama predmeta rada i vrsti montažnog zadatka.[9]



Slika 4.4.4.1. Princip rada "uzmi-stavi" manipulatora[10]

S obzirom na strukturu manipulatori i zadatak koji izvode, moguće je ostvariti različite vrste gibanja predmeta rada. Na slici 4.4.4.1. prikazana su tri različita principa rada s obzirom na vrstu ugradbenih elemenata koji su u zahvatu. Prvi oblik gibanja se primjenjuje kada ugradbeni elementi imaju uske tolerancije dosjeda, drugi kad uskih tolerancija nema i kad je moguća greška prilikom pozicioniranja, a treći kad je put sastavljanja relativno malen. Put sastavljanja je putanja kojom ugradbeni element prolazi od početnog dodira s drugim elementom sve do trenutka zauzimanja konačnog položaja u sklopu. Postoje i brojne druge izvedbe "uzmi-stavi" manipulatora koje su rezultat kombiniranja raznih vrsta gibanja u različitim ravninama. Danas je najčešća modularna izvedba manipulatora čime se omogućava ostvarivanje različitih izvedbi jednostavnim preslagivanjem pokretnih elemenata.



Slika 4.4.4.2. Modularna izvedba "uzmi-stavi" manipulatora[10]

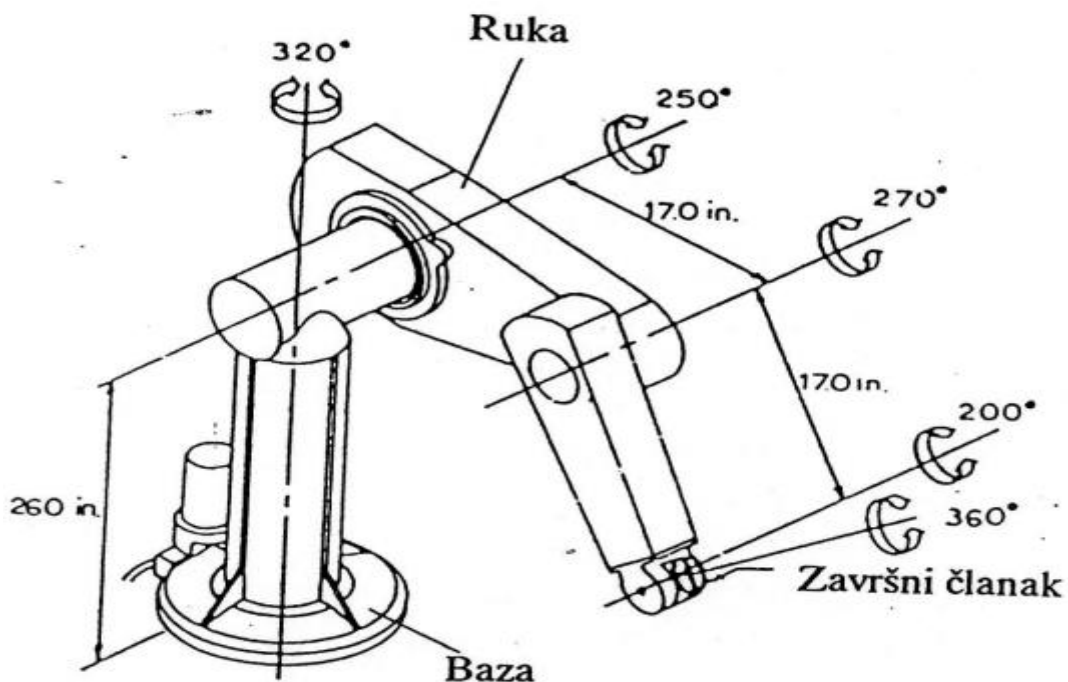
Upravljanje gibanjem manipulatora ostvaruje se pneumatskim i električnim digitalnim logičnim elementima, a sve češće i programibilnim logičkim sklopom (PLC). PLC je uređaj koji se sastoji od 3 osnovna dijela: središnji mikroprocesor, memorija i ulazno-izlazne jedinice. Princip rada temelji se na prikupljanju ulaznih logičkih signala, njihovoj obradi prilagođenoj upravljačkom programu i određivanju odgovarajućih logičkih signala.

Pozicioniranje hvataljke "uzmi-stavi" manipulatora u radnom prostoru određeno je kinematskom strukturom i načinom upravljanja. Vrlo važna karakteristika "uzmi-stavi" manipulatora je ta da mogu efikasno zamijeniti industrijske robote pri čemu zauzimaju znatno manje prostora, a cijena im je pet do deset puta niža. Ipak, zbog prilično jednostavnog upravljačkog i regulacijskog sustava, upravljanje hvataljkom je otežano pa samim time nije moguće ostvariti složeno umetanje ugradbenih elemenata u sklop. Kao što je rečeno, pogon manipulatora može biti električni, pneumatski i hidraulični. Hidraulični pogon se koristi za rad s velikim masama, kao npr. u ljevaonicama, posluživanju preša i CNC strojeva. Osim u navedenim slučajevima, hidraulični manipulatori se primjenjuju kao nužna alternativa električnim manipulatorima (u nuklearnim elektranama i podmornicama).

4.4.5. INDUSTRIJSKI ROBOTI

Industrijski robot je automatski upravljani, programibilni, višenamjenski manipulacijski stroj otvorenog kintematičkog lanca s više stupnjeva slobode. Osnovu industrijskog robota čini tzv. robotska ruka koja omogućava razne operacije rukovanja kao i brojne druge operacije. Za razliku od "uzmi-stavi" manipulatora, imaju mogućnost ostvarivanja najsluženijih putanja i postizanja točno željenih mjesta u radnom prostoru uz određenu točnost, brzinu i orijentaciju. Robot u osnovi sačinjavaju baza, ruke, završni zglobovi i izvršne članke koji mogu biti u obliku hvataljki, alata, zavarivačkog pištolja itd.[9]

Svaki industrijski robot ima minimalno tri stupnja slobode gibanja, a često se i dograđuju dodatni stupnjevi slobode završnog zgloba, kako bi se omogućila slobodna orijentacija završnih članaka u prostoru.

