



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Dragana Oros

Određivanje parametara korelacije izbora aktuatora i vremena
ciklusa proizvodnje

Doktorska disertacija



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ● ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

| | |
|---|--|
| Редни број, РБР: | |
| Идентификациони број, ИБР: | |
| Тип документације, ТД: | Монографска публикација |
| Тип записа, ТЗ: | Текстуални штампани материјал |
| Врста рада, ВР: | Докторска дисертација |
| Аутор, АУ: | Драгана Орос |
| Ментор, МН: | Проф. др Стеван Станковски |
| Наслов рада, НР: | Одређивање параметара корелације избора актуатора и времена циклуса производње |
| Језик публикације, ЈП: | Српски |
| Језик извода, ЈИ: | Српски |
| Земља публикавања, ЗП: | Република Србија |
| Уже географско подручје, УГП: | Војводина |
| Година, ГО: | 2014 |
| Издавач, ИЗ: | Ауторски репринт |
| Место и адреса, МА: | Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад |
| Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/ прилога) | 6/169/60/0/122/0/0 |
| Научна област, НО: | Мехатроника |
| Научна дисциплина, НД: | Мехатроника |
| Предметна одредница/Кључне речи, ПО: | Актуатор, време циклуса производње |
| УДК | |
| Чува се, ЧУ: | Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду |
| Важна напомена, ВН: | |
| Извод, ИЗ: | Истраживања у оквиру ове дисертације су усмерена ка одређивању параметара корелације избора актуатора и времена циклуса производње. Добијени параметри се користе као улазни елементи методе која ће бити имплементирана у софтверски пакет. Верификација предложене методе је извршена на студијама случајева: ИМЛ робота и манипулатора за машину за термоформирање, које представљају одговарајуће примере уређаја у које се уграђују сви типови актуатора. |
| Датум прихватања теме, ДП: | 29.5.2014. |
| Датум одбране, ДО: | |
| Чланови комисије, КО: | Председник: Др Илија Ћосић, редовни професор |
| | Члан: Др Љубомир Миладиновић, редовни професор |
| | Члан: Др Слободан Дудић, доцент |
| | Члан: Др Гордана Остојић, ванредни професор |
| | Члан, ментор: Др Стеван Станковски, редовни професор |
| | Потпис ментора |



KEY WORDS DOCUMENTATION

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------|------------------------|----------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------|---------|----------------------------|-----------------|------------------------------|
| Accession number, ANO: | | | | | | | | | | | | |
| Identification number, INO: | | | | | | | | | | | | |
| Document type, DT: | Monographic publication | | | | | | | | | | | |
| Type of record, TR: | Textual printed material | | | | | | | | | | | |
| Contents code, CC: | PhD thesis | | | | | | | | | | | |
| Author, AU: | Dragana Oros | | | | | | | | | | | |
| Mentor, MN: | Prof. Stevan Stankovski, PhD | | | | | | | | | | | |
| Title, TI: | Determining the parameters of correlation election of actuator and production cycle time | | | | | | | | | | | |
| Language of text, LT: | Serbian | | | | | | | | | | | |
| Language of abstract, LA: | Serbian | | | | | | | | | | | |
| Country of publication, CP: | Republic of Serbia | | | | | | | | | | | |
| Locality of publication, LP: | Vojvodina | | | | | | | | | | | |
| Publication year, PY: | 2014 | | | | | | | | | | | |
| Publisher, PB: | Author's reprint | | | | | | | | | | | |
| Publication place, PP: | Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad | | | | | | | | | | | |
| Physical description, PD: (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes) | 6/169/60/0/122/0/0 | | | | | | | | | | | |
| Scientific field, SF: | Mechatronics | | | | | | | | | | | |
| Scientific discipline, SD: | Mechatronics | | | | | | | | | | | |
| Subject/Key words, S/KW: | Actuator, production cycle time | | | | | | | | | | | |
| UC | | | | | | | | | | | | |
| Holding data, HD: | The Library of Faculty of technical sciences, Novi Sad, Serbia | | | | | | | | | | | |
| Note, N: | | | | | | | | | | | | |
| Abstract, AB: | Research within this thesis are focused on determining the parameters of correlation election of an actuator and a production cycle time. The resulting parameters are used for the development of appropriate methods that will be implemented in the software package. Verification of the proposed method is performed on case studies: IML robots and manipulators for thermoforming machine, which are appropriate examples of devices that incorporate all types of actuators. | | | | | | | | | | | |
| Accepted by the Scientific Board on, ASB: | 29.5.2014. | | | | | | | | | | | |
| Defended on, DE: | | | | | | | | | | | | |
| Defended Board, DB: | <table border="1"> <tr> <td>President:</td> <td>Prof. Ilija Čosić, PhD</td> <td rowspan="5" style="vertical-align: middle; text-align: center;">Menthor's sign</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Prof. Ljubomir Miladinović, PhD</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Prof. Slobodan Dudić, PhD</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Prof. Gordana Ostojić, PhD</td> </tr> <tr> <td>Member, Mentor:</td> <td>Prof. Stevan Stankovski, PhD</td> </tr> </table> | President: | Prof. Ilija Čosić, PhD | Menthor's sign | Member: | Prof. Ljubomir Miladinović, PhD | Member: | Prof. Slobodan Dudić, PhD | Member: | Prof. Gordana Ostojić, PhD | Member, Mentor: | Prof. Stevan Stankovski, PhD |
| President: | Prof. Ilija Čosić, PhD | Menthor's sign | | | | | | | | | | |
| Member: | Prof. Ljubomir Miladinović, PhD | | | | | | | | | | | |
| Member: | Prof. Slobodan Dudić, PhD | | | | | | | | | | | |
| Member: | Prof. Gordana Ostojić, PhD | | | | | | | | | | | |
| Member, Mentor: | Prof. Stevan Stankovski, PhD | | | | | | | | | | | |

SADRŽAJ:

| | |
|--|----|
| 1 UVOD..... | 6 |
| 1.1 Definisane i opis predmeta istraživanja | 7 |
| 1.2 Cilj istraživanja..... | 8 |
| 1.3 Trenutno stanje u oblasti | 8 |
| 1.4 Struktura doktorske disertacije | 11 |
| 2 VRSTE AKTUATORA I UPRAVLJANJE..... | 12 |
| 2.1 Pneumatski aktuatori..... | 12 |
| 2.1.1 Pneumatski cilindri | 12 |
| 2.2.2 Pneumatski motori | 16 |
| 2.2.3 Pneumatski ventili..... | 17 |
| 2.2 Hidraulični aktuatori | 20 |
| 2.2.1 Hidraulične pumpe i motori..... | 21 |
| 2.2.2 Hidraulični cilindri..... | 24 |
| 2.2.3 Hidraulični ventili | 25 |
| 2.2.4 Proporcionalna hidraulika | 29 |
| 2.2.5 Servo hidraulika | 30 |
| 2.3 Električni aktuatori..... | 30 |
| 2.3.1 Step motori | 30 |
| 2.3.2 Motori jednosmerne struje (DC motori)..... | 33 |
| 2.3.3 Motori naizmjenične struje (AC motori)..... | 34 |
| 3 ODREĐIVANJE PARAMETARA KORELACIJE IZBORA AKTUATORA I VREMENA CIKLUSA PROIZVODNJE..... | 36 |
| 3.1 Parametri neophodni pri procesu izbora aktuatora..... | 37 |
| Definisane ciljeva kretanja..... | 37 |
| Izbor mehaničkih komponenti (za električni aktuator) | 37 |
| Definisane vremena trajanja opterećenja | 37 |
| Proračun opterećenja | 38 |
| 3.2 Parametri izbora aktuatora koji zavise od zahteva sistema | 38 |
| 3.3 Određivanje vremena trajanja proizvodnog ciklusa..... | 39 |
| 3.3.1 Varijanta i tip toka proizvodnje..... | 39 |
| 3.3.2 Određivanje vremena montaže proizvoda..... | 43 |
| 4 STUDIJE SLUČAJA | 47 |

| | |
|--|-----|
| 4.1 Manipulator za proces brizganja plastičnih proizvoda | 47 |
| 4.1.1 Mašina za brizganje plastičnih proizvoda | 47 |
| 4.1.2 Izgled i delovi manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda | 48 |
| 4.1.3 Način funkcionisanja manipulatora za mašinu za brizganje plastičnih proizvoda..... | 73 |
| 4.2 Manipulatori za mašinu za termoformiranje | 75 |
| 4.2.1 Mašina za termoformiranje..... | 75 |
| 4.2.2 Manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje. | 77 |
| 4.2.3 Manipulator za postavljanje upijača u plastične posude..... | 103 |
| 4.2.4 Sistem za doziranje lepka u plastične posude..... | 124 |
| 4.2.5 Manipulator za slaganje plastičnih posuda u magacin | 125 |
| 4.2.6 Pokretna traka | 148 |
| 4.2.7 Način funkcionisanja proizvodno-montažnog sistema: manipulatora i mašine | 152 |
| 4.3 Analiza dobijenih rezultata | 153 |
| 5 ZAKLJUČAK..... | 163 |
| 6 LITERATURA | 166 |

1 UVOD

Industrijska automatizacija je danas, u doba zahtevane brze proizvodnje i velike preciznosti, postala veoma značajna. Automatizacija omogućava da se postignu velike brzine i visok nivo kvaliteta u proizvodnji uz održive troškove, što je nemoguće ostvariti samo manualnim radom. Bez obzira na to što je automatizacija najprofitabilnija u slučaju masovne proizvodnje malog broja sličnih proizvoda, većina pogona proizvodi veliki broj različitih proizvoda u malim količinama. U tom slučaju, izazov predstavlja razvoj automatizovanih sistema, u industriji, koji opravdavaju troškove njihove ugradnje, pa je neophodno da projektant sistema poseduje znanje i veštine potrebne za projektovanje, izbor komponenti, testiranje i ugradnju jednog takvog automatizovanog sistema. Sinergistička integracija aktuatora, senzora, upravljačkih sistema i komunikacionih protokola značajno utiče na funkcionisanje industrijskih sistema (T. K. Kiong, A. S. Putra, 2011).

Veliki broj automatizovanih proizvodnih sistema obuhvata upotrebu sofisticiranih sistema za upravljanje kretanjem koji osim mehaničkih komponenti uključuje i električne komponente kao što su kontroleri, pojačavači ili servo upravljačke komponente. Pored navedenih komponenti, većina današnjih sistema je i umrežena različitim industrijskim protokolima, što često stvara probleme projektantima koji ne rade u timovima, budući da je neophodno znanje iz više oblasti. Najčešći problemi koji se javljaju, su slučajevi kada projektant sistema treba da izvrši potrebne proračune koji se odnose na obrtni moment, brzinu i ubrzanja neophodne da bi se izabrao mehanički deo sistema, ali i istovremeno da projektuje električne šeme i odredi softverske i komunikacione zahteve za izabrane komponente. U ovakvim slučajevima projektant obično pokušava da odredi komponente sistema prema aktuatoru koji je izabrao, bez potrebnih proračuna i analize svih ključnih parametara koji utiču na rad celokupnog sistema. Kao najčešći problem se tada javlja je da sistem obično bude preskup, ali i neretko i tehnički nekorektan u pojedinim kritičnim situacijama. Prevazilaženje ovih situacija se postiže pravilnim određivanjem i primenom parametara korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa.

Da bi se ostvarilo zahtevano vreme trajanja ciklusa proizvodnje primenom automatizacije u industriji potrebno je izabrati odgovarajuće aktuatore koji to mogu da omoguće, odnosno potrebno je pravilno definisati parametre koji se moraju uzeti u obzir pri izboru aktuatora. Ti parametri obuhvataju: definisanje ciljeva kretanja (vrsta kretanja, zahtevana preciznost, zahtevana tačnost, zahtevana brzina, i dr.), izbor mehaničkih komponenti (reduktora, spojnice i osovine kod električnih aktuatora), definisanje vremena opterećenja (brzine i ubrzanja, proračun opterećenja, izbor profila kretanja, i dr.), proračun opterećenja (proračun momenta inercije svih pokretnih delova, uticaj momenta inercije na aktuator, i dr.) i dodatne zahteve koji se odnose na način i mesto montaže aktuatora.

Vrste aktuatora koje se najčešće koriste u industriji su: električni, pneumatski i hidraulični. Električne servo motore najčešće karakteriše: ekološki prihvatljiva tehnologija i pouzdanost u radu. Međutim, električni motori se najčešće koriste za aplikacije gde su potrebne: velike brzine, mali momenti i gde treba da se izvrši konverzija elemenata prenosa snage u neki korisniji oblik. Hidraulične aktuatore

karacteriše: povoljan odnos sila/brzina i mogu se biti direktno povezani sa radnim predmetom koji treba da pomeraju. S druge strane, upotreba hidrauličnih sistema često dovodi pojave opasnih situacija na radnom mestu: radnici koji rade u blizini hidraulične pumpe zahtevaju zaštitu sluha, a hidraulični sistemi su dobro poznati po curenju hidraulične tečnosti. Jedan pozitivan aspekt dele elektromagnetni i hidraulični aktuatori, a to je jednostavnost upravljanja. Pneumatski aktuatori, takođe, imaju karakteristike koje mogu da ih čine povoljnim za aplikacije gde je potrebno servo upravljanje. Ovi aktuatori su jednostavne konstrukcije i lako se održavaju i imaju dobar odnos snaga/masa radnog predmeta koji se pomera. Za razliku od električnih motora, pneumatski aktuatori mogu primeniti silu na fiksnoj poziciji tokom dužeg vremenskog perioda bez negativnih posledica. Komprimovani vazduh je lako dostupan u većini industrijskih okruženja. Kao i kod elektromotora, pneumatski aktuatori u radu ne prljaju okolinu i mogu da deluju direktno na radni predmet. Vazduh je kompresibilan, što znači da aktuator ne stoji uvek čvrsto u poziciji i može da postoji kašnjenje u odzivu. Pneumatski aktuatori mogu imati relativno veliko trenje koje, pod mnogim okolnostima, sprečava nesmetano kretanje. Ovo nelinearno ponašanje pneumatskog aktuatora, u slučaju upravljanja putem PID-a ili upotrebom linearne metode upravljanja, dovodi do loših performansi sistema u određenim slučajevima. (M. B. Thomas, 2003)

Problemi sa upravljanjem svakim od navedenih vrsta aktuatora su delimično eliminisani, na način da svaki proizvođač aktuatora nudi odgovarajuće upravljačke kontrolere koji su namenjeni isključivo za aktuatore iz njihovog proizvodnog programa. Ti kontroleri su projektovani, programirani i testirani isključivo za određenu vrstu i tip kontrolera datog proizvođača, čime su rešeni najčešći problemi upravljanja radom tih aktuatora, ali i pojednostavljen izbor upravljačkog kontrolera za izabrani aktuator.

Postoje razvijeni softveri koji mogu da se koriste pri izboru aktuatora, ali problem je što su vezani za određenog proizvođača komponenti i vrstu aktuatora (npr. softver firme FESTO za izbor tipa električne ose i pogona, ne može da se koristi i za izbor pneumatskog aktuatora ili bilo kog drugog proizvođača sličnih pogona).

1.1 Definisane i opis predmeta istraživanja

Većina proizvodnih sistema je izložena konkurenciji koja uslovljava potrebu povećanja njihove efikasnosti. Jedan od standardnih načina povećanja efikasnosti je zamena ljudskog rada uređajima kojima se ostvaruje isti kvalitet, sa većom produktivnošću. Osnovu ovih uređaja predstavljaju aktuatori kojima se ostvaruje kretanje različitih mehanizama ili sistema. Aktuatori za svoj rad koriste različite izvore energije: električnu energiju, vazduh ili ulje pod pritiskom. U zavisnosti od izbora izvora energije, određuju se i bitne karakteristike aktuatora (brzina, životni vek, snaga, način upravljanja, ...), koji, osim na dužinu ciklusa proizvodnje, imaju uticaj i na druge parametre kojima se određuje efikasnost posmatranog proizvodnog programa (Wilfred Voss, 2007). Upravo zbog toga se izbor aktuatora ne može svesti samo na zadovoljavanje jednog parametra, jer se na taj način mogu poništiti pozitivni efekti drugih, koji takođe imaju uticaj na određivanje efikasnosti posmatranog proizvodnog sistema.

Proizvođači aktuatora imaju svoje algoritme za izbor aktuatora, koji najčešće posmatraju samo tehničke karakteristike koje moraju da zadovolje u pogledu snage i brzine. Većina tih algoritama je implementirana u različite softverske pakete, tako da korisnik unosi samo željene vrednosti karakteristika koje aktuatori treba da zadovolje. Budući da postoji veliki broj aplikacija u koje se posmatrani aktuatori mogu ugraditi, proizvođači aktuatora izbegavaju da ponude svoje algoritme kojima bi se izbor aktuatora vršio na osnovu parametara ciklusa proizvodnje gde se ti aktuatori ugrađuju. Razlozi za to su mnogobrojni, ali najvažniji su sledeći: proizvođači ne žele da snose odgovornost za eventualni neuspeh datog proizvodnog ciklusa i eventualno razočaranje kupca u slučajevima gde se ustanovi da proizvođač ne nudi zadovoljavajući aktuator. Istraživanja u ovoj disertaciji su upravo usmerena na pronalaženje rešenja za ovu vrstu problema koja se javlja u industrijskoj automatizaciji.

1.2 Cilj istraživanja

Cilj istraživanja u okviru ove disertacije je usmeren ka određivanju parametara korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje. Dobijeni parametri će se koristiti za nastanak odgovarajuće metode koja će biti implementirana u softverski paket. Verifikacija predložene metode će biti izvršena na studijama slučajeva IML robota i manipulatora za mašinu za termoformiranje, koji predstavljaju odgovarajuće primere uređaja u koje se ugrađuju različiti tipovi aktuatora.

U skladu sa postavljenim ciljem istraživanja, definisane su sledeće hipoteze:

- Moguće je definisati parametre sistema na osnovu kojih bi vršio izbor aktuatora za odgovarajući proizvodni proces.
- Moguće je definisati i izdvojiti parametre aktuatora, na osnovu zahteva koji se odnose na dizajn, performanse sistema i način funkcionisanja sistema, ključne za njihov izbor za odgovarajući proizvodni proces.

Metodologija kojom su rešeni problemi vezani za određivanje parametara korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje je analitičko-sintetička metoda, i naučni eksperiment izveden u realnim uslovima. Nakon izvršenih eksperimentalnih testiranja, urađena je analiza dobijenih rezultata i metodom sinteze je donet zaključak i ocena o postignutim rezultatima.

1.3 Trenutno stanje u oblasti

Određivanje parametara izbora aktuatora je od ogromne važnosti projektantima proizvodnih, montažnih i demontažnih sistema. U cilju olakšavanja izbora aktuatora, kompanije koje bave njihovom proizvodnjom, razvijaju vlastite metode izbora, koje se publikuju u vidu raznih priručnika ili softverskih paketa, a sve u želji da se omogući projektantu da ostvari jednostavniji izbor odgovarajućeg aktuatora za dati sistem, uzimajući u obzir sve relevantne elemente za donošenje odluke.

Kompanija Knotts, čija je delatnost proizvodnja pneumatskih aktuatora, je u okviru tehničke podrške izdala priručnik, u kom je objašnjen način izbora pneumatskog cilindra, koji treba da pomogne projektantu pri izboru pneumatskog cilindra sa

najboljim mogućim performansama za dati sistem. Metoda izbora pneumatskog cilindra u pet koraka je predstavljena na sledeći način: (Rick H., 2012)

- određivanje mase radnog predmeta koji cilindar treba da pomera,
- određivanje potrebne brzine kretanja aktuatora,
- izbor odgovarajućeg radnog pritiska vazduha pod pritiskom (npr. min 6 bara za neke servo-pneumatske komponente),
- izbor odgovarajućeg prečnika pneumatskog aktuatora,
- izbor načina montaže pneumatskog aktuatora u datom sistemu.

Kompanija FESTO, čija je delatnost proizvodnja i prodaja pneumatskih i električnih komponenti, ima za cilj da izdavanjem odgovarajuće literature pomogne inženjerima projektantima i omogući bolje razumevanje načina funkcionisanja pneumatskih i servo-pneumatskih komponenti u cilju jednostavnijeg izbora tih komponenti. Da bi došao do rešenja problema, projektant sistema mora da poznaje pneumatske, hidraulične i električne komponente, način njihovog funkcionisanja, a takođe mora da zna da razume tehničke crteže, pneumatske, hidraulične i električne šeme, poznaje matematiku i fiziku, da bi mogao da vrši potrebne proračune. (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008)

Od 2011 godine pa do danas FESTO kompanija je razvila softverske pakete koji omogućavaju korisniku da izborom odgovarajućih parametara jednostavnije izabere aktuator za dati sistem. Postoji tri softverska paketa koji je ova firma razvila u tu svrhu: softver za izbor klasičnih pneumatskih aktuatora, softver za izbor servo-pneumatskih aktuatora i softver za izbor električnih aktuatora.

Kompanija Yaskawa je takođe razvila softver koji omogućava korisniku da unosom potrebnih parametara jednostavnije izabere servo motore za dati sistem. Mnogi projektanti i inženjeri biraju servo motor prema željenoj snazi motora i obrtnom momentu, pri čemu ne obraćaju pažnju na: troškove, izbor enkodera, prenosni odnos, uticaj okoline, prostor za montažu i dr. Razumevanje ovih faktora predstavlja ključni korak ka izboru najboljeg motora za datu aplikaciju. (Matt P., 2009)

Kompanija Norgren Inc. čija je delatnost proizvodnja i prodaja pneumatskih komponenti je izdala priručnik u kom su opisani parametri koje treba uzeti u obzir pri izboru pneumatskih komponenti. To su sledeći parametri: (Sheila C., 2011)

- dizajn cilindra (vrsta i tip pneumatskog cilindra),
- sila kojom cilindar treba da deluje na radni predmet,
- brzina rada pneumatskog cilindra,
- potrošnja vazduha pod pritiskom,
- dodatni parametri (pozicija i veličina priključaka cilindra, veličina pneumatskih creva, izbor upravljačkog razvodnika, i dr.).

Softverski paket VisualSizer, firme Copperhill Technologies, je alat koji je razvijen za inženjere projektante u cilju jednostavnijeg izbora servo motora, upravljačkog kontrolera i ostalih komponenti neophodnih za funkcionisanje izabranog električnog aktuatora. Ovaj softverski paket vrši proračune obrtnog momenta, brzine i momenta inercije u skladu sa specifikacijom projektanta sistema i iz baze podataka izdvaja motore koji zadovoljavaju zahteve projektanta, koji tada sam mora da izabere motor za datu aplikaciju. Celokupan softver je zasnovan na priručniku za izbor servo motora koji

može da se koristi kao dodatna pomoć pri izvršavanju neophodnih proračuna potrebnih za izbor odgovarajućeg servo motora. (Willfred V., 2007)

Nedostaci pri upotrebi raznih softverskih paketa namenjenih za izbor aktuatora su: korisnik mora da poznaje oznake, način funkcionisanja i karakteristike svih komponenti iz kataloga proizvođača da bi mogao da izabere neku komponentu od velikog broja ponuđenih komponenti, čak i nakon suženja izbora unosom traženih parametara u softveru. Takođe, korisnik i tada mora da izvrši dodatne proračune koji su mu potrebni da bi izabrao odgovarajući aktuator i ostale komponente potrebne za funkcionisanje tog aktuatora (pneumatska creva, kablovi, ventili, kontroleri, i dr.). Svaki softver sadrži bazu podataka samo sa komponentama proizvođača softvera, pa korisnik u tom slučaju mora da poznaje karakteristike proizvoda raznih proizvođača komponenti i rad sa njihovim softverima, da bi mogao da uporedi karakteristike i cene aktuatora i ostalih komponenti.

Značajan broj radova se odnosi na mogućnosti primene pojedinih aktuatora u zavisnosti od načina njihovog upravljanja, konstrukcionih rešenja, kao i njihovog povezivanja putem industrijskih komunikacionih mreža. U nastavku sledi prikaz samo radova čiji su rezultati imali direktan uticaj na rezultate istraživanja u okviru ove disertacije.

T. K. Kiong i A. S. Putra su predstavili karakteristike, način funkcionisanja i upravljanja pneumatskim, hidrauličnim, električnim aktuatorima i senzorima, u cilju jednostavnijeg izbora odgovarajućeg aktuatora. (T. K. Kiong, A. S. Putra, 2011)

U knjizi "Electric Drives and Electromechanical Systems", Richard Crowder se bavi izborom električnih aktuatora i upravljačkog sistema kao i njihovom primenom u raznim proizvodnim sistemima. (Richard C., 2006)

"Vodič kroz pneumatske i hidraulične sisteme za inženjere", autora Andrew P., daje uvid u primere izbora pneumatskih i hidrauličnih aktuatora za određene aplikacije u industriji. (Andrew P., 2006)

Detaljan prikaz proračuna koji se odnose na: moment inercije, brzinu, ubrzanje, potrebnih za izbor odgovarajućeg servo motora za neku aplikaciju je opisan u knjizi Wilfred-a Voss-a, "A Comperhensible Guide To Servo Motor Sizing". (Willfred V., 2007)

Karakteristike aktuatora, način funkcionisanja aktuatora i njihov uticaj na izbor aktuatora za određeni proizvodni proces, opisani su u priručniku "Osnove aktuatora". (J.Velagić, 2012)

Knjiga "Actuators: Basics and Applications" daje uvid u karakteristike i moguću primenu klasičnih i nekonvencionalnih aktuatora, zajedno sa njihovim upravljanjem. (H. Janosha, 2004)

Prilaz koji je Austin Hughes, koristio u knjizi "Electric Motor and Drives: Fundamentals, Types and Applications", se odnosi na metode izbora električnih aktuatora kao što su: DC motori, indukcion i servo motori, korišćenjem osnovnih matematičkih proračuna. Autor je imao za cilj da omogući projektantima sistema, bilo da su u pitanju elektroinženjeri ili mašinski inženjeri, jednostavan izbor električnih aktuatora. (Austin H., 2006)

Autor Rick H. smatra da postoji nekoliko parametara koje treba uzeti u obzir prilikom izbora pneumatskog cilindra za određenu aplikaciju, u cilju ostvarenja maksimalnih performansi i nižih troškova održavanja aktuatora. Ti parametri su: masa radnog predmeta koju cilindar treba da pomera, brzina rada cilindra, pritisak vazduha u sistemu, prečnik klipa cilindra i način montaže cilindra (horizontalno ili vertikalno). (Rick H., 2012)

Izbor servo motora predstavlja proces gde se bira najbolji aktuator za servo aplikaciju. Česta zabuna koja se javlja kod projektanata sistema je da se motor bira prema snazi ili zahtevima sistema koji se odnose na broj obrtaja motora. Postoje i drugi parametri koje je važno uzeti u obzir pri izboru aktuatora, a to su: cena, rezolucija enkodera, uticaj okoline, zahtevi koji se odnose na ograničenja dimenzija, i dr. Ipak, najvažniji parametri koji utiču na izbor električnog aktuatora su: moment inercije, brzina i maksimalni obrtni moment. Razumevanje ovih parametara od strane projektanta sistema je od ključne važnosti za izbor odgovarajućeg aktuatora za datu aplikaciju. (Matt P., 2009)

1.4 Struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija se sastoji od šest poglavlja. U nastavku je dat kratak opis poglavlja.

Prvo poglavlje sadrži kratak uvod o ovoj disertaciji, opis problema, cilj istraživanja i hipoteze.

U drugom poglavlju su date teorijske osnove o vrstama aktuatora koje mogu da se koriste u proizvodnim procesima i upravljanje radom tih aktuatora. Obrađeni su pneumatski, hidraulični i električni aktuatori.

Treće poglavlje se odnosi na određivanje parametara korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje, odnosno definisanje parametara koji utiču na izbor aktuatora za proizvoljno definisani proizvodni/montažni proces.

Četvrto poglavlje obuhvata studije slučaja koje prikazuju način izbora aktuatora u procesu projektovanja dva različita sistema manipulatora, za izabrane proizvodno-montažne procese. Takođe, izvršena je analiza rezultata dobijenih istraživanjima u ovoj disertaciji.

U petom poglavlju su sagledani problemi pri određivanju parametara korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje, i kroz zaključke je dat osvrt na ostvarene rezultate. Na kraju poglavlja su dati mogući pravci daljih istraživanja.

Šesto poglavlje sadrži popis citirane i korišćene literature.

2 VRSTE AKTUATORA I UPRAVLJANJE

2.1 Pneumatski aktuatori

Klasični pneumatski sistem se sastoji od izvora vazduha pod pritiskom, pripreme grupe, signalnih elemenata, elemenata za obradu signala, upravljačkih i radnih elemenata. Kompresorska stanica predstavlja izvor vazduha pod pritiskom i putem razvoda vazduha pod pritiskom (cevi i creva) napaja ostale elemente pneumatskog sistema, i sastoji se od: kompresora, hladnjaka, sušača i rezervoara za skladištenje vazduha pod pritiskom. Priprema grupa se sastoji od filtera (više filtera različitih stepeni filtracije), regulatora pritiska sa manometrom i zauljivača. Može da sadrži i on/off (uključen/isključen) ventil, senzor pritiska, senzor protoka, automatski ili manualni odvajač kondenzata i dr. Signalne elemente predstavljaju tasteri, prekidači, granični prekidači, i dr. U elemente za obradu signala spadaju "i" ventili, "ili" ventili, vremenski rele i druge komponente. Upravljačke elemente predstavljaju upravljački ventili. Radni elementi obuhvataju pneumatske cilindre, pneumatske motore, vakuum generatori i vakuum dizne.

Proporcionalni pneumatski sistem u osnovi sadrži iste komponente kao i klasični pneumatski sistem: izvor vazduha pod pritiskom, pripremu grupu, signalne elemente, elemente za obradu signala, upravljačke i radne elemente. Međutim, kod proporcionalnog pneumatskog sistema upravljački element predstavlja proporcionalni ventil dok signalni element predstavlja enkoder. Upravljanje radom proporcionalnim ventilom se vrši putem analognog signala (strujnog ili naponskog). Enkoder služi za određivanje tačne pozicije radnog predmeta, a broj pozicija koje može da ostvari zavisi od rezolucije enkodera i karakteristika proporcionalnog ventila, i koristi se za ostvarivanje povratne sprege. (J. Wang, J. Pu, P. Moore, 1999)

Pneumatski aktuatori su uređaji koji služe za pretvaranje energije vazduha pod pritiskom u mehaničku energiju odnosno linearno ili rotaciono kretanje. Sastoje se od pokretnih delova (klip i klipnjača) i nepokretnih delova (kućište i pruključci za pneumatska creva). (A. Parr, 2006)

Pneumatski aktuatori se mogu grupisati na sledeći način:

- pneumatski cilindri,
- pneumatski motori.

U tekstu koji sledi biće detaljnije objašnjeni pneumatski aktuatori.

2.1.1 Pneumatski cilindri

Pneumatski cilindri predstavljaju vrstu pneumatskih aktuatora koji ostvaruju pravolinijsko kretanje. Postoje pneumatski cilindri jednosmernog i dvosmernog dejstva.

Pneumatski cilindri jednosmernog dejstva

Kod pneumatskih cilindara jednosmernog dejstva postoji samo jedan priključak za dovod/rasterećenje komore cilindra, odnosno vazduh pod pritiskom deluje samo na jednu stranu klipa cilindra. Sa druge strane klipa postoji opruga koja nakon rasterećenja komore vraća klip u početni položaj. Posledica delovanja vazduha pod pritiskom samo na jednu stranu klipa je da cilindar samo tada može da ostvari neki rad. Sila opruge u cilindru je proračunata tako da se klip cilindra može vratiti u početni položaj odgovarajućom brzinom. Hod cilindara jednosmernog dejstva je ograničen zbog ograničenja u dužini opruge koja vraća klip u početni položaj. Sila kojom deluje cilindar je određena prečnikom njegovog klipa i data je sledećim izrazom (jednačina br. 1).

$$F_{cjd} = p \times A - F_o - F_{tr} \text{ i } A_i = \frac{D^2 \times \pi}{4} , \quad (1)$$

gde F_{cjd} predstavlja silu delovanja cilindra jednosmernog dejstva, p predstavlja pritisak vazduha, A predstavlja korisnu površinu klipa po kojoj deluje pritisak, F_o predstavlja silu u opruzi, F_{tr} silu trenja, D predstavlja prečnik klipa i d predstavlja prečnik klipnjače. (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008)

Klipni cilindri

Klipni pneumatski cilindri jednosmernog dejstva se koriste u slučaju nestanka napajanja npr. kočnice kod vozova. Kod ovih cilindara postoji unutrašnje zaptivanje (između klipa i kućišta) i spoljašnje zaptivanje (između poklopca i klipnjače).

Membranski cilindri

Membranski pneumatski cilindri jednosmernog dejstva sadrže membranu umesto klipa. Membrana može biti plastična, gumena ili metalna. Koriste se kod procesa kao što su zakivanje ili stezanje predmeta kod presovanja. Zbog potencijalnih velikih površina membrana mogu da ostvare velike sile. Mana ovih cilindara je kratak hod i mali vek trajanja. (J. Njerš, 2004)

Pneumatski cilindri dvosmernog dejstva

Kod pneumatskih cilindara dvosmernog dejstva postoji dva priključka za dovod/rasterećenje komora cilindra, odnosno vazduh pod pritiskom deluje na obe strane klipa cilindra. Posledica delovanja vazduha pod pritiskom na obe strane klipa je da cilindar može da ostvari neki rad i u povratnom hodu.

Nosivost cilindra (sila kojom deluje) je određena prečnikom klipa. Sila izvlačenja klipa je određena sledećom jednačinom (jednačina br. 2):

$$F_{cdd} = p \times A_i - F_{tr} \text{ i } A_i = \frac{D^2 \times \pi}{4} , \quad (2)$$

gde F_{cdd} predstavlja silu izvlačenja cilindra dvosmernog dejstva, p predstavlja pritisak vazduha, A_i predstavlja korisnu površinu klipa po kojoj deluje pritisak, F_{tr} silu trenja i D predstavlja prečnik klipa.

Sila uvlačenja klipa je određena sledećom jednačinom (jednačina br. 3):

$$F_{cdd} = p \times A_u - F_{tr} \text{ i } A_u = \frac{(D^2 - d^2) \times \pi}{4}, \quad (3)$$

gde F_{cdd} predstavlja silu uvlačenja cilindra dvosmernog dejstva, p predstavlja pritisak vazduha, A_u predstavlja korisnu površinu klipa po kojoj deluje pritisak, F_{tr} silu trenja, D predstavlja prečnik klipa i d predstavlja prečnik klipnjače. (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008)

Hod cilindra dvosmernog dejstva je u teoriji neograničen, ali treba obratiti pažnju da ne bude preveliki, jer zbog prevelike dužine klipnjače može doći do njenog savijanja (za velike hodove potrebno je dodati vođice za klipnjaču).

Cilindri dvosmernog dejstva mogu imati i prigušenje na krajevima hoda. Ovo je neophodno u slučaju da cilindar pomera predmet velike mase jer bi inače moglo da dođe do udarnog rada cilindra, usled čega se smanjuje njegov životni vek. Prigušenje može biti realizovano uz pomoć prigušnice (koja se postavlja na odzračni vod) ili prigušno-nepovratnog ventila koji se postavlja na priključak za vazduh na cilindru (podešavanje količine vazduha koji se propušta se vrši putem vijka na ventilu).

Cilindar dvosmernog dejstva sa obostranom klipnjačom

Cilindar dvosmernog dejstva sa obostranom klipnjačom ima prolaznu klipnjaču koja je uležištena na obe strane kućišta cilindra. Kod ovog tipa cilindra je zbog oslanjanja klipnjače na dve tačke dozvoljeno i manje radijalno oprećenje.