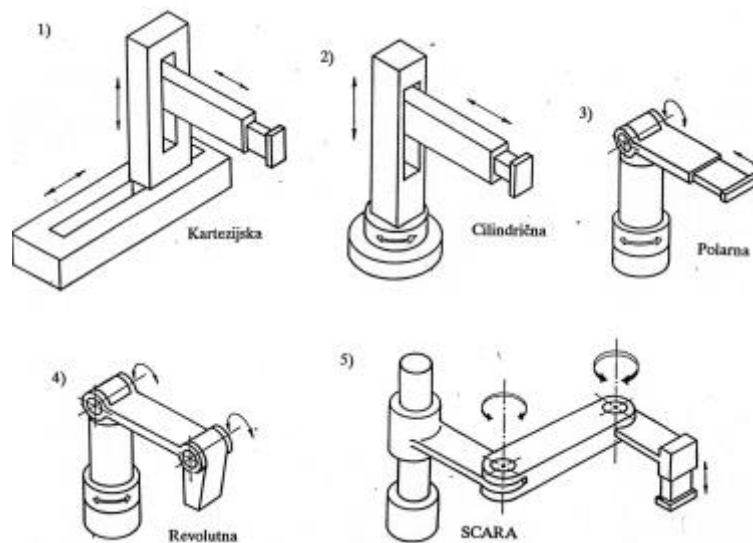


Slika 4.4.5.1. Osnovni elementi industrijskog robota (PUMA 500)[10]

Postoji pet osnovnih kinematskih struktura robota[9]: sferna, revolutna, cilindrična, kartezijska i SCARA. Što se tiče kinematike montažnih operacija najučestalije vrste gibanja se temelje na pravocrtном uspravnom i vodoravnom kretanju. Upravo iz tih zahtjeva proizlazi da kartezijski i SCARA roboti najbolje ispunjavaju te zahtjeve, ali su također najbolji po pitanju brzine, točnosti i krutosti mehaničke strukture. Robot cilindrične kinematske konfiguracije služi isključivo za okomita gibanja, s time da djeluje radijalno u prostoru od 360°. Ovim je omogućena dobra iskoristivost prostora u montažnom sustavu i posluživanje u

više smjerova. SCARA robot, strukturno najbliži ljudskoj ruci u vodoravnom položaju, uglavnom služi za montažne zadatke. Ističe se velikom preciznošću i brzinom sklapanja u uspravnom smjeru s četiri stupnja slobode gibanja i relativno niskom cijenom. Revolutni roboti se također koriste u montaži, iako nije toliko precizan kao ostali roboti. Dva su osnovna razloga zašto se koristi:

1. Može oponašati ljudske pokrete ruke te u slučaju automatizacije postojećeg montažnog sustava ne zahtjeva značajne promjene sklapanja u odnosu na ručnu montažu.
2. Radni prostor je obuhvatniji u usporedbi s ostalim strukturama.

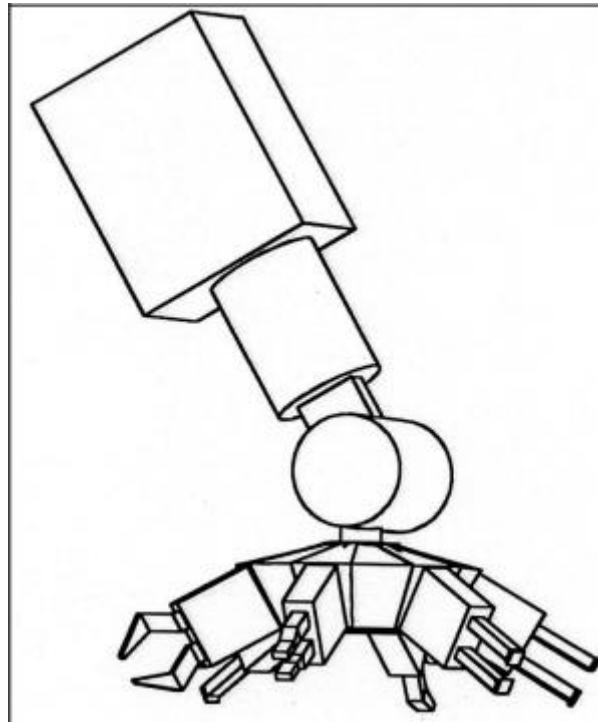


Slika 4.4.5.2. Kinematske strukture industrijskih robota[10]

Današnji industrijski roboti uglavnom su prigonjeni elektromotorima od kojih se najčešće koriste dvije vrste - istosmjerni i koračni elektromotori. Istosmjerni motori imaju povratnu regulaciju motora. Rad im je kontinuiran i bez buke. Koračni elektromotori pretvaraju diskretne električne signale u kutne pomake. Ovakvim motorima se jednostavno upravlja putem digitalnih računala. Nedostatak ovih motora je pojava vibracija i mogućnost pogreške u slučaju nepredviđenog opterećenja. Hidraulički prigoni se koriste za velike terete i znatno su skuplji u odnosu na električne. Koriste se za rad u zapaljivoj atmosferi. Pneumatski prigoni rijetko se koriste zbog stlačivosti zraka, što uzrokuje probleme poteškoće pri upravljanja kod velikih ubrzanja.

Izvršni članak je alat koji se nalazi na kraju robotske ruke s ciljem obavljanja različitih zadataka: hvatanja, vijčanja, ličenja, zavarivanja itd. U montaži se najčešće koristi za operacije hvatanja koje čovjek obično izvršava prstima. Uglavnom su načinjeni od dva,

rijetko tri "prsta" strukturiranih prema geometrijskim karakteristikama predmeta rada. Njihova fleksibilnost je znatno ograničena, posebice dimenzijama i oblikom predmeta rada čime je ograničena i fleksibilnost samog robota. Kako bi se poboljšala fleksibilnost, razvijeni su sustavi za automatsku izmjenu alata i izvršni članci s više alata.[9]



Slika 4.4.5.3. Izvršni članci s više alata

Prema vrsti hvatanja, robotski alati se dijele u sljedeće skupine: mehaničke, vakuumske, elektromagnetske i ljepljive hvataljke.

Upravljanje robotom se vrši putem upravljačkog računala. Upravljačko računalo opremljeno je digitalno-analognim i analogno-digitalnim pretvaračima za kontinuirano i sinkrono upravljanje i regulaciju rada robotskih prigona.

Način programiranja robota ponajviše ovisi o njegovoj programskoj podršci. Suvremeni robotski upravljači temelje se na nekoj od tri metode programiranja[9]:

1. Učenje putem upravljačkog privjeska
2. Snimanje pokreta
3. Nezavisno programiranje

Učenje putem upravljačkog privjeska se odvija tako da operater upravljačkim tipkama na privjesku vodi robotsku ruku unutar radnog prostora. Ova metoda je jednostavna i ne zahtjeva

nikakvo poznavanje računalnog programiranja. Nedostaci su otežano pozicioniranje i orijentiranje ruke jer se temelji na vizualnoj procjeni te opasnost od ozljede operatera.



Slika 4.4.5.4. Upravljački privjesak

Snimanje pokreta temelji se na vođenju robotske ruke po određenoj putanji dok upravljački sustav u unaprijed dogovorenim intervalima pohranjuje koordinate zglobova. Ova metoda se primjenjuje kod složenih gibanja koja ne zahtijevaju visoku preciznost.

Nezavisno programiranje predstavlja oblik računalne simulacije robotske kinematike te omogućava programiranje na računalo koje nije povezano s robotom čime se ne ometa rad robota u proizvodnji. Programski jezici koji se koriste su veoma slični klasičnim programskim jezicima, uz dodatak naredbi za kretanje (*MOVE*, *OPEN*, *CLOSE* itd.). Ovi jezici omogućuju programiranje iznimno složenih putanja i numeričko pozicioniranje. Rezultati programiranja se testiraju uz pomoć grafičkih simulacije pa se tako otklanjaju pogreške prije rada samog robota, čime se izbjegavaju oštećenja robota ili okolnih naprava. Sve se češće pojavljuju oblici nezavisnog programiranja koji se zasnivaju na CAD/CAM sustavima i grafičkoj animaciji. Ovime se odstranjuje potreba za programiranjem u nekom od upravljačkih jezika. Proces montaže se simulira u trodimenzionalnom prostoru, a odgovarajući program memorira gibanja te ih prevodi u kod upravljačke jedinice manipulatora.

I na kraju ovog poglavlja će se navesti i ukratko objasniti kriteriji koji se koriste za izbor manipulatora i robota u montaži.

Kod izbora se primjenjuju sljedeći kriteriji[9]:

- broj stupnjeva slobode gibanja;
- oblik i veličina radnog prostora;
- preciznost;
- kapacitet rukovanja;
- brzina i ubrzanje;
- krutost;
- metoda programiranja

Broj stupnjeva slobode gibanja određuje mogućnost pokretanja manipulativnih članaka. Najčešće su potrebna tri stupnja slobode. Povećanje stupnjeva slobode dobije se veća fleksibilnost, ali i veća cijena opreme.

Oblik i veličina radnog prostora definiraju se iz radnih točaka i zahtijevane orijentacije ugradbenih elemenata, odnosno izvršnog članka.

Preciznost se može gledati na dva načina:

- apsolutna preciznost – preciznost pozicioniranja izvršnog članka u zadanoj točki
- ponovljivost – mogućnost manipulatora da ponavljajući vrši pozicioniranje

Ponovljivost nije toliko važan kriterij ako ugradbeni elementi i naprave imaju vodljive površine ili hvataljka posjeduje određeni stupanj elastičnosti i prilagodljivosti.

Kapacitet rukovanja predstavlja masu kojom je potrebno rukovati tijekom procesa montaže.

Brzina rukovanja je brzina izvršnog članka, postignuta pod punim opterećenjem. Važniji kriterij je ubrzanje izvršnog članka jer se maksimalna brzina rukovanja rijetko postiže zbog učestalih kratkih kretnji.

Krutost manipulatora predstavlja veličinu otklona izvršnog članka od zadane pozicije i orijentacije uslijed djelovanja sile i momenata.

5. KOLABORATIVNI ROBOTI

Kolaborativni robot je oblik robota posebno dizajniran za izravnu interakciju s ljudima unutar unaprijed definiranog zajedničkog radnog prostora. Oni omogućuju istovremeni rad čovjeka i robota bez opasnosti da dođe do ozljeđivanja čovjeka. Roboti se odlikuju jednostavnim i ponavljajućim operacijama rukovanja. S druge strane, ljudi posjeduju mentalne sposobnosti koje omogućuju razumijevanje i prilagodbu promjenama u zadacima. Upravo zbog ovih razloga, kombinacija ljudi i robota može značajno poboljšati performanse sve dok je rad optimalno raspoređen. Suradnja robot-čovjek omogućuje različite stupnjeve automatizacije i ljudske intervencije. Operacije mogu biti djelomično automatizirane ako potpuno automatizirano rješenje nije ekonomično ili je previše složeno.

Prema međunarodnim standardima ISO 10218 postoje četiri vrste kolaborativnih značajki robota:

- sigurnosno zaustavljanje praćenjem stanja
- ručno vođenje
- nadgledanje brzine i odvajanja
- ograničenje snage i sile

Sigurnosno zaustavljanje koristi se kad robot uglavnom radi samostalno, ali uz povremenu intervenciju čovjeka u radnom prostoru. Na primjer, kada se određena operacija na izratku mora izvesti u radnom prostoru robota. Robot manipulira teškim dijelom dok čovjek obavlja sekundarne operacije u prostoru robota. Ako čovjek uđe u "zabranjenu zonu", robot će se momentalno zaustaviti i prekinuti svoj rad.

Ručno vođenje je aplikacija koristi za rukovođenje ili preciznije pamćenje putanje. Ova značajka se koristi za brzo memoriranje puta koji robot mora prijeći kroz određenu operaciju.