Tandem cilindar

Tandem cilindar je vrsta cilindra dvosmernog dejstva koji na istoj klipnjači ima dva klipa što omogućava dvostruko veću silu pri istom prečniku cilindra. Ovaj tip cilindra se koristi tamo gde je potrebno ostvariti veliku silu, ali pod uslovom da prečnik cilindra ne bude velik. (P. Beater, 2007)

Višepoložajni cilindar

Višepoložajni cilindar se sastoji iz više cilindra dvosmernog dejstva koji su međusobno povezani. Ako se višepoložajni cilindar sastoji od npr. dva cilindra dvosmernog dejstva i ako su njihove klipnjače iste dužine onda on može da ostvari tri različite pozicije. Ako su njihove klipnjače različitih dužina onda ovaj višepoložajni cilindar može da ostvari četiri različite pozicije. Koriste se za upravljanje cevovodima, u prehrambenoj industriji, i dr. (R. Korbar, 2007)

Obrtni cilindar

Kod obrtnog cilindra se pravolinijski hod cilindra pretvara u okretanje zupčastog točka, oslonjenog na zupčastu letvu koja je vezana za klipnjaču. Vijak koji se nalazi u zadnjem poklopcu cilindra služi za podešavanje hoda cilindra odnosno puta zaustavljanja klipa. Ugao obrtanja zupčanika može da bude od 0° do 360° . Prednost ovih cilindra je pouzdana i dugotrajna konstrukcija. (P. Beater, 2007)

Teleskopski cilindar

Teleskopski cilindar je posebna vrsta pneumatskog cilindra kompaktnog dizajna, ali sa mogućnošću ostvarivanja veoma velikog hoda. Dizajn ovog cilindra podseća na niz cevi postavljenih jedna u drugu. Broj stepeni izvlačenja je ograničen na šest, jer ako bi ih bilo više cilindar postaje nestabilan. Još jedan problem kod ovih cilindara predstavljaju momenti koji deluju na uležištenja između dva segmenta, a koji nastaju kao posledica težine izvučenih segmenata. (H. Meixner, R. Kobler, 1972)

Postoji dva tipa ovih cilindara: teleskopski cilindri jednosmernog dejstva i teleskopski cilindri dvosmernog dejstva. Jedina razlika vidljiva spolja je postojanje jednog manje priključaka za vazduh pod pritiskom kod teleskopskog cilindra jednosmernog dejstva, dok je unutrašnjost konstrukciono komplikovanija kod teleskopskog cilindra dvosmernog dejstva.

Nosivost ovih cilindara zavisi od njihovog hoda (broj stepeni izvlačenja). Koriste se u procesima gde je neophodno ostvariti veliki hod, ali nema mesta za postavljanje klasičnih pneumatskih cilindara (dizalice).

Udarni cilindar

Udarni cilindar ostvaruje najveću brzinu uz pomoć velike količine kinetičke energije. U početku je jedna strana klipa pod pritiskom, a zatim se otvaranjem ventila vazduh pod pritiskom dovodi na drugu stranu klipa. Pod dejstvom vazduha pod pritiskom sila na površini se povećava i počinje izvlačenje klipnjače. Kada se klip pomeri, površina na koju deluje vazduh pod pritiskom se povećava što dovodi do naglog povećanja sile dejstva i velike brzine kretanja klipa (do 10 m/s). (R. Korbar, 2007)

Udarni cilindri se koriste kod obrade deformacijom (prosecanje, zakivanje, presovanje).

Cilindar bez klipnjače

Kod cilindra bez klipnjače prenos sile se ostvaruje na tri načina: čeličnim užetom, čeličnom trakom i permanentnim magnetom. (P. Beater, 2007)

Cilindar sa čeličnim užetom je vrsta cilindra dvosmernog dejstva koji umesto klipnjače ima uže zakačeno sa obe strane klipa. Prednost ovih cilindara je izuzetno velik hod, ali zbog problema sa zaptivanjem dolazi do stalnog gubitka vazduha pod pritiskom. Najčešće se koriste kao pogon za klizna vrata na halama.

Cilindar sa čeličnom trakom – princip funkcionisanja je isti kao kod cilindra sa užetom samo se umesto užeta koristi traka od nerđajućeg čelika pa je na taj način rešen problem zaptivanja. Kompaktniji je od cilindra sa čeličnim užetom, ali istežanje trake predstavlja problem kao i istežanje užeta pa je neophodno češće odražavanje.

Cilindar sa permanentnim magnetom je vrsta cilindra bez klipnjače koji u kućištu ima ugrađen bakarni provodnik, a u vođici permanentni magnet. Princip funkcionisanja cilindra sa permanentnim magnetom je sledeći: početni impuls se generiše kroz linearni enkoder. Taj impuls stvara magnetno polje koje rotira oko linearnog enkodera (celom njegovom dužinom). Permanentni magnet koji se nalazi u vođici cilindra je postavljen normalno na elektromagnetno polje nastalo oko linearnog enkodera. U tački gde se dva polja sreću dolazi do pojave magnetostriktivnog efekta (sposobnost feromagnetnih materijala da menjaju oblik ili dimenzije u toku procesa magnetizacije) koji dovodi do

elastične defomacije linearnog enkodera. Ova defomacija se kreće levo i desno od magnetnog polja formirajući mehanički talas. Brzina ovih mehaničkih talasa iznosi oko 2400 m/s i skoro je imuna na spoljašnje uticaje kao što su temperatura, vibracije. Mehanički talas koji se kreće prema kraju cilindra se prigušuje, dok se talas koji se kreće prema pretvaraču signala pomoću istog pretvara u električni signal. Vreme koje protekne od nastanka talasa do trenutka kada dođe do pretvarača signala je direktno proporcionalno udaljenosti magneta od pretvarača signala. Merenje ovog vremena omogućava da sa velikom tačnošću da se odredi pozicija vođice na cilindru. Zaptivanje kod cilindra sa parmanentnim magnetom je idealno, kompaktan je ali i skup. Ovi cilindri se koriste za posebne namene gde je bitan kompaktan dizajn kao npr. kod rukovanja materijalom. (P. Beater, 2007)

2.2.2 Pneumatski motori

Prema konstrukciji pneumatski motori se dele na: klipne, krilne (lamelne), motore sa zupčanicima i turbine.

Klipni pneumatski motori

Klipni pneumatski motori se koriste u procesima gde je potrebno ostvariti veliku snagu, velik početni obrtni moment i preciznu kontrolu brzine. Dele na radijalne i aksijalne motore. Klipni motori da imaju od dva do šest cilindara postavljenih aksijalno ili radijalno u odnosu na kućište. Izlazni obrtni moment se dobija kada pritisak vazduha deluje na klipove koji se kreću naizmenično unutar cilindara. Snaga koju može da razvije klipni motor zavisi od ulaznog pritiska, broja klipova, površine klipa, hoda i brzine klipova. Faktori koji ograničavaju brzinu su inercija pokretnih delova (što je veći problem kod radijalnih nego kod aksijalnih pneumatskih motora) i dizajn ventila koji upravlja dovodom i odzrakom vazduha pod pritiskom u/iz cilindara. Radijalni i aksijalni klipni motori imaju manu, a to je da se moraju povremeno podmazivati. (R. Korbar, 2007)

Radijalni klipni pneumatski motori

Radijalni klipni pneumatski motori imaju robusnu konstrukciju sa uljnim podmazivanjem i pogodni su za kontinualni rad. Maksimalni obrtni moment ovih motora iznosi oko 4500 o/min, a snaga do 25 kW.

Aksijalni klipni pneumatski motori

Aksijalni klipni pneumatski motori su kompaktniji od radijalnih pa su pogodni za montažu u malim prostorima. Kompleksnijeg su dizajna od radijalnih klipnih motora, podmazuju se mašću i skuplji su od krilnih motora. Bez obzira na sve aksijalni klipni motori imaju mirniji rad i mogu da ostvare više snage pri manjim brzinama nego klipni motori.

Krilni pneumatski motori

Kod krilnih pneumatskih motora rotacioni element predstavlja rotor sa prorezima koji je montiran na pogonsku osovinu. U svaki prorez je postavljen pravougaoni klip (krilce) koji može slobodno klizi unutar proreza. Rotor i krilca su zatvoreni unutar kućišta čija

je unutrašnja površina pomerena u odnosu na osu pogonske osovine. Kada se rotor okreće, krilca teže da izađu izvan proreza usled dejstva centrifugalne sile. Površina po kojoj se krilca kreću je ograničena oblikom kućišta rotora. Ovaj motor funkcioniše na principu razlike površina. Kada se vazduh pod pritiskom dovede na ulazni priključak, raspoređuje se jednako u svim pravcima. Površina klipa na koju deluje vazduh utiče na smer rotacije rotora. Potencijalna energija vazduha pod pritiskom prelazi u kinetičku energiju u obliku rotacionog kretanja i sile. Vazduh čiji je pritisak umanjen izlazi u atmosferu. Osovina motora se povezuje sa uređajem koji pogoni. (H. Meixner, R. Kobler, 1972)

Neki od krilnih motora imaju opruge u prorezima rotora. Opruge su povezane sa krilcima i zadržavaju krilca izvan proreza na rotorima pri samom startovanju motora jer tada još ne postoje centrifugalne sile koje bi zadržale krilca.

Ovi motori imaju tri do deset ugrađenih krilaca. Broj obrtaja u minuti koji ovih motori mogu da ostvare se kreće od 3000 o/min do 8500 o/min.

Motori sa zupčanicima

Kod motora sa zupčanicima, obrtni moment nastaje tako što vazduh pod pritiskom udara u evolventu zuba dva međusobno uzupčena zupčanika, gde je jedan od njih čvrstom vezom povezan sa osovinom motora. Ovi pneumatski motori se koriste kao pogonske mašine u procesima gde je neophodno ostvariti veliku snagu u ograničenom prostoru, a pogodni su i za rad u opasnim sredinama. (P. Zhang, 2008)

Turbine

Turbine predstavljaju vrstu pneumatskih motora koji koriste vazduh koji udara u lopatice turbine i polako pokreće osovinu motora. U toku rada se vazduh visokog pritiska i male brzine prolazi kroz mlaznicu stvarajući mlaz vazduha niskog pritiska i velike brzine. Mlaz vazduha udara o rotor turbine stvarajući obrtni moment.

Turbine uglavnom imaju samo jedan smer obrtanja (u levo ili u desno). Imaju najveću efikasnost od svih pneumatskih motora, koja može da iznosi i do 75 %. Koriste se uglavnom kao pogon kod mašina gde je potreban veliki obrtni moment (može da ostvari i do 50.000 o/min) i mali nivo snage kao npr. male glodalice, zubarski alat. Turbine predstavljaju jednostavne, visokoefikasne pneumatske motore kod kojih nije potrebno zauljivanje ulaznog vazduha pod pritiskom i zahtevaju mali nivo održavanja. (D.W. Pessen, 1989)





2.2.3 Pneumatski ventili

Ventili su elementi pneumatskog sistema koji služe za upravljanje ili regulaciju vazduha pod pritiskom. Prema funkciji koju vrše možemo ih podeliti u sledeće grupe: razvodnici, nepovratni ventili, ventili pritiska, ventili protoka i slavine.

Razvodnici

Razvodnici predstavljaju vrstu ventila koji služe za usmeravanje toka vazduha pod pritiskom između komponenti pneumatskog sistema. Razlikuju se prema broju

položaja, priključaka, načinu aktiviranja i konstrukciji. (E. Pashkov, Y. Osinskiy, A. Chetviorkin, 2004)

Simboli razvodnika koji se koriste u pneumatskim šemama prikazuju njihovu funkciju. Kvadratni simbol  predstavlja razvodnik pri čemu je broj kvadrata jednak broju položaja (stanja) u kojem razvodnik može da se nađe. Smer protoka vazduha pod pritiskom kroz razvodnik se označava strelicama . Zatvoren vod se označava u obliku precrtanog voda . Priključci na razvodniku se označavaju samo u početnom položaju istog , kada na njega ne deluje upravljački signal i to na sledeći način:

- napajanje vazduhom pod pritiskom: 1 (ili P)
- radni priključci: 2, 4, 6 (ili A, B, C)
- odzraka: 3, 5, 7 (ili R, S, T)
- upravljački vodovi: 12, 14 (ili Y, Z)
- brisanje izlaznog signala: 10 (ili X).

Način aktiviranja razvodnika se označava sa strane kvadrata i može biti:

- manualno: pritiskom na dugme, ručicom, papučom
- mehaničko pomoću: pipka, opruge, točkića, točkića sa slobodnim povratnim hodom
- električno: jedan elektromagnet, dva elektromagneta
- pneumatski: povećanjem pritiska, smanjenjem pritiska
- indirektno aktiviranje: upravljački signal se pojačava nekim drugim signalom (pilot ventili)
- kombinovano aktiviranje: manualno aktiviranje kombinovano sa nekim drugim tipom (npr. pneumatskim).

Kod konfiguracija razvodnika je potrebno razlikovati njihove oznake. Razvodnik može biti normalno otvoren (vazduh slobodno prolazi kroz razvodnik kada on nije aktiviran odnosno kada se nalazi u početnom položaju) ili normalno zatvoren (vazduh ne prolazi kroz razvodnik dok on ne bude aktiviran) u početnom položaju.

Prema načinu aktiviranja razvodnici se dele na monostabilne (trajno aktiviranje, bistabilne (impulsno aktiviranje) i tropoložajne razvodnike. Kod trajnog aktiviranja razvodnik je aktiviran manualno, elektro ili pneumatski sve dok se ne vrati u početni položaj. Povratni hod se ostvaruje putem opruge ili manualno. Kod impulsnog aktiviranja, kratki impuls aktivira razvodnik i dovodi ga u jedan položaj. Dovođenje u drugi položaj se vrši drugim kratkim impulsom ili signalnim elementom. Tropoložajni razvodnici kao što je npr. razvodnik 5/3 imaju različite konfiguracije srednjeg položaja: blokiran srednji položaj, svi vodovi mogu da budu međusobno povezani sa dovodom vazduha pod pritiskom ili odzrakom.

Pilot ventil se koristi kao pneumatsko pojačanje i umanjuje energiju upravljačkog signala (npr. strujnog signala) koja je potrebna za aktivaciju razvodnika.

Prema konstrukciji razvodnike delimo na: razvodnike sa sedištem, razvodnike sa razvodnim klipom, razvodnike sa okretnom razvodnom pločom i pločaste razvodnike. (Brian Nesbitt, 2007)

Razvodnici sa sedištem

Kod razvodnika sa sedištem otvaranje i zatvaranje sedišta razvodnika se vrši pomoću kuglice, tanjira ili pločice. Sedište razvodnika je obično obloženo gumenom zaptivkom. Oni imaju robusnu konstrukciju i dug vek trajanja jer imaju malo delova koji se habaju. Razvodnici sa sedištem sa kuglicom su malih gabarita i jednostavne konstrukcije. Razvodnici sa sedištem sa tanjirom imaju veoma malo vreme aktiviranja i jednostavnu konstrukciju. Način funkcionisanja je isti kao kod razvodnika sa sedištem sa kuglicom samo što umesto kuglice postoji tanjir.

Razvodnici sa razvodnim klipom

Kod razvodnika sa razvodnim klipom otvaranje i zatvaranje otvora priključaka se vrši klizanjem klipa. Ovi razvodnici su imaju jednostavnu konstrukciju ali i probleme sa habanjem zaptivaka koji moraju češće da se menjaju.

Razvodnici sa okretnom razvodnom pločom

Kod razvodnika sa okretnom razvodnom pločom se zakretanjem razvodne ploče spajaju odgovarajući priključci. Ovaj tip razvodnika se najčešće aktivira ručno putem poluge i moguće ga je zaustaviti (ali ne i fiksirati) u bilo kojem položaju u toku hoda. (A. Barber, 1997)

Pločasti razvodnik

Pločasti razvodnik ima jedan upravljački klip za prebacivanje razvodnika iz jednog položaja u drugi. Povezivanje i odvajanje vodova se vrši pomeranjem klipa na koji je vezana razvodna ploča sa oprugom. Zaptivanje na klipu je ostvareno upotrebom oprstenova.

Nepovratni ventili

Nepovratni ventili predstavljaju ventile konstruisane tako da u jednom smeru propuštaju vazduh pod pritiskom, dok u drugom ne. Zatvaranje ventila može da se ostvari kuglicom, konusom, membranom. Nepovratni ventili mogu da se kombinuju sa prigušnim ventilima. (F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008)

"I" ventil predstavlja logičku I funkciju. Upravljački vazduh mora da se dovede na oba ulazna priključka istovremeno, nakon čega se kuglica se pod dejstvom vazduha pomera u odgovarajući položaj i propušta vazduh ka izlaznom priključku. (S. Ilango, V. Soundararajan, 2007)

"ILI" ventil je naizmenični ventil koji predstavlja logičku ILI funkciju. Bez obzira da li se upravljački vazduh dovede na bilo koji od sva ulazna priključka, kuglica se pod dejstvom vazduha pomera u odgovarajući položaj i propušta vazduh ka izlaznom priključku. (S. Ilango, V. Soundararajan, 2007)

Brzoispusni ventil služe za ubrzano pražnjenje komore cilindra što dovodi do povećanja brzine kretanja klipa cilindra. Ovi ventili imaju veoma veliki protok pa se

zbog brzog pražnjenja cilindra kroz ventil kao negativni efekat javlja buka. Smanjenje intenziteta buke se vrši postavljanjem prigušivača buke.

Ventili pritiska

Ventili pritiska se dele na regulatore pritiska, sigurnosne ventile i uslovno aktivirane ventile. Regulatori pritiska služe da održe željeni pritisak u sistemu. Ulazni pritisak mora biti veći od željenog pritiska na izlazu regulatora. Sigurnosni ventili osiguravaju da ne dođe do prekoračenja pritiska u sistemu. Ako ulazni pritisak poraste iznad podešene vrednosti, dovodni vod se spaja sa odzračnim vodom u sigurnosnom ventilu sve dok se ulazni pritisak ne vrati podešenu vrednost. Uslovno aktivirani ventili pritiska imaju istu konstrukciju kao sigurnosni ventili, ali se koriste u sistemima gde je za funkcionisanje nekog elementa potreban propisani pritisak. (E. Eitel, 2007)

Ventili protoka

Ventili protoka se koriste za regulaciju brzine vazduha pod pritiskom. Postoje prigušni ventili sa konstantnim i promenljivim prigušenjem.

Slavine

Slavine predstavljaju vrstu ventila koji služi za potpuno zatvaranje protoka vazduha pod pritiskom kroz sistem (npr. radi remonta sistema).