Slika 5.1. Ručno vođenje robotske ruke[11]

Kod treće značajke okruženje robota prate laseri ili vidni sustavi koji prate poziciju radnika. Robot će djelovati prema funkcijama sigurnosne zone koje su već dizajnirane za njega. Ako se čovjek nađe unutar određene sigurnosne zone, robot će odgovoriti odgovarajućim brzinama te će se zaustaviti kad mu se radnik previše približi.

Kolaborativni roboti se često susreću s velikim silama tijekom operacija. Zapravo, ovakav robot je programiran da se zaustavi kad osjeti preopterećenje nekom silom. Ovi roboti su također dizajnirani za raspršivanje sile na cijelu površinu, u slučaju nekog udarca, što je ujedno i razlog što su roboti zaobljeni. Također, njihovi motori nisu izloženi vanjskim utjecajima. Mnogo kolaborativnih robota posjeduje certifikate koji se fokusiraju na sigurnost prilikom kooperacije čovjek-robot.

Najpoznatije marke kolaborativnih robota su Rethink Robotics 'Baxter', ABB's YuMi te Universal Robots koji su dizajnirani da rade zajedno s ljudima bez ikakve opasnosti. Međutim, ipak postoje inačice robota koje se nalaze u kavezu, u slučajevima da se koriste opasni alati kao što su oštri noževi. Roboti čija je glavna zadaća prijenos teškog tereta također moraju biti u kavezima. Moderni senzori omogućuju da kavez bude znatno manji čime se širi radni prostor te omogućava radnicima da budu bliže robotima.

Postoje dva temeljna pristupa za sigurnost robota. Prvi pristup, razvijen od strane Rethinka i Universal, temelji se na potpunoj sigurnosti robota. Ako dođe do kontakta robota i čovjeka, robot automatski prestaje s radom pri čemu radnik bude nježno odguran. Ovaj pristup ograničava maksimalnu težinu kojom robot može manipulirati kao i brzinu kojom se može kretati. Robot koji prenosi dio težine 23 kg pri maksimalnoj brzini ozlijedit će radnika bez obzira koliko brzo se može robot zaustaviti prije dodira s čovjekom. Drugi pristup temelji se na sensorima koji omogućuju rad s teškim predmetima i pri većim brzinama. U početku su se koristile fizičke barijere, kao što su kavezi ili prozirne zavjese kako bi se spriječio izravni kontakt čovjeka i robota. Moderni senzori, osim što ukazuju na prisutnost ljudi, imaju sposobnost definiranja njihove lokacije. Ovime se omogućuje postepeno usporavanje robota, izbjegavanje kontakta s ljudima te obustava rada u slučaju da je sigurnost ugrožena. Kada se radnik udalji iz radnog prostora, robot automatski nastavlja s radom.

Najvažniji dio robota u pogledu sigurnosti je takozvana robotska ruka. Ako operater stavlja dijelove direktno u robotsku ruku, ruka treba biti dizajnirana na način da ne može ozlijediti operatera.

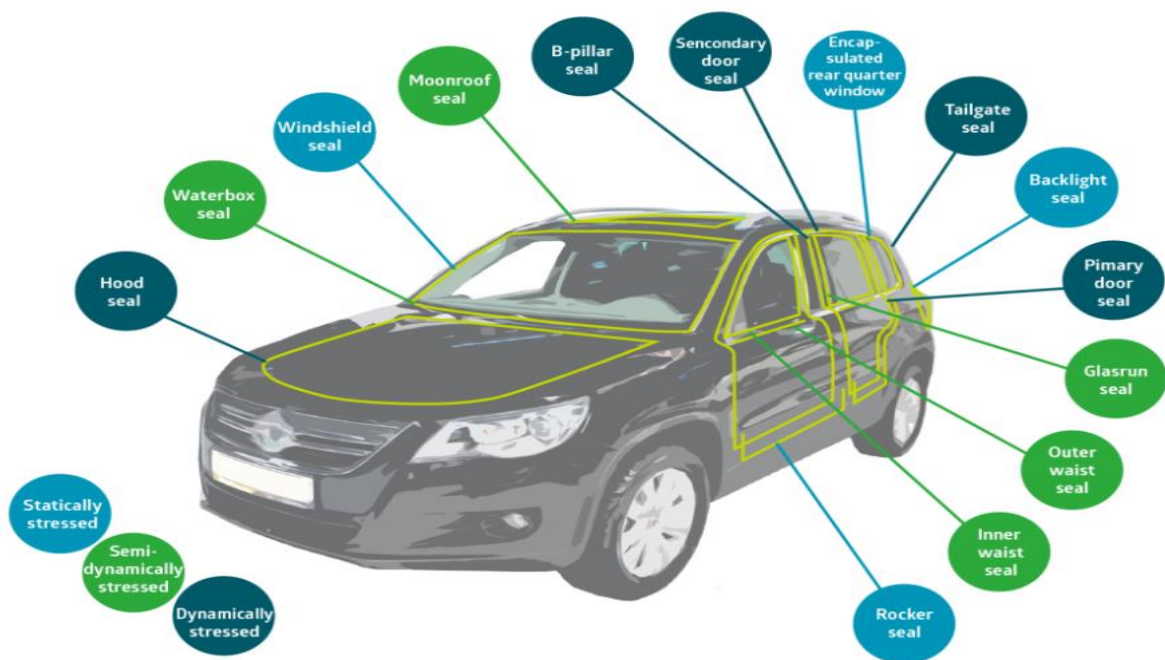


Slika 5.2. Universal kolaborativni robot [12]

6. AUTOMATIZACIJA PROIZVODNOG SUSTAVA NA PRIMJERU IZ PRAKSE

U sklopu praktičnog dijela diplomskog rada imao sam zadatak provesti automatizaciju operacije štancanja uz pomoć kolaborativnog robota u tvrtki Fornix. Ideja provesti analizu uvođenja robota u proizvodni sustav gdje bi trebalo odrediti koje aktivnosti radi čovjek, a koje robot.

Tvrtka Fornix je vodeća tvrtka u proizvodnji brtvi za automobile na ovim prostorima. Osnovni koncept na kojem se temelji sama tvrtka se naziva "Simplify". Pojednostavljenost omogućuje fleksibilnost i brzinu proizvodnje i isporuke, uz istovremeno održavanje konkurentnosti i moderan pristup u radu kako unutar firme, tako i prema kupcima. Fornix proizvodi raznolik asortiman proizvoda, kao što su: unutarnji strugač stakla, vanjski strugač stakla, statičke brtve, dinamičke brtve, dekorativni profili itd. Zajednička stavka svih ovih proizvoda jest materijal od kojeg su napravljene – TPE ili termoplastični elastomer. TPE je materijal budućnosti, te u usporedbi s drugim materijalima za brtve nudi mnoge prednosti: značajno smanjenje troškova, smanjenje ukupne težine automobila te viši estetski ugođaj. Tehnološki proces obuhvaća ekstruziju jednostavnih TPE profila uz naknadno štancanje sa svrhom postizanja željenog oblika brtve.[13]



Slika 6.1. Asortiman tvrtke Fornix[13]

Ručne operacije štancanja brtvi prozorskih automobila iziskuju veliki udio ljudskog rada, a samim time i veću vjerojatnost za pojavu zastoja. Naime, radnik mora izuzeti brtvu iz spremnika, postaviti je na štancu, te je nakon operacije štancanja preuzeti i izvršiti vizualnu kontrolu. Glavni problem ovakvog načina rada je veliki udio pripremno-završnih vremena čime je znatno smanjena produktivnost same operacije zbog čega dolazi do poteškoća s ispunjavanjem rokova. Upravo iz tog razloga, potrebno je provesti automatizaciju operacije štancanja uz pomoć kolaborativnog robota. Kao sredstvo automatizacije koristio se Universalov robot s upravljačkim privjeskom za manipulaciju s njim. Putanja kojom je robot prolazio određena je uz pomoć posebnih alata unutar privjeska te uz pomoć ručnog vođenja koje je opisano u prethodnom poglavlju. Prilikom programiranja putanje potrebno je obratiti pozornost na moguće prepreke u okolini robota, budući da dolazi automatskog zaustavljanja u slučaju minimalnog kontakta s bilo kojim predmetom. Automatizacijom štancanja kolaborativni robot preuzima gotovo cijeli posao, dok je uloga čovjeka svedena isključivo na vizualnu kontrolu.



Slika 6.3. Universalov robot korišten za operaciju štancanja

Proces automatskog štancanja započinje izuzimanjem brtve iz ulaznog spremnika. Zatim brtva već programiranom putanjom dolazi neposredno kraj štanice. Valja napomenuti da izvršni članci robotske ruke čvrsto drže brtvu te nema mogućnosti njenog ispadanja. Nakon toga članci se šire te otpuštaju brtvu točno na držače na alatu. Robotska ruka se odmiče kako ne bi došlo do problema s procesom štancanja. Po završetku rada štanice, robot uzima brtvu te je stavlja u izlazni spremnik gdje radnik vrši vizualnu kontrolu. Proces se kontinuirano ponavlja sve dok radnik ne isključi robota.

Vrlo važan pokazatelj uspješnosti implementacije robota u proizvodni sustav jest povrat ulaganja (ROI). Povrat ulaganja je pokazatelj rentabilnosti odnosno profitabilnosti uloženog kapitala. Koristi se za procjenu učinkovitosti ulaganja ili usporedbu učinkovitosti niza različitih ulaganja. ROI mjeri iznos povrata ulaganja, u odnosu na trošak ulaganja. Dobiva se tako da se u brojnik postavi neka od veličina koji prikazuju povrat i podijeli s vrijednošću ukupnog kapitala te se pomnoži sa 100. Rezultat se izražava isključivo kao postotak.

Pretpostavka je da će automatizacijom procesa štancanja tjedna proizvodnja brtvi iznositi oko 40 000 komada tjedno. Prosječna cijena jedne brtve iznosi 0.8 €. Cijena Universalove robotske ruke je 27 000 €. Osim cijene robota, u ukupni trošak ulaganja ulazi i trošak proizvodnje brtve koji prosječno iznosi 0.3 € po brtvi. U proračunu će biti prikazan godišnji izračun ROI-a, tako da će se kao prihod od prodaje prikazati godišnji broj prodanih brtvi pomnožen sa njihovom prosječnom cijenom, pri čemu će se uzeti u obzir da mjesec ima 4 tjedna.

$$\text{Ukupni prihod} = 4 * 12 * 40000 * 0.8 \text{ €} = 1\,536\,000 \text{ €}$$

$$\text{Cijena robota} = 27\,000 \text{ €}$$

$$\text{Trošak proizvodnje} = 4 * 12 * 40000 * 0.3 \text{ €} = 576\,000 \text{ €}$$

$$\text{Ukupni trošak} = 27000 + 576\,000 = 603\,000 \text{ €}$$

$$\text{ROI} = \frac{\text{Ukupni prihod} - \text{Ukupni trošak}}{\text{Ukupni trošak}}$$

$$\text{ROI} = \frac{1\,536\,000 - 603\,000}{603\,000} = 1.54 = 154\%$$

Valja napomenuti kako ova analiza nije potpuno točna jer u izračun nisu uzete uštede koje bi imali smanjivanjem broja radnika, kao i amortizacija sredstava. Također, u obzir nije uzeta cijena ulaznih i izlaznih spremnika koji dolaze zajedno s robotom.