2.2 Hidraulični aktuatori

Hidraulični sistem čine: pogonski agregat hidraulične pumpe, upravljačko regulišući elementi i izvršni organi. Pogonski agregat hidraulične pumpe može biti elektromotor ili motor sa unutrašnjim sagorevanjem i služi za pretvaranje električne ili toplotne energije u mehaničku energiju, koja se dalje pomoću radnih elemenata hidraulične pumpe pretvara u hidrauličnu energiju. Hidraulična energija se dalje putem fluida (ulja ili vode) i upravljačko regulacionih elemenata prenosi do izvršnih organa (aktuatora). (V. Savić, 1991)

Upravljanje kod hidrauličnih sistema može biti klasično, proporcionalno ili servo. Kod klasične hidraulike je širina klipa razvodnika veća od širine žljeba kroz koji protiče ulje, pa upravljački razvodnik može da ostvari jedan, dva ili tri položaja. Brzina protoka fluida kroz ovaj tip razvodnika je konstantna.

Kod proporcionalne hidraulike upravljanje radom proporcionalnog razvodnika se vrši putem analognog signala (strujnog ili naponskog). Na klipu razvodnika postoje zarezi kroz koje i pri minimalnom pomeranju klipa razvodnika protiče fluid. Upotrebom proporcionalne hidraulike moguće je ostvariti više položaja aktuatora, kao i regulaciju pritiska i brzine protoka fluida. Broj položaja aktuatora zavisi od rezolucije linearnog enkodera.

Kod servo hidraulike, širina klipa razvodnog ventila je jednaka širini žljeba kroz koji protiče fluid pa se time ostvaruje više položaja aktuatora kao i regulacija pritiska i brzine protoka fluida.

Radni fluidi u hidrauličnom sistemu služe za prenos energije, podmazivanje komponenti, hlađenje, odnošenje nečistoća, i dr. Vrste fluida koje se koriste u hidraulici

su: voda, mineralna ulja, sintetička ulja, emulzije. Zbog dobrog podmazivanja i zaštite od korozije danas se najčešće koriste sintetička ulja.

Pri izboru fluida treba uzeti u obzir (Vasilije N. Kelić, 1989):

- viskoznost koja predstavlja veličinu unutrašnjeg trenja koje se javlja pri međusobnom klizanju slojeva fluida. Menja se sa porastom temperature prema određenoj zakonitosti. Izražava se koeficijentom dinamičke ili kinematičke viskoznosti (jednačina br. 4):

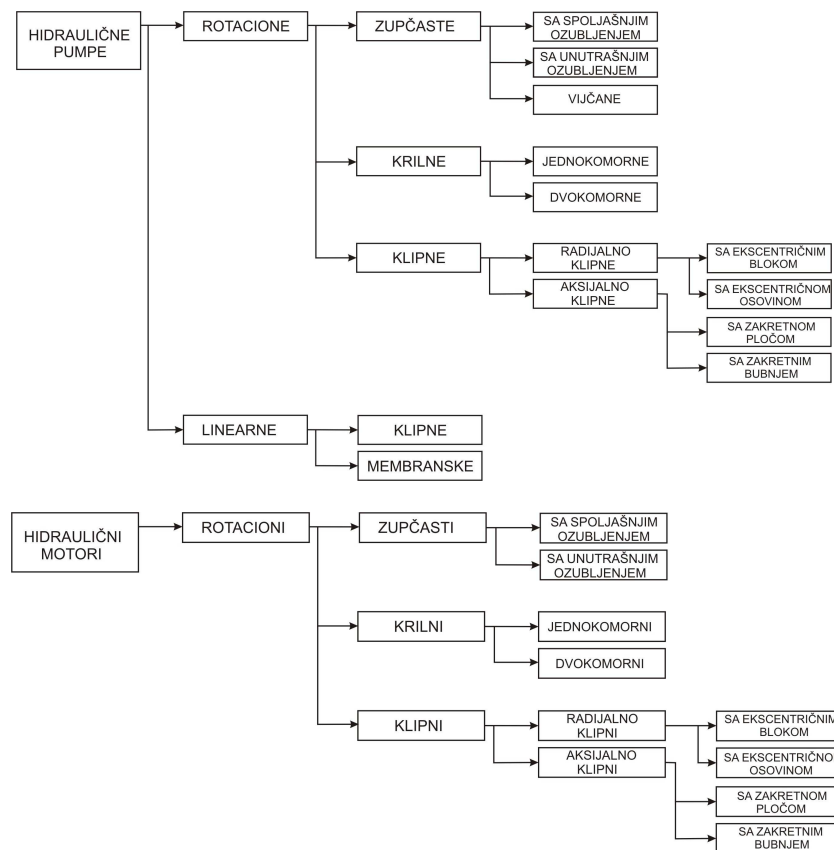
$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (4)$$

gde je ν koeficijent dinamičke viskoznosti, η koeficijent kinematičke viskoznosti, ρ gustina.

- stišljivost podrazumeva smanjenje zapremine fluida povećanjem pritiska i obrnuto, povećanje zapremine fluida smanjenjem pritiska.
- rastvaranje gasova iz vazduha u ulju dovodi do stvaranja pene koja povećava stišljivost ulja, koroziju i starenje ulja.
- na oksidaciju (starenje) fluida utiču rastvoreni gasovi, nečistoće, voda i povišena temperatura. Taloženje čestica nečistoće dovodi do začepljenja elemenata hidrauličnog sistema.
- zapaljivost je veoma bitna karakteristika ulja koju treba posebno uzeti u obzir u sistemima gde postoji opasnost od požara ili eksplozije.

2.2.1 Hidraulične pumpe i motori

Hidraulična pumpa predstavlja element hidrauličnog sistema koji služi za pretvaranje mehaničke energije u hidrauličnu, dok hidraulični motor služi za pretvaranje hidraulične energije u mehaničku. Pumpe i motore, prema principu transformacije energije, možemo podeliti na: zapreminske, strujne i mlazne (Slika 2.1). (J. Petrić, Ž. Šitum, M. Cipek, 2009)



Slika 2.1 Podela zapreminskih hidrauličnih pumpi i motora

Zupčaste pumpe i motori sa spoljašnjim ozubljenjem

Zupčaste pumpe i motori sa spoljašnjim ozubljenjem predstavljaju vrstu zapreminskih pumpi kod kojih se potiskivanje fluida vrši putem zuba zupčanika. Zapremina fluida koja se potiskuje zavisi od broja zupčanika i veličine međuzublja kao i broja obrtaja zupčanika u jedinici vremena. Smer rotacije zupčaste pumpe može da se menja promenom usisne i potisne strane. Jednostavne su konstrukcije, male ostvarene zapremine i imaju nisku cenu.

Zupčaste pumpe i motori sa unutrašnjim ozubljenjem

Zupčaste pumpe i motori sa unutrašnjim ozubljenjem imaju visok stepen stvaranja vakuuma (do 0.9 bara). Sastoje se od kućišta, dva zupčanika (jedan sa spoljašnjim drugi sa unutrašnjim ozubljenjem) i pregrade (u obliku srpa). Pogonski zupčanik je sa spoljašnjim ozubljenjem, dok je pogonjeni zupčanik sa unutrašnjim ozubljenjem. Pregrada je nepokretna i razdvaja usisnu od potisne komore. Obrtanjem zupčanika se stvara vakuum u međuzublja, usisava se fluid i transportuje u potisnu komoru. Ove pumpe karakteriše tih rad, mala zapremina i robustnost. (S.R. Deb, S. Deb, 2009)

Krilne pumpe i motori

Krilne pumpe i motori sastoje se od statora, rotora i krilaca (lamela) koja su umetnuta u žljebove u rotoru. Centar rotora je pomeren u odnosu na centar statora za rastojanje koje se naziva ekscentricitet i od njega zavisi kapacitet pumpe. Kod nekih konstrukcija se u žljebove stavljaju i po dva krilca da bi se smanjilo dejstvo radijalne sile na unutrašnju površinu statora.

Krilne pumpe sa ekscentričnim statorom se često koriste jer imaju veći kapacitet od krilne pumpe sa kružnim statorom, ali kod njih nije moguće menjati kapacitet pomeranjem statora. Karakteristika ovih pumpi je tih rad, konstantan protok i pritisak, kompaktna konstrukcija i pogodne su za upravljanje. (R. Korbar, 2007)

Klipno radijalne pumpe i motori

Klipno radijalne pumpe i motori su dobile naziv prema rasporedu klipova u odnosu na centar rotacije.

Klipno radijalne pumpe sa ekscentričnim blokom

Kod klipno radijalne pumpe sa ekscentričnim blokom klipovi su postavljeni unutar statora. Rotor je postavljen ekscentrično u odnosu na centar statora oko kog rotira. Klipovi su stalno priljubljeni na površinu rotora pod dejstvom sile opruge. Klipovi se kreću unutar cilindra dok su prostori u cilindrima u kojim se nalaze opruge povezani zajedničkim kanalom sa usisnom/potisnom stranom pumpe. Kada se klipovi kreću prema rotoru fluid se usisava, a kada se klipovi kreću od rotora fluid se potiskuje pod pritiskom. Klipno radijalne pumpe sa ekscentričnim blokom karakteriše visok radni pritisak i manji obrtni moment od klipno radijalnih pumpi sa ekscentričnom osovinom.

Klipno radijalne pumpe sa ekscentričnom osovinom

Kod klipno radijalne pumpe sa ekscentričnom osovinom, klipovi su postavljeni unutar rotora. Uz pomoć opruga i centrifugalne sile klipovi se potiskuju ka statoru. Centar rotora je ekscentrično postavljen u odnosu na centar statora. Od rastojanja između tih centara zavisi dužina hoda klipova i kapacitet pumpe. Klipno radijalne pumpe sa ekscentričnom osovinom karakteriše visok radni pritisak, mogu da ostvare velike brzine (imaju velik obrtni moment) i manje su kompaktne od klipno aksijalnih. (V. Savić, 1991)

Klipno aksijalne pumpe i motori

Klipno aksijalne pumpe i motori su najčešće korišćeni pogonski agregati u hidrauličnim sistemima. Ove pumpe karakteriše visok radni pritisak, veliki kapacitet, kompaktna konstrukcija i veliki moment inercije. Klipno aksijalne pumpe sa zakretnom pločom i sa zakretnim bubnjem se sastoje od kućišta u koje se nalaze klipovi koji su klipnjačom vezani za zakretnu ploču. Broj klipova je uvek neparan i najčešće iznosi sedam ili devet. (R. Korbar, 2007)

Klipno aksijalne pumpe sa zakretnom pločom

Kod klipno aksijalne pumpe sa zakretnom pločom kućište, klipovi i osa sabirne ploče se nalaze u istoj ravni. Na levoj polovini sabirne ploče se nalazi usisna komora, a na desnoj strani potisna komora pumpe. Zakretna ploča je uležištena na kosoj ravni i putem klipnjača vezana za klipove. Rotacijom ploče klipovi se uvlače ili izvlače odnosno uvlače ili potiskuju fluid. Dužina hoda klipa zavisi od ugla nagiba zakretne ploče. Ove pumpe karakteriše visok radni pritisak, mali moment inercije i mali ugao zakretanja ploče. Koriste se kod alatnih mašina, u brodogradnji i kod građevinskih mašina. (G. Onwubolu, 2005)

Klipno aksijalne pumpe sa zakretnim bubnjem

Kod klipno aksijalne pumpe sa zakretnim bubnjem, kućište (bubanj) i sabirna ploča se postavljaju pod uglom u odnosu na zakretnu ploču. Princip funkcionisanja je isti kao kod klipno aksijalne pumpe sa zakretnom pločom. Ove pumpe karakteriše visoka efektivnost, mali moment inercije, velike zapremine i mogućnost promene kapaciteta. Primena je ista kao kod klipno aksijalnih pumpi sa zakretnom pločom. (G. Onwubolu, 2005)

2.2.2 Hidraulični cilindri

Hidraulični cilindri služe za pretvaranje energije fluida u mehaničku energiju odnosno pravolinijsko ili oscilatorno kretanje. Sastoje se od nepokretnih delova (kućište, priključci za dovod/odvod fluida) i pokretnih delova (klipnjača, klip). Dele na cilindre jednosmernog i dvosmernog dejstva. Princip funkcionisanja hidrauličnih cilindara je isti kao kod pneumatskih, s tim da se radni medijum razlikuje (pneumatika – vazduh pod pritiskom, hidraulika – ulje, voda).

Hidraulični cilindar jednosmernog dejstva

Kod hidrauličnog cilindra jednosmernog dejstva kretanje klipa i klipnjače se omogućava dovođenjem fluida pod pritiskom samo sa jedne strane klipa dok se povratni hod cilindra ostvaruje pomoću sile opruge koja se nalazi unutar kućišta cilindra pri čemu priključak za dovod fluida postaje priključak za odvod fluida iz cilindra.

Sila kojom hidraulični cilindar jednosmernog dejstva deluje na radni predmet je određena prečnikom klipa (jednačina br. 5).

$$F_1 = p_1 \times A_1 = p \frac{D_1^2 \pi}{4}, \quad (5)$$

gde F_1 predstavlja silu delovanja cilindra, p predstavlja pritisak fluida, A_1 predstavlja površinu klipa po kojoj deluje pritisak i D_1 predstavlja prečnik klipa. (Vasilije N. Kelić, 1989)

Hidraulični cilindar dvosmernog dejstva

Kod hidrauličnog cilindra dvosmernog dejstva kretanje klipa i klipnjače se omogućava dovođenjem fluida pod pritiskom na jedan priključak (izvlačenje klipnjače) ili na drugi priključak (uvlačenje klipnjače).

Obzirom na to da su površine sa klipne i klipnjačine strane različite, brzine izvlačenja i uvlačenja klipnjače će biti različite i zavisice od pritiska radnog medijuma (fluida), što se može videti iz jednačina (jednačina br. 5. i jednačina br. 6.)

$$F_2 = p_2 (A_1 - a) = p \frac{D_1^2 - d^2}{4} \pi, \quad (6)$$

gde F_2 predstavlja silu delovanja cilindra dvosmernog dejstva pri uvlačenju klipnjače, p predstavlja pritisak fluida, A_1 predstavlja površinu klipa po kojoj deluje pritisak, a predstavlja površinu klipnjače, D_1 predstavlja prečnik klipa i d predstavlja prečnik

klipnjače. Ako pogledamo jednačinu br. 5 i jednačinu br. 6 možemo videti da razliku između površina na koju deluje fluid predstavlja površina klipnjače cilindra koja se nalazi samo sa jedne strane klipa. Razlika između D_1 i d predstavlja površinu na koju deluje fluid sa klipnjačine strane. (Vasilije N. Kelić, 1989)

Teleskopski hidraulični cilindar

Teleskopski hidraulični cilindar ima sličnu, ali robusniju, konstrukciju kao pneumatski teleskopski cilindar dok je način funkcionisanja isti.

Kod teleskopskog hidrauličnog cilindra jednosmernog dejstva fluid koji se dovodi na priključak počinje da ispunjava jednu po jednu komoru cilindra što dovodi do postepenog izvlačenja pojedinačnih segmenata cilindra, sve dok se na kraju ne izvuče klipnjača cilindra. Kada klipnjača treba da se uvuče dovodni priključak postaje odvodni i kroz njega se prazne komore svakog od segmenata sve dok se cilindar ne vrati u početni položaj (uvučena klipnjača).

Teleskopski hidraulični cilindar dvosmernog dejstva funkcioniše na istom principu kao i cilindar jednosmernog dejstva jedino što na kućištu cilindra postoje dva priključka za fluid. Jedan priključak služi za dovod fluida pri čemu dolazi do izvlačenja segmenata i klipnjače cilindra, dok se za odvod fluida koristi drugi priključak na cilindru.

Ukupna visina izvlačenja teleskopskog cilindra zavisi od broja segmenata i dužine svakog pojedinačnog sementa. Obzirom na to da segmenti nisu jednaki, za izvlačenje svakog pojedinačnog segmenta potreban je različit pritisak. Teleskopski hidraulični cilindri se najčešće koriste za pokretanje liftova ili kod raznih vrsta dizalica.

Hidraulični cilindar sa obostranom klipnjačom

Hidraulični cilindar sa obostranom klipnjačom predstavlja cilindar dvosmernog dejstva gde je klipnjača uležištena na obe strane kućišta cilindra. Klipnjača cilindra je na sredini čvrstom vezom vezana za klip.

2.2.3 Hidraulični ventili

Hidraulični ventili predstavljaju elemente hidrauličnog sistema koji služe za upravljanje tokom kretanja fluida. Dele se na: razvodnike, nepovratne ventile, ventile pritiska i ventile protoka.

Razvodnici

Princip rada hidrauličnih i pneumatskih razvodnika je sličan kao i njihove oznake. Možemo ih grupisati prema: broju položaja, broju priključaka, načinu aktiviranja, konfiguraciji i konstrukciji. (Vasilije N. Kelić, 1989)

Prema funkciji koju treba da vrše razvodnici mogu imati dva, tri, četiri ili pet priključaka kao i dva, tri ili četiri položaja. Razvodnici se kao i ostali elementi hidrauličnog sistema crtaju u neutralnom položaju (položaj u kom nisu aktivirani). Priključci na razvodniku se označavaju na sledeći način:

- napajanje fluidom - pumpa: 1 (ili P)
- radni priključci: 2, 4, 6 (ili A, B, C)
- rezervoar: 3, 5, 7 (ili R, S, T)

- upravljački vodovi: 12, 14 (ili Y, Z)
- drenažni vod: D
- neutralni položaj: 0

Način aktiviranja razvodnika se označava sa strane kvadrata i može biti:

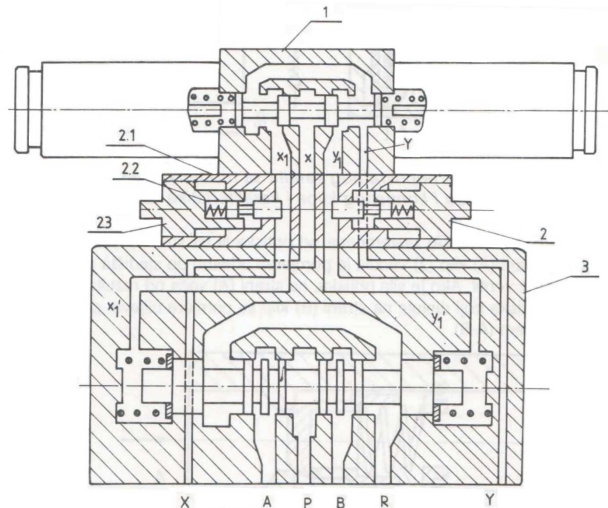
- manualno: ručicom, papučom
- mehaničko: pomoću opruge
- električno
- pneumatski
- hidraulično
- indirektno aktiviranje: komandni signal se pojačava nekim drugim signalom (pilot ventili)
- kombinovano aktiviranje: elektro aktiviranje kombinovano sa nekim drugim tipom (npr. hidrauličnim).

Prema konstrukciji razvodnici se dele na: razvodnike sa uzdužno pokretnim klipom, razvodnike sa sedištem, razvodnike sa zakretnim klipom i razvodnike sa odbojnom pločom.

Razvodnici sa uzdužno pokretnim klipom

Razvodnici sa uzdužno pokretnim klipom uglavnom imaju velik hod prebacivanja iz jednog položaja u drugi. Imaju jednostavnu konstrukciju i lako se habaju ako se pojave nečistoće u fluidu.

Pilot razvodnik prikazan na Slici 2.2, je eksterno upravljani što znači da je X vod odvojen od P voda i mora posebno da se dovede fluid pod pritiskom na oba priključka. Napajanje pilot razvodnika može biti i interno i u tom slučaju je vod X interno spojen sa vodom P pa se fluid pod pritiskom tada dovodi samo na priključak P. Obzirom da je u pitanju 5/2 razvodnik sa srednjim blokirajućim položajem, u početnoj poziciji fluid ne prolazi kroz razvodnik. Ako se dovede napajanje na levi elektromagnet pilot razvodnika, klip unutar njega se pomera u levu stranu i propušta fluid pod pritiskom od X ka X1 odnosno ka levoj strani glavnog razvodnika. Fluid pod pritiskom tada pomera klip u glavnom razvodniku u desnu stranu i prebacuje isti u aktivni položaj. Tada se fluid pod pritiskom iz voda P kreće ka vodu A što dovodi do izvlačenja klipnjače cilindra. Druga komora cilindra se rasterećuje vodom B i ka R (rezervoaru). Ako se dovede napajanje na desni elektromagnet pilot razvodnika, klip unutar njega se pomera u desnu stranu i propušta fluid pod pritiskom od Y ka Y1 odnosno ka desnoj strani glavnog razvodnika. Fluid pod pritiskom tada pomera klip u glavnom razvodniku na levu stranu i prebacuje isti u aktivni položaj. Tada se fluid pod pritiskom iz voda P kreće ka vodu B što dovodi do uvlačenja klipnjače cilindra. Druga komora cilindra se rasterećuje vodom A i ka R (rezervoaru). Brzina kretanja klipa može da se reguliše pomoću prigušnica na vodovima X1 i Y1. Smanjenje protoka fluida dovodi do smanjenja brzine i obrnuto. (V. Savić, 1991)



Slika 2.2 Presek 5/2 razvodnika sa uzdužno pokretnim klipom i pilot razvodnikom: 1-upravljački (pilot) razvodnik, 2- prigušnice, 3- glavni razvodnik

Razvodnici sa sedištem

Kod razvodnika sa sedištem otvaranje i zatvaranje razvodnika se vrši pomoću kuglice, tanjirića ili konusa koji su čvrstom vezom vezani za oprugu. Pritiskom na ručni taster potiskuje se kuglica (tanjirić, konus) i fluid pod pritiskom slobodno protiče od priključka P ka priključku A. Nakon otpuštanja tastera sila opruge vraća kuglicu (tanjirić, konus) u početni položaj i zatvara prolaz fluidu. Razvodnici sa sedištem su osetljivi na nečistoće i imaju mali hod.

Razvodnici sa zakretnim klipom

Razvodnici sa zakretnim klipom se koriste za visoke pritiske, mogu da imaju najviše tri položaja i uvek se manualno aktiviraju.

Razvodnici sa odbojnom pločom

Kod razvodnika sa odbojnom pločom protok fluida zavisi od položaja ploče. Pomeranjem ploče na jednu stranu, razvodnik se otvara i fluid se propušta od jednog ka drugom priključku razvodnika i obrnuto. Na ovom principu funkcionišu i servo razvodnici.

Nepovratni ventili

Nepovratni ventili se koriste u slučaju kada u jednom smeru treba propustiti fluid pod pritiskom, dok u drugom ne. Način funkcionisanja ovih ventila je isti kao kod razvodnika sa sedištem. U hidrauličnim sistemima se najčešće koriste nepovratni ventili sa konusnim sedištem jer imaju najbolje zaptivanje. Ugrađuju se na sledeći način: zajedno sa regulatorom protoka, na vodu koji izlazi iz pumpe da se fluid ne bi mogao vratiti u pumpu, u obilaznom vodu kod usisnog filtera i povratnog filtera da bi protok fluida bio obezbeđen u slučaju zagušenja filtera, između pumpe visokog i niskog pritiska radi obezbeđenja protoka ako ne radi pumpa niskog pritiska i oko regulatora protoka ako je neophodna regulacija protoka u oba pravca toka. (B. Nesbitt, 2007)

Nepovratni ventili sa mogu biti i hidraulično i elektro upravljani.

Ventili pritiska

Ventili pritiska se koriste za regulaciju i upravljanje pritiskom fluida. Prema njihovoj funkciji možemo ih podeliti na: ventile za ograničenje pritiska, redosledne ventile i regulatore pritiska.

Ventili za ograničenje pritiska

Ventili za ograničenje pritiska služe za ograničenje pritiska u hidrauličnom sistemu i ne dozvoljavaju da pritisak pređe dozvoljenu granicu koju definiše čovek. Na priključak P na se dovodi fluid pod pritiskom, dok se sa priključka R fluid pod pritiskom odvodi u rezervoar. Kad je pritisak fluida ispod dozvoljene granice opruga drži konusno sedište u donjem položaju i fluid pod pritiskom se ne propušta od priključka P ka priključku R. Kada pritisak fluida u vodu P bude veći od dozvoljene granice, pritisak savladava silu opruge pa se otvara prolaz od priključka P ka priključku R sve dok pritisak u vodu P ponovo ne bude manji od dozvoljenog. Okretanjem vijka se podešava sila opruge koja deluje na konusno sedište klipa. Cilindrični produžetak ventila služi za amortizaciju da ne bi dolazilo do udarnog rada ventila. (V. Savić, 1991.)

U ovu grupu spadaju sigurnosni i kočioni ventili. Obično se postavljaju na izlazu pumpe radi njene zaštite.

Redosledni ventili

Redosledni ventili funkcionišu na istom principu kao i ventili za ograničenje pritiska, a služe za isključenje ili uključanje dela hidrauličnog sistema, isključenjem ili uključenjem njegovog napajanja. Na primeru prikazanom na može se videti princip funkcionisanja redoslednog ventila. Fluid pod pritiskom se od pumpe kreće prema upravljačkom razvodniku desnog cilindra i redoslednom ventilu, koji se nalazi na vodu za dovod fluida pod pritiskom ka upravljačkom razvodniku levog cilindra. Aktiviranjem elektromagneta upravljačkog razvodnika desni cilindar se kreće u skladu sa zadatkom, dok u tom slučaju levi cilindar miruje. U slučaju da desni cilindar miruje, a pumpa i dalje radi, pritisak u sistemu počinje da raste pa se tada otvara redosledni ventil i propušta fluid pod pritiskom ka upravljačkom razvodniku levog cilindra. Aktiviranjem elektromagneta upravljačkog razvodnika levog cilindra, on počinje da se kreće. Ventil za regulaciju pritiska vezan na vod nakon pumpe služi za zaštitu pumpe od preopterećenja i vraća fluid pod pritiskom u rezervoar.

Redosledni ventili se koriste i za punjenje i pražnjenje akumulatora.

Regulatori pritiska

Regulatori pritiska se koriste za regulaciju pritiska (održanje zadate vrednosti pritiska) u određenom delu sistema bez obzira na promenu pritiska u ostalom delu hidrauličnog sistema. Postoje dvograni i trograni regulatori pritiska i uvek su u normalno otvorenom položaju.

Kod dvogranog regulatora pritiska protok fluida pod pritiskom se vrši konstantno od priključka P ka A koji je u negativnoj povratnoj sprezi sa propuštanjem fluida kroz ventil. Ako se pritisak fluida poveća povećava se i prigušenje ventila pomeranjem klipa udesno pod uticajem pritiska fluida. Sila pritiska mora biti u razvoteži sa silom opruge i na taj način se održava pritisak u sistemu. (R. Korbar, 2007)

Ventili protoka

Ventili protoka se koriste za regulaciju protoka fluida pod pritiskom u hidrauličnom sistemu. Promena protoka fluida se vrši povećanjem ili smanjenjem površine kroz koju fluid protiče.

Kod izbora ventila potrebno je znati oblik i veličinu površine kroz koju fluid pod pritiskom treba da protiče. Ventili protoka kod kojih su oblik i površina nepromenljivi su: mlaznica i blenda. Ako su oblik i površina promenljivi onda se su to regulacioni ventili. Ventile protoka delimo na: prigušne ventile i regulatore protoka.

Prigušni ventili

Prigušni ventili predstavljaju vrstu ventila kod kojih protok zavisi od pritiska i temperature. Pod uslovom da je slobodna površina kroz koju fluid pod pritiskom protiče konstanta, tada protok zavisi od razlike pritisaka fluida pre i posle ventila. Promena temperature utiče na viskoznost fluida, koja utiče na veličinu otpora u elementima hidrauličnog sistema, što znači da promena temperature utiče na protok fluida.

Prigušni ventili mogu biti nepodesivi i podesivi. Kod nepodesivih prigušnih ventila nije moguće podešavati stepen prigušenja, dok je to kod podesivih prigušnih ventila omogućeno postojanjem klipa sa zavojnicom. Kvalitet podesivih prigušnih ventila zavisi od mogućnosti finog podešavanja otpora.

Regulatori protoka

Regulatori protoka predstavljaju vrstu ventila kod kojih protok zavisi od temperature, a ne zavisi od pritiska. Temperatura utiče na protok na isti način kao i kod prigušnih ventila. Regulator protoka ima zadatak da održava konstantan protok pre i posle ventila, bez obzira na promenu pritiska fluida u sistemu.

2.2.4 Proporcionalna hidraulika

Proporcionalna hidraulika podrazumeva klasični hidraulični sistem gde su upravljačke komponente (razvodnici), regulatori protoka i pritiska zamenjeni proporcionalnim hidrauličnim komponentama. Proporcionalni razvodnik funkcioniše na sledećem principu: promenom struje ili napona na elektromagnetu proporcionalnog razvodnika (analogni signal) vrši se pomeranje klipa, unutar razvodnika, u više različitih položaja. Postoji dve vrste elektromagneta koji se koriste za upravljanje proporcionalnim razvodnicima: elektromagnet sa regulacijom sile i elektromagnet sa regulacijom dužine hoda.

Proporcionalna hidraulika je skuplja i komplikovanija od klasične hidraulike, ali ima svoju primenu u raznim sistemima. Prednosti proporcionalne hidraulike su: ostvarivanje velike tačnosti pozicioniranja, veliki broj položaja komandnog razvodnika pa samim tim i cilindra, razvodni ventil može da se koristi i za regulaciju pritiska i protoka i ostvarivanje velikih brzina cilindra sa laganim prelazima iz jedne poziciju u drugu.

2.2.5 Servo hidraulika

Servo hidraulika podrazumeva klasični hidraulični sistem gde su upravljačke komponente (razvodnici) zamenjeni servo hidrauličnim komponentama. Servo hidraulični sistem podrazumeva postojanje povratne sprege implementirane pomoću zatvorene upravljačke petlje. Zadana vrednost signala se implementira na servo razvodnik koji zatim upravlja radom izvršnog organa (hidrauličnog cilindra ili motora). Senzori i/ili enkodori preuzimaju informacije o funkcionisanju izvršnih organa i tu informaciju šalju ka upravljačkom kontroleru. Kontroler upoređuje zadatu sa stvarnom vrednosti i ako postoji razlika između tih vrednosti vrši se regulacija ulaznog signala u cilju postizanja željene vrednosti, odnosno preciznijeg i tačnijeg pozicioniranja razvodnika u skladu sa zadatim signalom.

Servo upravljački razvodnik može da se koristi za upravljanje parametrima kao što su: regulacija brzine, pritiska, protoka ili obrtnog momenta kod hidrauličnih motora.

2.3 Električni aktuatori

Električni aktuatori (elektromotori) predstavljaju uređaje koji pretvaraju električnu energiju (koju definišu struja i napon) u mehaničko kretanje (koje definišu moment i ugaona brzina). Elektromotori uglavnom rade na principu elektromagnetne indukcije, ali postoje druge vrste elektromotora koji koriste druge elektromehaničke fenomene (elektrostatička sila i piezoelektrični efekat).

Radom elektromotora upravlja pretvarač koji prilagođava napon i struju motoru čime mu pojačava snagu. Elektromotori se sastoje od pogona (motor), prenosnog mehaničkog elementa (reduktor) i radnog mehanizma. Ako radni mehanizam treba da vrši translatorno kretanje onda se koristi pužni prenos ili zupčasta letva koji pretvaraju rotaciono u translatorno kretanje. Kod linearnih elektromotora nije potreban mehanički prenos između motora i radnog mehanizma.

Elektromotore možemo klasifikovati prema: principu funkcionisanja, konstrukciji, primeni, izvoru napajanja, ili vrsti kretanja koju mogu da ostvare. Prema principu funkcionisanja elektromotore možemo podeliti na: motore jednosmerne struje (DC - direct current, eng.), naizmjenične struje (AC - alternate current, eng.), univerzalne motore i koračne (step - eng.) motore. (J. Velagić, 2012)

2.3.1 Step motori

Step motori predstavljaju uređaje koji pretvaraju električne impulse u mehaničko kretanje gde svaki električni impuls dovodi do zakretanja motora za određeni ugao. Najčešće ih pokreće jednosmerna struja, ali postoje slučajevi gde se koriste step motori koji pokreće naizmjenična struja. (T. K. Kiong, A. S. Putra, 2011)

Step motori predstavljaju elektromotore bez komutatora pri čemu se svi namotaji nalaze na statoru, dok rotor može biti permanentni magnet ili blok zupčanika od mekog magnetnog materijala (step motor sa promenljivom reluktancijom). Primena otvorene upravljačke petlje je uobičajena kod ove vrste motora, iako se kod novijih tipova step motora koristi povratna sprega koja se ostvaruje upotrebom senzora (npr. rezolver ili enkoder).

Princip funkcionisanja svih vrsta step motora je u sledeći: kada namotaji na statoru budu pod napajanjem dolazi do stvaranja magnetnih polova na istom. Od polariteta struje zavisi da li će doći do stvaranja N ili S magnetnog pola na namotaju statora. Polovi statora privlače suprotne polove rotora, pri čemu se rotor postavlja u odgovarajući položaj u odnosu na magnetno polje statora. Impulsno napajanje namotaja statora određenim redosledom će dovesti do pomeranja rotora istim tim redosledom. Ako je potrebno zadržati rotor u nekom položaju to može da se ostvari stalnim napajanjem određenog namotaja statora. (M. Wing, J. F. Gieras, 2002)

Prednosti step motora su: kompatibilnost sa digitalnim sistemima (nema potrebe za digitalno-analognim konverterima), male dimenzije i masa, niska cena, širok spektar koračnih uglova ($1,8^{\circ}$ - 90°) i obrtnih momenata, mogu biti i dvosmerni, izvršavanje sporih operacija bez reduktora, broj koraka je jednak broju impulsa, mogućnost dugog zadržavanja rotora u nekoj poziciji, mali moment inercije, mala potrošnja struje pri pokretanju, precizno pozicioniranje i ponovljivost pokreta, pouzdani jer nemaju četkice pa životni vek motora zavisi od životnog veka ležajeva.

Mane step motora su: fiksni korak, mala efikasnost, ograničene mogućnosti pokretanja radnog predmeta s velikim momentom inercije, proizvode više buke od servomotora, nisu pogodni za ostvarivanje velikih brzina rotacije.

Step motore možemo podeliti prema (J. Velagić, 2012):

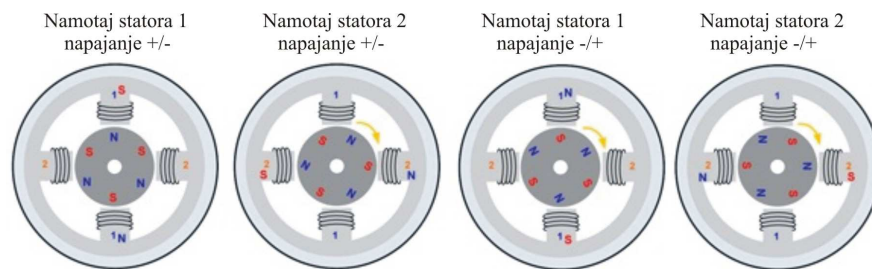
- vrsti pobude:
 - tipu pobude:
 - step motori sa permanentnim magnetom (rotor namagnetisan radijalno)
 - step motori sa promenljivom reluktancijom (nemaju pobudu)
 - hibridni step motori (permanentni magneti na rotoru smešteni aksijalno)
 - mestu pobude:
 - pobuda na statoru
 - pobuda na rotoru
- broju faza:
 - najčešći broj faza: 2, 3, 4, 5, 6
 - broj faza = 1 (satovi)
 - broj faza ≥ 1 (specijalne primene)
- broju polova:
 - step motor s permanentnim magnetima na rotoru, broj polova iznosi: 1 - 4
 - broj polova serijski proizvedenih step motora iznosi: 1 - 90
- načinu kretanja:
 - translatorsni (retko se koriste)
 - rotacioni.