Ukoliko bi se prihod od prodaje brtvi jednoliko rasporedio prema svakom mjesecu može se izračunati točno vrijeme povrata ulaganja.

$$\text{Mjesečni prihod} = 4 \cdot 40000 \cdot 0.8 \text{ €} = 128\ 000 \text{ €}$$

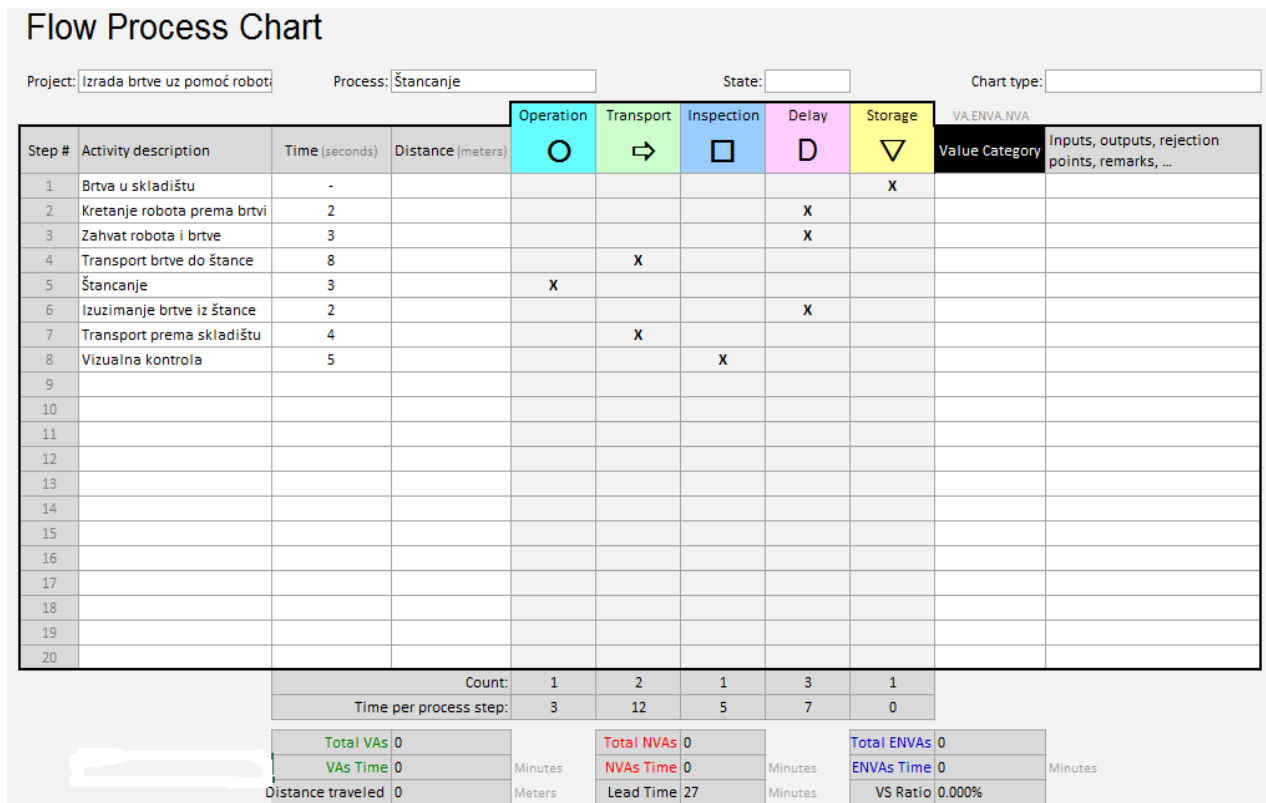
$$\text{Ukupni trošak} = 603\ 000 \text{ €}$$

$$\text{Vrijeme povrata} = \frac{\text{Ukupni trošak}}{\text{Mjesečni prihod}}$$

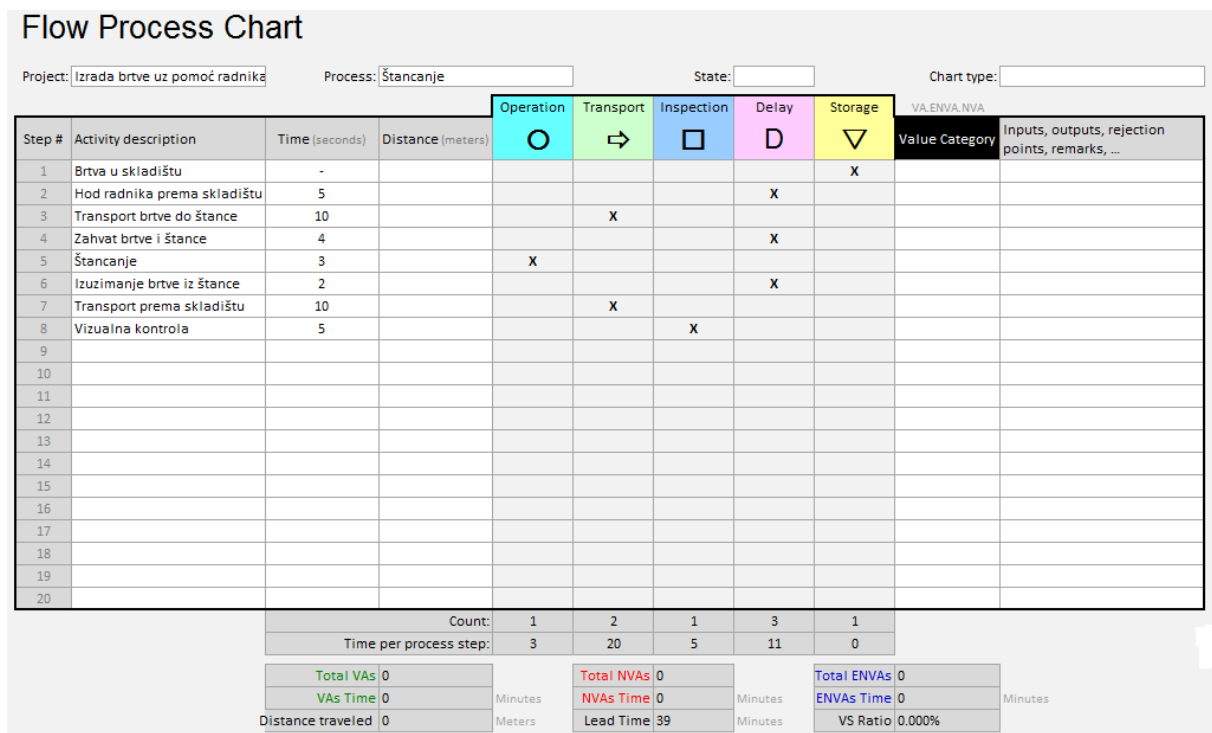
$$\text{Vrijeme povrata} = \frac{603\ 000 \text{ €}}{128\ 000 \frac{\text{€}}{\text{mj}}} \approx 5 \text{ mjeseci}$$

Iz izračuna je vidljivo da će se investicija uvođenja robota u proizvodni sustava isplatiti već nakon 5 mjeseci, te će nakon tog razdoblja prodaja donositi profit.