Step motori sa permanentnim magnetom

Kod step motora sa permanentnim magnetom broj uglova rotacije zavisi od broja polova statora. Uglovi koraka zavise od konstrukcije motora i obično iznose: $1,8^{\circ}$, $7,5^{\circ}$, 15° , 45° i 90° . Rotor kod motora sa permanentnim magnetom je aksijalno namagnetisan što znači da jedan deo rotora predstavlja N magnetni pol dok drugi deo predstavlja S

magnetni pol. Step motori u osnovi predstavljaju višefazni AC sinhroni motor, jeftini su i mogu da ostvare visoku preciznost. (T. J. E. Miller, 1989)

Na Slici 2.3 je prikazan način funkcionisanja step motora sa permanentnim magnetom sa dva para namotaja statora (međusobno postavljenih pod uglom od 90°) i tri para polova na rotoru. Do rotacije ovog motora dolazi naizmeničnim napajanjem pojedinačnih namotaja statora pozitivnim ili negativnim naelektrisanjem. Ako se vrši napajanje pojedinačnih namotaja statora nakon tri koraka, rotor će pomeriti za ugao od 90° . Da bi rotor napravio pun krug potrebno je da ostvari dvanaest koraka.



Slika 2.3 Prikaz načina funkcionisanja step motora sa permanentnim magnetom sa 2 para namotaja statora

Step motori promenljive reluktancije

Step motori promenljive reluktancije imaju uglove koraka od 15° , mali moment inercije rotora i veoma brz odziv, što za posledicu ima mali moment inercije radnog predmeta. Rotor kod ove vrste motora je nazubljen, napravljen od metala (mekog gvožđa) i nije trajno namagnetisan.

Napajanjem pojedinačnih namotaja statora dolazi do stvaranja magnetnih polova statora koji privlače metalne zube rotora pri čemu se rotor pomera za jedan korak. Naizmeničnim napajanjem namotaja statora dolazi do rotacije rotora. Princip funkcionisanja ove vrste step motora je identičan principu funkcionisanja BLDC (motori jednosmerne struje bez četkica) motora. Prednost step motora sa promenljivom reluktancijom u odnosu na BLDC motore je da step motor može dugo da stoji u nekom položaju bez njegovog pregrevanja. (T. J. E. Miller, 1989)

Hibridni step motori

Hibridni step motori su kombinacija step motora sa permanentnim magnetom i promenljivom reluktancijom. Sastoje se od statora sa namotajima i nazubljenog metalnog rotora sa permanentnim magnetima. Način funkcionisanja hibridnog step motora je isti kao kod step motora sa permanentnim magnetom. Hibridni step motori su najprecizniji motori sa najboljim performansama, od pomenute tri vrste, ali su i najskuplji. Ovaj tip step motora ostvaruje manje uglove koraka, odličan je za primenu u aplikacijama gde je potreban visok stepen ponovljivosti, velik moment i brzine, a male gabaritne dimenzije motora. (J. Velagić, 2012)

Upravljanje radom step motora podrazumeva aktiviranje faza na tri različita načina: koračni, polu-koračni i mikrokoračni. (T. K. Kiong, A. S. Putra, 2011)

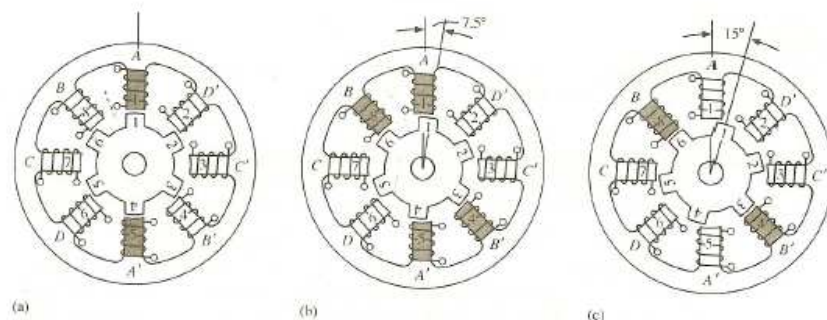
Koračni način upravljanja radom step motora podrazumeva to da je u jednom trenutku samo jedan namotaj statora pod napajanjem i da je rotor u svakom koraku u ravni sa polovima statora. Obzirom da se na ovaj način koristi samo jedan namotaj u jednom

trenutku, maksimalan obrtni moment koji motor može da ostvari je na taj način ograničen.

Polu-koračni način upravljanja radom step motora podrazumeva zakretanje rotora za polovinu koraka, što znači da će step motor od 100 koraka sa uglom rotacije od 1.8° imati 200 koraka i ugao rotacije od 0.9° . Da bi se ostvario polu-koračni način upravljanja step motorom potrebno je da motor kontroler napaja obe faze istovremeno istom jačinom struje.

Princip funkcionisanja polu-koračnog upravljanja radom step motora je prikazan na Slici 2.4. Kao što se može videti na Slici 2.4a prvo se napajaju namotaji označeni sa A i A' što je isto kao kod koračnog načina upravljanja step motorom. U drugom koraku, na Slici 2.4b, namotaji A i A' ali i namotaji B i B' su istovremeno pod napajanjem što dovodi do pomeranja rotora za dodatnih pola koraka jer se zbog iste jačine magnetnog polja rotor dovodi u ravnotežu između dva namotaja pod napajanjem, što predstavlja pola koraka. U trećem koraku, na Slici 2.4c, se napajaju samo B i B' namotaji što je opet jednako kao kod koračnog načina upravljanja step motorom. Nakon osam koraka rotor se vraća u početni položaj pri čemu se redosled aktiviranja namotaja ponavlja sve dok motor radi.

Prednost polu-koračnog načina upravljanja, u odnosu na koračni, je da se može ostvariti veća rezolucija dok je manji obrtni moment koji nije konstantan.



Slika 2.4 Princip funkcionisanja polu-koračnog upravljanja radom step motora

Mikrokoračni način upravljanja radom step motora predstavlja varijantu polu-koračnog načina upravljanja radom step motora. Umesto da se napajanje namotaja uključuje i isključuje, smanjuje se i pojačava jačina struje u namotajima. Rotor se tada zakreće za ugao koji određuje odnos jačina struje u namotajima. Ovaj promenljivi odnos jačina struje dovodi do stvaranja mikrokoraka u okviru svakog koraka.

Mikrokoračni način upravljanja omogućava preciznije upravljanje pozicioniranjem rotora, zaustavljanje rotora u određenom delu koraka, i manje oscilacije pri pomeranju rotora iz koraka u korak.

2.3.2 Motori jednosmerne struje (DC motori)

DC motore napaja jednosmerna električna energija. Mogu biti sa četkicama i bez četkica.

DC motori sa četkicama

Osnovne komponente DC motora sa četkicama su rotor, stator, komutator i četkice. Rotor predstavlja metalna osovina na koju su zavarena dva jezgra elektromagneta. Namotaje oko jezgra elektromagneta čini bakarna žica bez izolacije. Komutator se sastoji od prstena od neprovodljivog materijala, koji je pričvršćen na osovinu i rotira zajedno sa osovinom i dva spoljašnja prstena od provodničkog materijala postavljena oko njega. Spoljašnji prstenovi komutatora nisu međusobno spojeni i između njih postoji razmak, ali je svaki prsten spojen sa namotajima elektromagneta koji se nalaze na osovini rotora. Stator čine dva permanentna magneti koji su postavljeni jedan nasuprot drugog i različitih su polova. Između ta dva magneti postoji stalno magnetno polje unutar kojeg će se elektromagneti rotirati. Četkice predstavljaju metalne delove čiji ugljenični krajevi dodiruju spoljašnje prstenove komutatora i na taj način dovode napajanje na elektromagnete. One su uvek istog polariteta, koji je doveden sa izvora napajanja. Kada se osovina rotira polaritet na namotajima se menja jer jedan deo komutatora dodiruje četkicu sa pozitivnim, a drugi put sa negativnim polaritetom. Zbog postojanja razmaka između delova komutatora, nakon što se osovina motora zakrene za 90° nijedan deo komutatora nije pod napajanjem, ali zbog inercije osovina nastavlja da se okreće. Nakon što četkice ponovo dodirnu komutator, osovina motora nastavlja da se okreće u istom smeru. (N. Srb, 2007)

Nedostaci DC motora sa četkicama su mali obrtni moment motora i trošenje komutatora i četkica usled varničenja pri uključanju i prekidanju strujnog kola. Zamena komutatora na velikim motorima je veoma skupa i zahteva preciznu demontažu i montažu velikog broja sitnih delova. Kod malih motora je komutator obično integrisan sa rotorom, pa se u tom slučaju umesto komutatora menja ceo motor. (R. Firoozian, 2009)

DC motori bez četkica

DC motori bez četkica nemaju četkice i komutator već kontroler koji upravlja pozicioniranjem rotora. Imaju konstrukciju sličnu step motorima. Rotor DC motora bez četkica često čine permanentni magneti. Namotaji postavljeni u tri faze koje se aktiviraju redom jedna za drugom putem kontrolera koji dobija signal o detekciji magnetnog polja putem senzora (Holovi senzori). DC motor bez četkica se ustvari ponaša kao trofazni sinhroni motor.

Koriste se tamo gde je potrebno precizno upravljanje brzinom (hard disk, kasetofoni, cd/dvd rom čitači, ventilatori, i dr.). Prednosti DC motora bez četkica u odnosu na DC motore sa četkicama su: imaju visoku efikasnost (čak 95 %), nemaju komutator i četkice pa im je životni vek duži, koriste zatvorenu upravljačku petlju pomoću signala koji dobijaju od Holovih senzora, mogu da se koriste u sredinama u kojim postoje zapaljiva isparenja jer nemaju varničenja pri radu i vrlo su tihi u radu. (T. K. Kiong, A. S. Putra, 2011)

2.3.3 Motori naizmjenične struje (AC motori)

AC motore napaja naizmjenična električna energija. Možemo ih podeliti na sinhronu i indukcione (asinhronu). Magnetno kolo statora i namotaji statora su kod obe vrste AC motora jednaki. Ono što se razlikuje kod ove dve vrste motora je konstrukcija rotora.

Rotor sinhronne mašine ima pobudni namotaj čija jednosmerna struja stvara magnetni fluks. Umesto pobudnog namotaja rotor sinhronne mašine može imati permanentne magnete koji su ugrađeni u magnetno kolo rotora. Namotaj rotora asinhronne mašine je obično kavez koji se sastoji od aluminijskih štapova postavljenih u žljebovima rotora. Namotaj rotora asinhronne mašine je kratko spojen i kada rotor zaostaje za obrtnim poljem za iznos klizanja, u štapovima kratko spojenog kaveza se indukuju elektromotorne sile i javlja se struja. Sa dejstvom indukovanih struja i magnetnog polja dobija se elektromagnetni momenat koji je proporcionalan klizanju. Pri nominalnom radu, rotor se ne obrće sinhrono sa poljem, pa se ovakav motor naziva asinhroni. Rotor sinhronne mašine je elektromagnet ili permanentni magnet. Rotor se vrti sinhrono sa obrtnim poljem i stvara momenat proporcionalan vektorskom proizvodu statorskog i rotorskog fluksa. Naziv ovih AC motora potiče od sinhronog obrtanja rotora i polja. (S. N. Vukosavić, 2010)

3 ODREĐIVANJE PARAMETARA KORELACIJE IZBORA

AKTUATORA I VREMENA CIKLUSA PROIZVODNJE

U svakom proizvodnom sistemu jedan od ključnih faktora predstavlja vreme ciklusa proizvodnje, posebno sa stanovišta efikasnosti samog ciklusa. Ono određuje vremenski period unutar kog se ostvaruju aktivnosti vezane za proces proizvodnje. Da bi proizvodnja bila efikasnija potrebno je da se vreme trajanja ciklusa proizvodnje minimizira. Ako se radi o manualnoj proizvodnji, bez obzira na vrstu proizvodnje, potrebno je smanjiti broj zahvata u okviru operacija, kao i broj pokreta u okviru zahvata da bi se smanjilo vreme trajanja proizvodnog ciklusa. U slučaju da je reč o automatizovanoj proizvodnji odnosno o upotrebi aktuatora u proizvodnim procesima, vreme trajanja proizvodnog ciklusa može da se minimizira na više načina, a jedan od njih je i izbor odgovarajućeg aktuatora za dati proizvodni proces.

Da bi se izvršio izbor odgovarajućeg aktuatora za dati proizvodni i/ili montažni sistem potrebno je definisati sledeće parametre:

- koji su funkcionalni zahtevi proizvodnog i/ili montažnog sistema?
- koja je vrsta pogona najpogodnija za dati sistem?
- koje su željene performanse sistema (bez obzira na cenu komponenti)?
- koliko iznosi vreme trajanja proizvodnog i/ili montažnog ciklusa?
- kolika je masa radnog predmeta koji aktuator treba da pokreće?
- koji način upravljanja najviše odgovara datom sistemu?

Cilj izbora odgovarajućeg aktuatora za dati proces je ostvarivanje najboljih performansi za najmanju količinu uloženog novca. Troškovi vezani za životni ciklus aktuatora mogu da se svrstaju u tri grupe:

- troškovi kupovine aktuatora,
- troškovi popravke i održavanja,
- troškovi rada (električna energija).

Izbor aktuatora prvenstveno zavisi od njegove namene u proizvodnom sistemu. Postoje proizvodni procesi gde je neophodno koristiti pneumatske aktuatore kao što su eksplozivne sredine, farmaceutska industrija ili čiste sobe. Postoje i električni aktuatori koji mogu da se koriste u te svrhe, ali su njihovi gabariti višestruko veći od konvencionalnih elektro komponenti pa često nema mesta za njihovu montažu. Ako je potrebno ostvariti velike sile npr. podizanje nekog velikog i teškog radnog predmeta ili ako se radi o procesu presovanja materijala, najveću efikasnost u tom slučaju imaju hidraulični aktuatori. Električni aktuatori se mogu koristiti u svim proizvodnim procesima jer je industrija električnih aktuatora napredovala u toj meri da postoje aktuatori za ogroman broj različitih aplikacija, pitanje je samo da li mogu da zadovolje zahtevanu efikasnost i cenu.

Kada je reč o industrijskim manipulatorima poslednjih godina se koriste uglavnom samo električni aktuatori jer bez obzira na njihovu cenu (najskuplji su) imaju

najbolje performanse. Više nije upitno koji tip aktuatora izabrati pri projektovanju manipulatora za određeni proizvodni proces već koji tip električnog aktuatora izabrati.

3.1 Parametri neophodni pri procesu izbora aktuatora

Proces izbora aktuatora se može svesti na sledeće korake: definisanje ciljeva kretanja, izbor mehaničkih komponenti, definisanje vremena opterećenja i proračun opterećenja.

Definisanje ciljeva kretanja

Parametri potrebni za definisanje ciljeva kretanja su:

- zahtevana preciznost,
- zahtevana ponovljivost,
- zahtevana brzina,
- vrsta kretanja: linearno ili rotaciono,
- ako je linearno: horizontalno ili vertikalno,
- ambijentalni uslovi (npr. temperatura),
- koje su tehnologije aktuatora najpovoljnije za datu aplikaciju.

Izbor mehaničkih komponenti (za električni aktuator)

Potrebno je definisati koje su mehaničke komponente neophodne za datu aplikaciju:

- direktan pogon,
- specijalne aplikacije ili standardni mehanički uređaji,
- kod linearnih kretanja: upotreba linearnog motora, zupčastog kaiša ili navojnog vretena,
- reduktor,
- izbor spojnice i osovine.

Definisanje vremena trajanja opterećenja

Projektant mora da definiše maksimalnu brzinu, ubrzanje i vreme trajanja ciklusa za datu aplikaciju pomoću sledećih parametara:

- definisanje brzine i ubrzanja,
- izbor profila kretanja: trouglast, trapezoidan ili neki drugi,
- kod linearnog kretanja: vreme trajanja ciklusa ne sme da bude manje od vremena potrebnog za kretanje od početka do kraja linearne ose,
- ograničenja vezana za trzaje pri kretanju,
- proračun opterećenja,
- promene karakteristika radnog predmeta (masa, dimenzija) u toku ciklusa,
- nagla zaustavljanja kretanja (trenutno zaustavljanje).

Proračun opterećenja

Oprerećenje zavisi od obrtnog momenta koji je neophodan za pokretanje aktuatora. Obrtni moment je definisan momentom inercije koji stvaraju mehaničke komponente aktuatora. Potrebno je definisati sledeće parametre:

- proračun momenta inercije svih pokretnih delova,
- uticaj momenta inercije na aktuator,
- odrediti brzinu i ubrzanje na osovini aktuatora (kod rotacionih kretanja),
- odrediti uticaj momenta inercije na ubrzanje osovine aktuatora (kod rotacionih kretanja),
- definisati koje sile osim momenta inercije utiču na opterećenje (npr. gravitacija, trenje)
- odrediti konstantan obrtni moment osovine aktuatora (kod rotacionih kretanja),
- odrediti ukupno ubrzanje i obrtni moment aktuatora (kod rotacionih kretanja).

U cilju izbora odgovarajućeg aktuatora za dati sistem neophodno je ispratiti sve navedene korake: definisanje ciljeva kretanja, izbor mehaničkih komponenti, definisanje vremena opterećenja i proračun opterećenja, ali bitno je obratiti pažnju na to da se neki parametri iz datih koraka odnose samo na određenu vrstu aktuatora (rotacione aktuatore kao što su npr: električni motori).

3.2 Parametri izbora aktuatora koji zavise od zahteva sistema

Parametri izbora aktuatora koji zavise od zahteva sistema u koji se ugrađuju se odnose na: dizajn, performanse i način funkcionisanja sistema.

Parametri izbora aktuatora koji se odnose na dizajn sistema su: način i pozicija montaže proizvodno - montažnog sistema koji se projektuje u odnosu na postojeći sistem, dimenzije, izgled i fleksibilnost proizvodno - montažnog sistema koji se projektuje. Ovi parametri utiču na izbor tipa aktuatora i njegov efektivni hod (ako je u pitanju linearni aktuator).