Redoslijed događaja je obrazac koji detaljno prikazuje popis svih osnovnih događaja tijekom realizacije proizvodnog procesa nekog obratka. U osnovne događaje su uključeni: operacija, kontrola, transport, zastoj i skladištenje. Operacije predstavljaju aktivnosti kojima dolazi do promjene fizikalnih i/ili kemijskih svojstava materijala. Kontrola ispituje ispravnost kvalitete ili količine. Transport čini premještanje predmeta s jednog na drugo mjesto, osim ako to premještanje nije dio radnog postupka ili ako ga radnik izvodi tijekom operacije. Zastoji su specifične radnje kod kojih okolnosti ne dopuštaju da se proizvodni proces izvede u skladu s izvedbenim planom. Kod operacije skladištenja predmet se nalazi u skladištu da bi se zaštitio od nedopuštenog transporta.



Slika 6.4. Redoslijed događaja izrade brtve uz pomoć robota

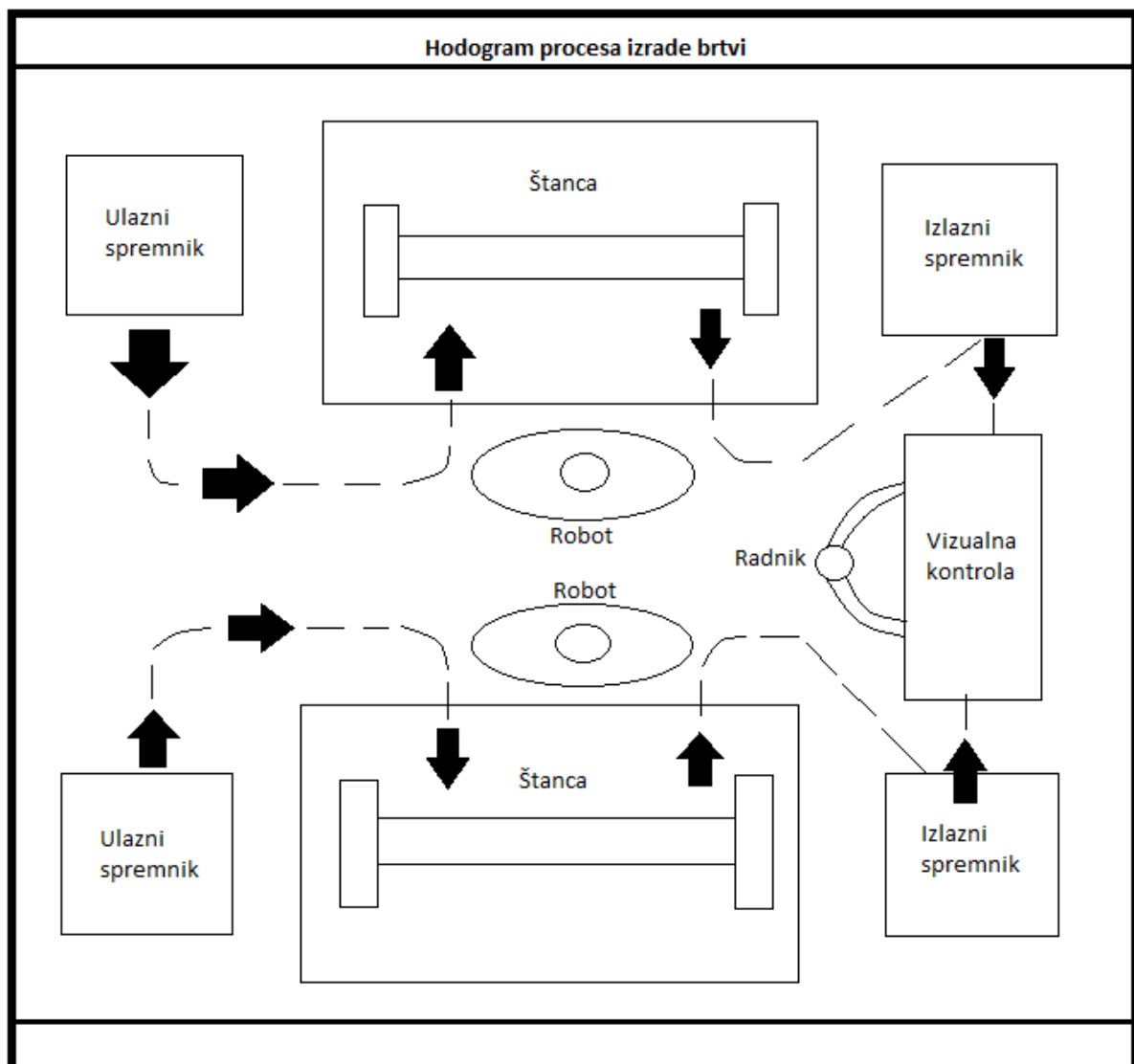


Slika 6.5. Redoslijed događaja izrade brtve uz pomoć radnika

Iz obrasca redoslijeda događaja za proizvodni proces izrade brtve vidljivo je da je veliki udio transporta i zastoja što bi bilo poželjno reducirati jer oni ne doprinose povećanju vrijednosti

proizvoda. Kao rješenje problema nameće se povećanje brzine rada robota te skraćenje putanje kojom robot ide. Usporedbom neautomatiziranog i automatiziranog procesa štancanja vidljivo je da se uvođenjem robota u proizvodni sustav uštedi 12 sekundi po proizvodnom procesu. Razlika bi bila još i veća da je robot radi pri maksimalnim brzinama, međutim zbog sigurnosti okoline to nije poželjno.

Hodogram je obrazac koji u prikladnom mjerilu prikazuje tlocrt radionice s rasporedom radnih mjesta i strojeva, te transportnim putevima obratka između radnih mjesta. Strelicama je prikazana putanja kojom brtva prolazi kroz proizvodni proces. Iz ovog hodograma je vidljivo da će jedan čovjek posluživati najmanje dva stroja istovremeno.



Slika 6.6. Hodogram proizvodnog procesa štancanja

7. ZAKLJUČAK

Napretkom tehnologije i povećanjem zahtjeva kupaca moralo se naći tehničko rješenje koje će održati konkurentnost poduzeća na tržištu. Upravo se kao idealno rješenje ovog problema iskazalo uvođenje robota u proizvode sustave. Razvoj industrijskih robota započeo je već u 19.stoljeću, a prvu pravu implementaciju robota u proizvodnji je izvršena u Fordovoj tvornici gdje se alatna traka koristila za unaprjeđenje produktivnosti. S vremenom su industrijski roboti postali neizostavni dio svakog postrojenja. Osnovne prednosti koje donose su: skraćanje ciklusa proizvodnje, povećanje produktivnosti, viša kvaliteta proizvoda, sigurnost zaposlenika, rasterećivanje radnika itd. Unatoč brojnim prednostima koje roboti daju proizvodnim sustavima, ipak postoje i određeni nedostaci. Ponajprije se tu misli na probleme s fleksibilnošću koje roboti imaju. Naime, ljudi će uvijek biti fleksibilniji od robota te određene smetnje koje se pojave u sustavima neće utjecati na radnik, dok će se roboti automatski zaustaviti. Također, roboti iziskuju visoke financijske izdatke pa stoga treba provesti duboku analizu o isplativosti uvođenja robota u proizvodni sustava.

Poseban oblik robota, koji se najčešće koristi u proizvodnim sustavima jest kolaborativni robot. Ta vrsta robota omogućuje izravnu interakciju radnik-robot te se odlikuje iznimnom efikasnošću. Ovime su objedinjene fleksibilnost čovjeka i brzina robota što je dalo iznimne rezultate. Upravo se na primjeru tvrtke Fornix može vidjeti koliko kolaborativni robot doprinosi skraćanju ciklusa proizvodnje te povećanju produktivnosti.

Na kraju se može reći da roboti uvelike doprinose razvoju proizvodnih sustava te se danas nijedan efikasan sustav ne može zamisliti bez robota. Ipak, koliko god roboti bili korisni, prisutnost čovjeka je nužna. Stoga, nužno je odrediti optimalnu razinu interakcije radnika i robota koja će donijeti najbolje rezultate.

8. LITERATURA

- [1] Reese, M.R.(2014): *The steam-powered pigeon of Archytas – the flying machine of antiquity*
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot , 15.3.2018
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Digesting_Duck, 15.3.2018.
- [4] Gray, Edwyn (2004). *Nineteenth Century Torpedoes and Their Inventors*. Naval Institute Press.
- [5] Dabro, Ante. *Prilagodba robota za glodaći ispitni postav*, Diplomski rad, Zagreb, 2016.
- [6] Ion, Christopher (2017): *A brief history of robotics*
- [7] <http://web.studenti.math.pmf.unizg.hr/~kmaruna/odabranetemeracunarstva/rani%20pocetci.html>, 15.4.2018.
- [8] Predavanja iz kolegija *Projektiranje proizvodnih sustava*, FSB, Dr.sc. Zoran Kunica
- [9] Jerbić B., Nikolić G., Vranješ B., Kunica Z., *Projektiranje automatskih montažnih sustava*, Zagreb, 2009.
- [10] Predavanja iz kolegija *Automati za montažu*, FSB, Dr.sc. Zoran Kunica
- [11] Bélanger-Barrette M.(2015.), *What does collaborative robot mean?*, RobotIQ
- [12] <http://www.teradyne.com/products/collaborative-robots>, 1.6.2018
- [13] <http://www.fornix.com.hr/hr/tvrtka/>, 15.6.2018.

Sažetak:

Tema ovog diplomskog rada je analiza primjene robota u proizvodnim sustavima. Kroz teoretski i praktični dio rada cilj je prikazati razvoj automatizacije kroz povijest, mogućnost automatizacije dijelova u proizvodnim sustavima, kao i način na koji kolaborativni robot doprinosi unapređenju proizvodnog sustava na konkretnom primjeru iz prakse.

U uvodnom dijelu opisat će se razlozi zbog kojih se pristupa automatizaciji. U sljedećem poglavlju će biti prikazan razvoj robota i robotike kroz povijest. Treće poglavlje donosi prikaz proizvodni sustava kao i temeljnih smjernica projektiranja takvih sustava. U četvrtom poglavlju su navedeni svi dijelovi proizvodnih sustava koji su pogodni za automatizaciju. Peto poglavlje, koje služi kao uvod u šesto poglavlje pobliže opisuje kolaborativne robote te način njihova funkcioniranja. U šestom poglavlju se vrši analiza uvođenja robota na primjeru iz prakse, gdje se opisuje automatizacija proizvodnog procesa štancanja uz pomoć Univeraslovog kolaborativnog robota. I na kraju dolazi zaključak koji predstavlja sintezu svih prethodnih poglavlja.

Ključne riječi: automatizacija, proizvodni sustav, kolaborativni robot.

Robot application analysis in production systems

Summary:

The theme of this graduate work is the analysis of robotic applications in production systems. Through the theoretical and practical part of the work, the main goal is to present the development of automation through history, the possibility of automating parts in production systems, and the way the collaborative robot contributes to the improvement of the production system on a concrete example of practice.

The introduction part will describe the reasons why automation is being accessed. The next chapter will show the development of robots and robotics throughout history. The third chapter presents the production system as well as the basic design guidelines for such systems. The fourth chapter lists all parts of the production systems that are suitable for automation. The fifth chapter, which serves as an introduction to chapter six, details the collaborative robots and principles of their work. Chapter Six examines the implementation of robots in the practice example, which describes the automation of the production process by means of the help of the Universal Collaborative Robot. Finally, comes the conclusion that represents the synthesis of all previous chapters.

Key words: automation, production system, collaborative robot.