Parametri izbora aktuatora koji se odnose na performanse i način funkcionisanja sistema su: masa radnog predmeta, vreme trajanja proizvodno - montažnog ciklusa, odnos količina i vrsta proizvoda koje je potrebno proizvoditi u datom proizvodno - montažnom sistemu, tačnost i preciznost rada aktuatora, način upravljanja i izbor dodatnih komponenti sistema (npr: izbor pneumatskih razvodnika ako je u pitanju pneumatski aktuator, i dr.). Ovi parametri utiču na izbor tipa, vrste i karakteristike aktuatora (brzinu, ubrzanje, usporenje, tačnost pozicioniranja, i dr.).

Pri izboru aktuatora potrebno uzeti u obzir sve navedene parametre, ali je takođe, kao dodatni parametar, potrebno uzeti u obzir i cene aktuatora i svih komponenti neophodnih za funkcionisanje datog aktuatora.

3.3 Određivanje vremena trajanja proizvodnog ciklusa

Osnovne karakteristike proizvoda su: složenost, kvalitet i količine. Osnovne karakteristike proizvodnog sistema su: efektivnost i kapacitet. Efektivnost sistema je verovatnoća da će sistem u najkraćem vremenu stupiti u dejstvo, da će pouzdano raditi u projektovanom vremenu bez otkaza i da će se lako i brzo prilagođavati promenama u okruženju. Kapacitet je maksimalna količina rada u datom vremenu. (D. Zelenović, I. Ćosić, R. Maksimović, 2003)

U cilju određivanja vremena trajanja proizvodnje potrebno je definisati varijantu i tip toka proizvodnje (odnos količina i broja različitih proizvoda koje se proizvode). Nakon toga je neophodno podeliti proizvodni, montažni proces na operacije i zahvate u okviru tih operacija, radi proračuna ukupnog vremena trajanja ciklusa.

3.3.1 Varijanta i tip toka proizvodnje

Postoji četiri varijante toka proizvodnog sistema koje su direktno zavisne od odnosa opterećenje/kapacitet. Varijante 1.1 i 1.2 se odnose na prekidne tokove materijala u proizvodnom sistemu, dok se varijante 2.1 i 2.2 odnose na neprekidne tokove materijala u proizvodnom sistemu. Prekidni tokovi materijala podrazumevaju širi proizvodni program i manje količine proizvoda koji se proizvode (područja III i IV u $p_j - q_j$ dijagramu). Neprekidni tokovi se odnose na užji proizvodni program i veće količine proizvoda koji se proizvode (područja I i II u $p_j - q_j$ dijagramu).

Varijanta 1.1 Osnovni pojedinačni tok

Karakteristike ove varijante toka su:

- prekidni tok,
- veliki broj predmeta rada u jediničnim količinama,
- tehnološki sistemi opšte namene,
- maksimalan stepen fleksibilnosti,
- vremena trajanja ciklusa su u funkciji stepena složenosti proizvoda,
- predmeti rada pojedinačno prolaze kroz tok (automatizacija nema smisla).

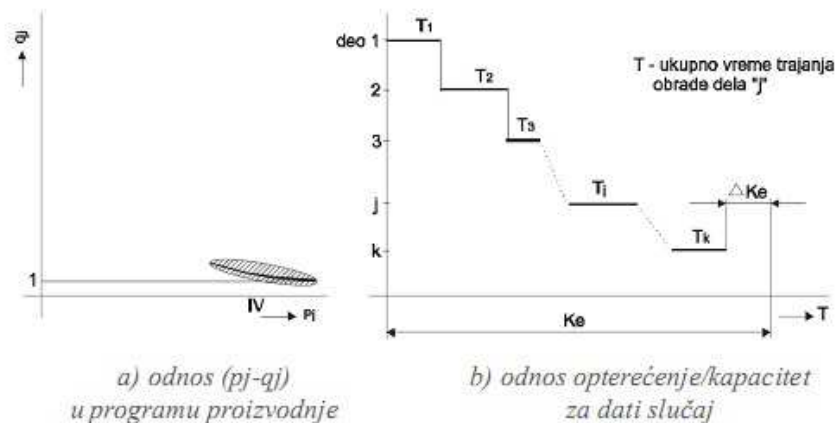
Proizvodni program u ovom slučaju čine različiti proizvodi u jediničnim ili približno jediničnim količinama (Slika 3.1) i tada važi (jednačina br. 7):

$$\sum_{i=1}^m T_i < K_e, \quad (7)$$

gde je R- ritam toka (jednačina br. 8):

$$R = \frac{K_e}{Q} = K_e', \quad (8)$$

što znači da je ukupna količina rada potrebna za izradu datog proizvoda manja ili jednaka K_e - efektivnom kapacitetu jer je Q- količina proizvoda tada jednaka 1. (D. Zelenović, I. Ćosić, R. Maksimović, 2003)



Slika 3.1 Prikaz odnosa količina/proizvodni program i opterećenje/kapacitet kod varijante toka 1.1

Varijanta 1.2 Pojedinačni tok procesnog tipa

Karakteristike ove varijante toka su:

- prekidni tok,
- povišen nivo fleksibilnosti,
- šire strukture i manje količine proizvoda,
- univerzalnost sredstava rada,
- duga vremena trajanja ciklusa proizvodnje,
- visoko kvalifikovana radna snaga,
- visok nivo nedovršene proizvodnje.

Proizvodni program u ovom slučaju čine različiti proizvodi u različitim količinama (Slika 3.2). Proizvodnja se ogleda u izradi istih delova u datoj količini gde mora biti (jednačina br. 9, jednačina br. 10):

$$\sum_{i=1}^m T_i > K_e, \quad (9)$$

i

$$T_i = q_j \times t_{ii}, \quad (10)$$

gde je ukupna količina rada, za predmete rada na određenoj operaciji, veća od efektivnog kapaciteta.

Slučaj kada je (jednačina br. 11, jednačina br. 12):

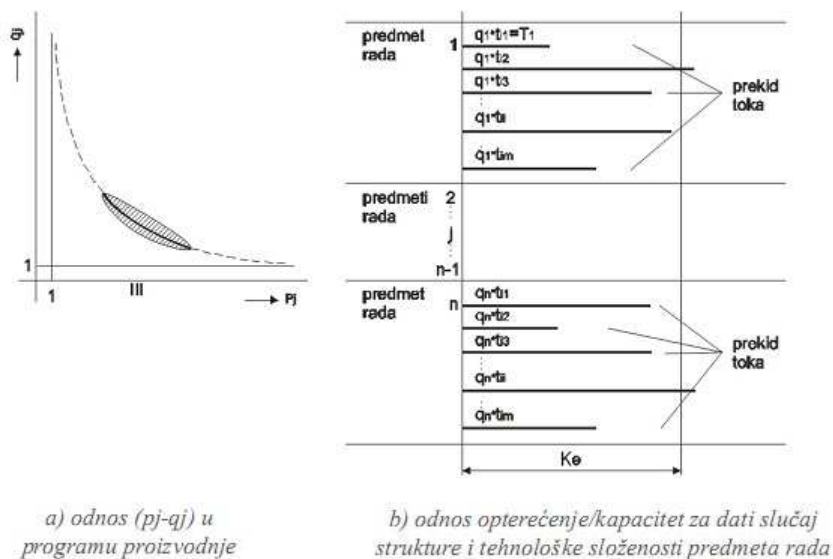
$$T_{i \max} \langle K_e, \quad (11)$$

odnosno

$$q_j \times t_{i \max} \langle K_e, \quad (12)$$

može biti samo ako je na većem broju od m operacija rada (jednačina br. 13):

$$(q_j \times t_{ii}) < K_e. \quad (13)$$



Slika 3.2 Prikaz odnosa količina/proizvodni program i opterećenje/kapacitet kod varijante toka 1.2

Varijanta 2.1 Pojedinačni višepredmetni tok

Karakteristike ove varijante toka su:

- odvijanje procesa rada u partijama,
- pojednostavljeno upravljanje,
- povišena efektivnost,
- produkioni tehnološki sistemi (isplativa automatizacija),
- velikoserijska proizvodnja,
- postojanje međuskladišta,
- smanjen stepen fleksibilnosti,
- niži nivo nedovršene proizvodnje.

Kod ove varijante toka proizvodni program je uže strukture (slični proizvodi), dok je količina proizvoda koji se proizvode, veća u odnosu na varijantu toka 1.2 (Slika 3.3). Za predmete rada u ovoj varijanti toka važi (jednačina br. 14, jednačina br. 15):

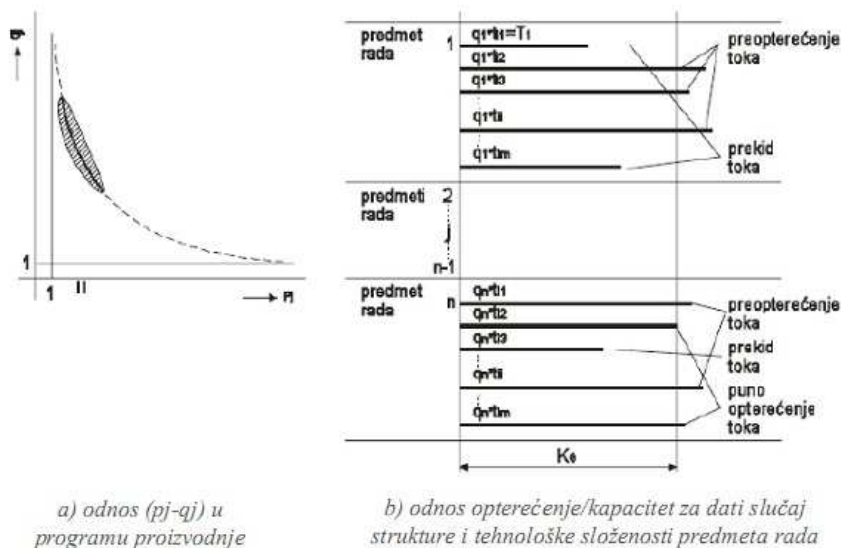
$$\sum_{i=1}^m T_{ii} \gg K_e, \quad (14)$$

i

$$T_{i \max} > K_e. \quad (15)$$

Ukupna količina rada potrebna za izradu predmeta rada na određenoj operaciji je višestruko veća od efektivnog kapaciteta, ako je zadovoljen sledeći uslov (jednačina br. 16):

$$(q_j \times t_{ii}) > K_e. \quad (16)$$



Slika 3.3 Prikaz odnosa količina/proizvodni program i opterećenje/kapacitet kod varijante toka 2.1

Varijanta 2.2 Jednopedmetni tok

Karakteristike ove varijante toka su:

- visok stepen efektivnosti,
- namenski tehnološki sistemi (visok nivo automatizacije),
- masovna i velikoserijska proizvodnja,
- mali broj različitih predmeta rada,
- niska fleksibilnost,
- maksimalna jednostavnost upravljanja.

Proizvodni program kod ove varijante toka čini jedan ili mali broj predmeta rada u velikim količinama (Slika 3.4). Za predmete rada u ovoj varijanti toka važi (jednačina br. 17, jednačina br. 18):

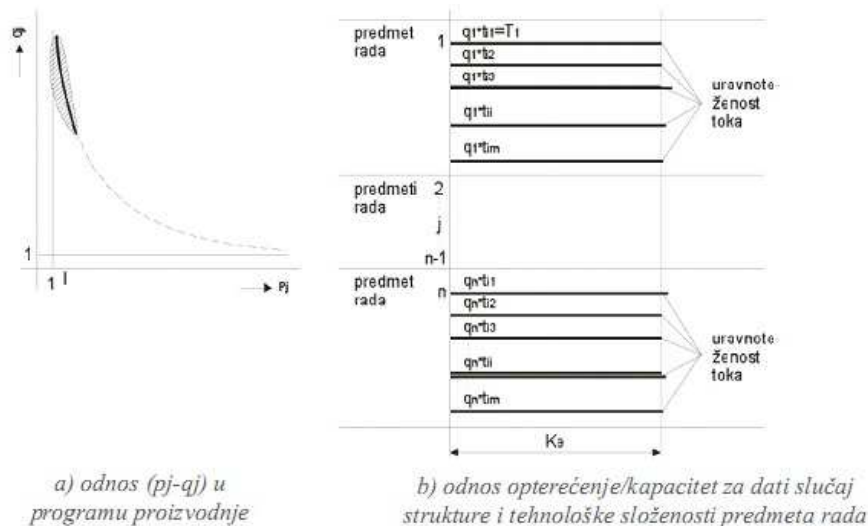
$$T_{i \min} \geq K_e, \tag{17}$$

odnosno:

$$(q_j \times t_{\min}) \geq K_e, \tag{18}$$

gde je onda ritam toka (jednačina br. 19):

$$R = \frac{K_e}{q_j}. \tag{19}$$



Slika 3.4 Prikaz odnosa količina/proizvodni program i opterećenje/kapacitet kod varijante toka 2.2

Sve prethodno navedene jednačine, vezane za vreme trajanja montaže, su preuzete iz literature (D. Zelenović, I. Ćosić, R. Maksimović, 2003 i D. Zelenović, 1997).

3.3.2 Određivanje vremena montaže proizvoda

Vreme montaže zavisi od vremena trajanja zahvata ili operacija montaže. Vremena se mogu grupisati u t_{io} - osnovno vreme montaže, t_{zi} - vreme potrebno za izvođenje jednog zahvata, t_{oi} - vreme potrebno za izvođenje jedne operacije. Osnovno vreme montaže se deli na t_{pz} - priremno-završno vreme i t_{ii} - vreme montaže. Pripremano-završno vreme se obično daje za celu seriju, i može biti t_{pzo} - osnovno i t_{pzd} - dopunsko. Osnovno pripremano-završno vreme se odnosi na pripremanje radnog mesta, pregled dokumentacije, pripremu delova, podsklopova i sklopova za rad, i dr. Dopunsko pripremano-završno vreme se odnosi na gubitke koje radnik ima u toku osnovnog pripremano-završnog vremena i daje se procentualno. Iz toga sledi da je (jednačina br. 20):

$$t_{pz} = t_{pzo} + t_{pzd} \text{ (min/ser)}. \quad (20)$$

Vreme montaže predstavlja vreme potrebno za izvršenje jedne operacije montaže i deli se na t_{io} - osnovno vreme montaže, t_{ip} - pomoćno vreme montaže i t_{id} - dopunsko vreme montaže. Ako se montaža vrši na mašinama, onda je osnovno vreme montaže mašinsko vreme. Ako se montaža vrši priručnim alatima i ručno, onda je to ručno vreme montaže. Pomoćno vreme montaže se odnosi na vreme pre ili odmah nakon osnovne montaže (npr. pozicioniranje, orijentisanje predmeta montaže, uzimanje ili odlaganje alata i dr.). Dopunsko vreme montaže se odnosi na gubitke vezane za lošu organizaciju i druge nedostatke. Iz toga sledi da je vreme potrebno za izvođenje jedne operacije montaže (jednačina br. 21):

$$t_{ii} = t_{io} + t_{ip} + t_{id} \text{ (vr.jed.)}. \quad (21)$$

Stepen tehnološke složenosti, odnosno vreme potrebno za izvođenje svih operacija montaže na jednom proizvodu se označava sa (jednačina br. 22):

$$\sum_{i=1}^m t_{ii}(\text{vr. jed.} / \text{jed. pr.r.}), \quad (22)$$

gde je m- broj operacija montaže koje se izvode na datom proizvodu. Ukupno vreme potrebno za montažu jednog proizvoda je (jednačina br. 23):

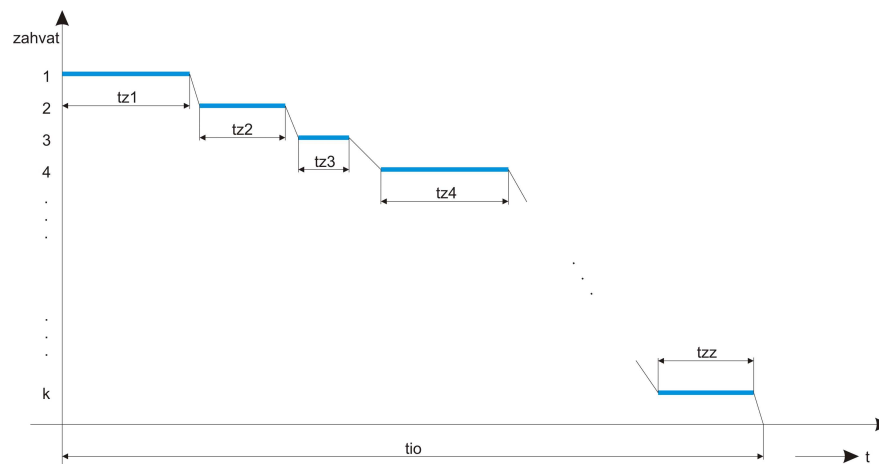
$$t_{pj} = \frac{t_{pz}}{n} + \sum_{i=1}^m t_{ii}(\text{vr. jed.} / \text{jed. pr.r.}), \quad (23)$$

gde je j- redni broj proizvoda, n- broj proizvoda u seriji. Sledi da je vreme potrebno za montažu serije (jednačina br. 24):

$$t_n = t_{pz} + n \sum_{i=1}^m t_{ii}(\text{vr. jed.} / \text{ser.}) . \quad (24)$$

Osnovne klase u montaži se dele na: I klasa- redni način montaže, II klasa- redno-paralelni način montaže i III klasa- paralelni način montaže.

I klasu montaže (Slika 3.5) karakteriše to što montažu izvodi jedan montažer koji izvodi samo jedan zahvat.

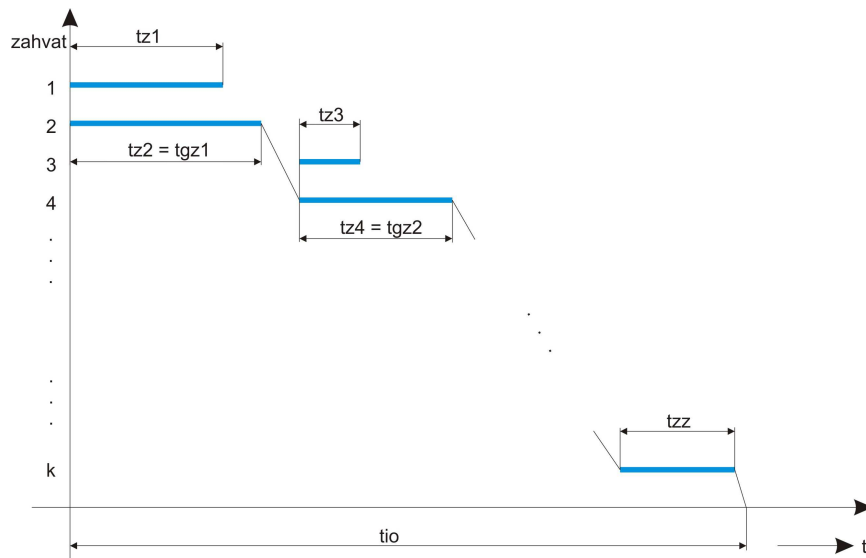


Slika 3.5 I klasa montaže

Izvršavanje sledećeg zahvata počinje tek nakon završetka prethodnog, pa je vreme potrebno za izvođenje jedne operacije montaže jednako zbiru vremena redno izvršenih zahvata što je prikazano jednačinom (jednačina br. 25).

$$t_{io} = t_{z1} + t_{z2} + \dots + t_{zz} = \sum_{i=1}^{i=z} t_{zi} . \quad (25)$$

II klasu montaže (Slika 3.6) karakteriše to što se u pojedinačni zahvati okviru jedne grupe zahvata izvode paralelno, dok se prelaz sa jedne grupe zahvata na drugu izvodi redno. Grupa zahvata predstavlja sve zahvate koji se izvode istovremeno odnosno paralelno na jednom predmetu montaže u jednoj poziciji, u okviru jedne operacije montaže. Svi zahvati iz grupe se izvode paralelno, ali ne moraju da počnu da se izvršavaju istovremeno već moraju da se završe u vremenu trajanja najdužeg zahvata u grupi.

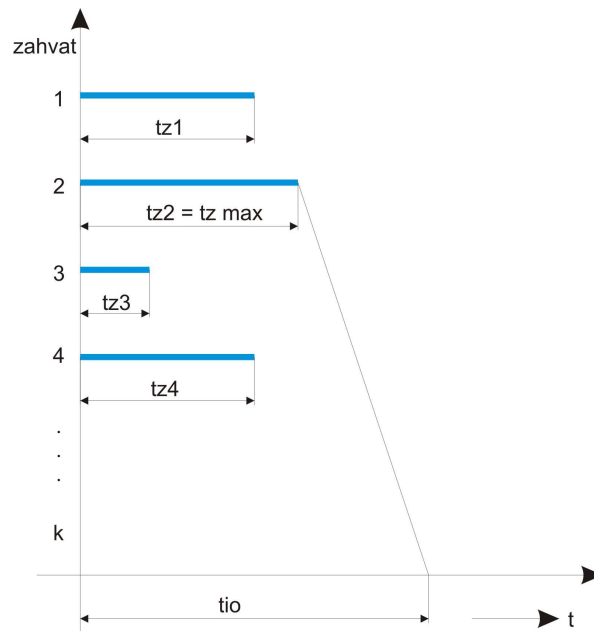


Slika 3.6 II klasa montaže

Osnovno vreme montaže je određeno vremenom trajanja najdužeg zahvata u grupi (jednačina br. 26):

$$t_{io} = (t_{gzi})_1 \max + (t_{gzi})_2 \max + \dots + (t_{gzi})_p \max = \sum_{p=1}^{p=\infty} (t_{gzi})_p \max . \quad (26)$$

III klasu montaže (Slika 3.7) karakteriše istovremeno izvođenje svih zahvata na jednom predmetu montaže, u okviru jedne operacije.



Slika 3.7 III klasa montaže

Osnovno vreme montaže je uvek jednako vremenu najdužeg zahvata, što može da se prikaže sledećom jednačinom (jednačina br. 27):

$$t_{io} = t_{z2} = (t_{zi}) \max . \quad (27)$$

Sve prethodno navedene jednačine, vezane za vreme trajanja montaže, su detaljnije opisane u knjizi "Montažni sistemi". (D. Zelenović, I. Ćosić, 1991)

4 STUDIJE SLUČAJA

U ovom poglavlju je opisan postupak izbora i analiza izabranih aktuatora, u zavisnosti od zahteva proizvodnih sistema. Opisani su slučajevi za dva različita tipa proizvodnog procesa: jedan predstavlja manipulator za proces brizganja plastičnih proizvoda i drugi čine manipulatori za mašinu za termoformiranje.

4.1 Manipulator za proces brizganja plastičnih proizvoda

Manipulator za proces brizganja plastičnih proizvoda služi za dostavljanje etikete u alat mašine za brizganje plastičnih proizvoda. Zahtevi koji su postavljeni pred projektanta ovog manipulatora su bili sledeći:

- vreme za koje manipulator treba da ostavi etiketu u alat mašine mora biti kraće od vremena trajanja ciklusa brizganja plastičnih proizvoda,
- manipulator mora da se montira sa gornje strane mašine za brizganje plastičnih proizvoda,
- rad sa etiketama za plastične proizvode zapremine do 2 l,
- cena,
- fleksibilnost, odnosno mogućnost rada sa različitim proizvodima koji se brizgaju na datoj mašini,
- preciznost i tačnost pri pozicioniranju manipulatora odnosu na alat mašine za brizganje plastičnih proizvoda,
- vreme trajanja ciklusa proizvodnje plastičnih proizvoda,
- dimenzije,
- jednostavna konstrukcija.

Iz navedenih zahteva za izradu manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda se može uočiti da su oni delom uslovljeni i mašinom za brizganje plastičnih proizvoda na koju se postavljaju. U tekstu koji sledi biće opisana mašina za brizganje plastičnih proizvoda koja je bila korišćena u ovoj studiji slučaja.

4.1.1 Mašina za brizganje plastičnih proizvoda

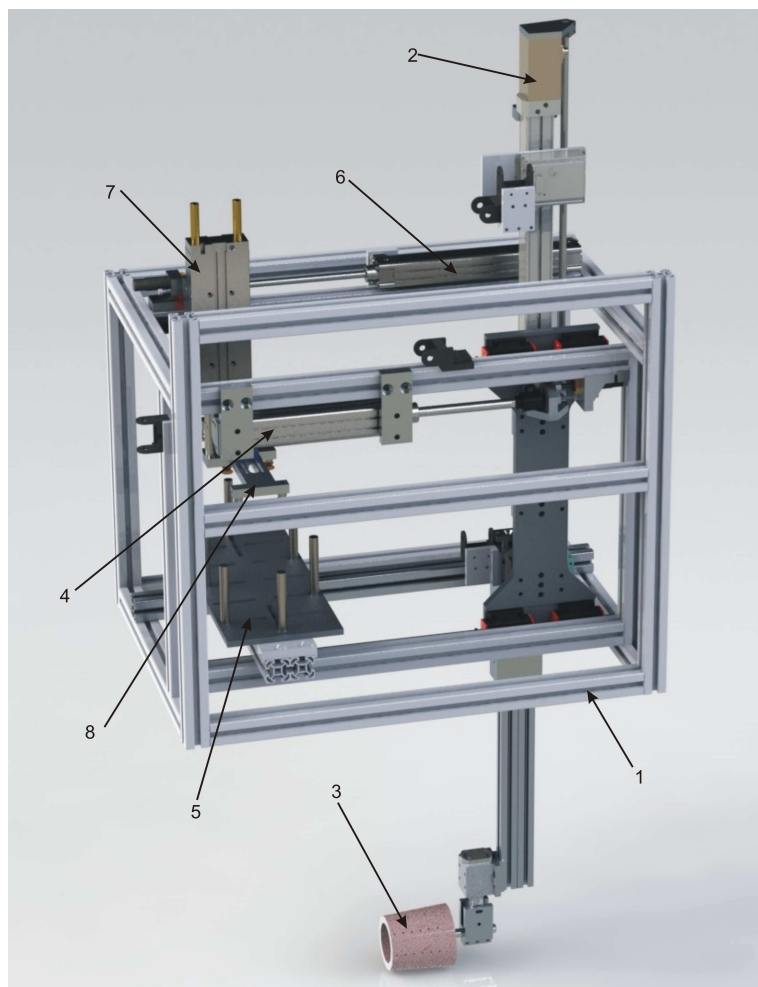
Mašina za brizganje plastičnih proizvoda je tipa SA 1600 kineske firme Haitian. Sila zatvaranja alata ove mašine iznosi 1600 kN. Maksimalan razmak između muškog i ženskog dela alata kod Haitian SA 1600 mašine iznosi 520 mm. SA 1600 mašina je predviđena za proizvodnju proizvoda zapremine do 2 l.

Ciklus brizganja plastičnih proizvoda čine sledeći podproces: zatvaranje alata, potiskivanje materijala u brizgaljku, brizganje, otvaranje alata i izbacivanje gotovog proizvoda. Ovaj ciklus se odvija u vremenskom periodu od 10 do 20 sekundi u zavisnosti od dimenzija i debljine zida proizvoda koji se brizga. Parametri ključni za proces brizganja (pritisci, temperature, vreme brizganja, doziranje sirovine, vreme čekanja nakon brizganja, temperature i vremena hlađenja, i dr.) se podešavaju pre samog procesa, ali i u toku procesa brizganja da ne bi došlo do pojave škarta. Ovi parametri se podešavaju putem displeja koji se nalazi na upravljačkom pultu mašine.

Izbacivanje gotovog proizvoda se vrši putem vazduha pod pritiskom i/ili mehaničkim putem (izbijač - cilindar koji potiskuje odlivak).

4.1.2 Izgled i delovi manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda

Manipulator o kojem je reč u ovom radu (Slika 4.1) se sastoji od: noseće konstrukcije koju čine aluminijumski profili 40 mm x 40 mm (deo 1 na Slici 4.1), vertikalne ose (deo 2 na Slici 4.1) koja nosi vakuum kalup (deo 3 na Slici 4.1), horizontalne ose (deo 4 na Slici 4.1) koja nosi vertikalnu osu sa vakuum kalupom, magacina za etikete (deo 5 na Slici 4.1), horizontalne ose (deo 6 na Slici 4.1) koja nosi vertikalnu osu (deo 7 na Slici 4.1) sa vakuum hvataljkom (deo 8 na Slici 4.1) za izuzimanje etiketa iz magacina, uređaja za naelektrisanje etiketa i upravljačkog ormana.



Slika 4.1 Manipulator koji se koristi u procesu plastičnih brizganja proizvoda - osnovne komponente

Postolje manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda

Manipulator je pričvršćen na nosač-postolje koji se nalazi na gornjem delu mašine. Postolje je napravljeno od čelika da bi moglo da nosi manipulator. Takođe, čelična konstrukcija postolja koja se sastoji iz dva dela omogućava smanjenje uticaja vibracija, koje mašina proizvodi u toku rada, na manipulator. Veze između ta dva čelična dela postolja su dovoljno jake da nose manipulator i da izdrže momente koji se javljaju pri radu manipulatora (testiranjem na realnom modelu se pokazalo da postolje

od aluminijumskih profila ne može da izdrži momente koji se javljaju pri radu manipulatora pa je dolazilo do uvijanja postolja).

Noseća konstrukcija manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda

Noseća konstrukcija manipulatora je napravljena od Bosch-ovih aluminijumskih profila (deo 1 na Slici 4.1). Profili su međusobno povezani čeličnim ugaonicima koji se na profile povezuju upotrebom t-navrtke (slot-nut) i specijalnim brzim spojnicama koje se montiraju u prethodno izbušene rupe u profilima. Noseća konstrukcija se sastoji od okvira (spoljnog dela u vidu kvadra) i dodatnih profila koji nose elemente kao što su magacin i pneumatski cilindar koji izuzima etikete iz magacina.

Izbor aktuatora manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda

U cilju ispunjenja zahteva postavljenih pred projektanta, potrebno je izvršiti odgovarajuće analize vezane za izbor aktuatora za dati manipulator.

Zahtevi kupca koji su uticali ne samo na dizajn konstrukcije manipulatora, već i na izbor aktuatora su: vreme za koje manipulator treba da ostavi etiketu u alat mašine mora biti kraće od vremena trajanja ciklusa brizganja plastičnih proizvoda, rad sa etiketama za proizvode zapremine do 2 l i manipulator mora da se montira sa gornje strane mašine za brizganje. Ova tri zahteva utiču na: tip aktuatora (linearni ili rotacioni), dužinu hoda aktuatora i silu koju aktuatori treba da ostvare. Što se tiče tipa aktuatora, obzirom na dizajn konstrukcije, funkciju koju svaki od aktuatora treba da ostvari kao i njihovu cenu, svi aktuatori ovog manipulatora su izabrani da budu linearni aktuatori. Maksimalna zapremina proizvoda koja će se proizvoditi na ovoj mašini za brizganje, korišćenjem manipulatora za postavljanje etiketa unutar ženskog dela alata, iznosi 2 l. Ovo je veoma značajno za izbor aktuatora koji treba da nosi vakuum kalup jer veličina vakuum kalupa, odnosno masa koju taj aktuator mora da nosi, zavisi od zapremine proizvoda koji se brizga. Takođe dužina hoda aktuatora zavisi od dimenzija mašine na koju se manipulator montira, maksimalnog otvaranja alata mašine, dimenzija alata i maksimalne zapremine proizvoda koji se brizga.

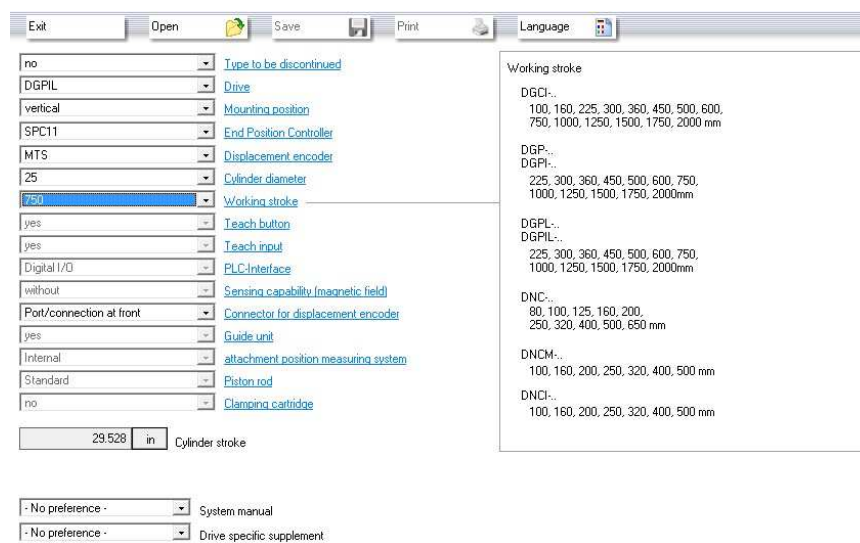
Na izbor vrste aktuatora (pneumatski, hidraulični, električni) utiču sledeći zahtevi: vreme trajanja ciklusa proizvodnje, cena, preciznost i tačnost pozicioniranja manipulatora u odnosu na alat mašine i sila koju aktuator treba da ostvari.

Dizajn konstrukcije manipulatora za proces brizganja plastičnih proizvoda utiče na izbor vrste kretanja i način montaže ose manipulatora koja nosi vakuum kalup. Projektant je odlučio da osa manipulatora koja nosi vakuum kalup bude postavljena vertikalno jer je jedan od zahteva kupca da se manipulator montira odgore - na mašinu. Maksimalni efektivni hod ove vertikalne ose je određen dimenzijama noseće ploče alata i postolja za montažu manipulatora na mašinu, odnosno udaljenosti centra noseće ploče od vrha postolja za montažu manipulatora na mašinu, koja u ovom slučaju iznosi 600 mm. Obzirom na to da kod ovog manipulatora nije neophodno ostvariti velike sile, znači da nije potrebno koristiti hidraulične aktuatore. Pneumatski aktuatori mogu biti klasični i servo kao što je pomenuto u Poglavlju 2 ovog rada. Da bi se ostvarili zahtevi koji se odnose na tačnost i preciznost pozicioniranja manipulatora u odnosu na mašinu, kao i vreme trajanja ciklusa proizvodnje potrebno je koristiti servo-pneumatski sistem koji može da ostvari tačnost pozicioniranja od ± 2 mm pri maksimalnoj brzini od 3 m/s (podaci preuzeti iz FESTO kataloga), što klasična pneumatika ne može. Električni

aktuatori mogu da ostvare tačnost pozicioniranja od 0.01 mm pri maksimalnoj brzini od 6 m/s i ubrzanju od 40 m/s² za efektivni hod od 600 mm (podaci preuzeti iz FESTO kataloga), što znači da električni aktuatori takođe ispunjavaju i zahteve vezane za vreme trajanja ciklusa proizvodnje, ali su mnogo skuplji od ostalih vrsta aktuatora.

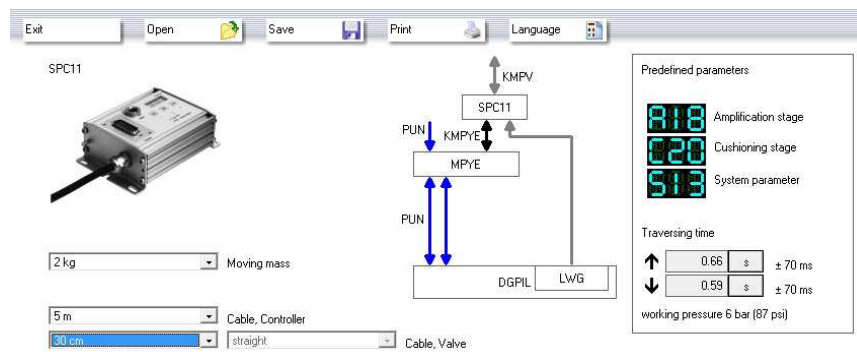
Način izbora komponenti servo-pneumatskog sistema se vrši iz kataloga proizvođača upotrebom softvera predviđenog za to. Prvo se vrši izbor načina kretanja aktuatora: linearno ili rotaciono kretanje.

Nakon izbora linearnog kretanja aktuatora potrebno je izabrati komponente servo-pneumatskog sistema: aktuator, način montiranja aktuatora, tip kontrolera, tip enkodera, prečnik cilindra, efektivni hod cilindra i poziciju priključaka na cilindru (Slika 4.2). Način izbora ovih komponenti zavisi od zahteva kupca vezanih za funkcionisanje manipulatora, što je objašnjeno u prethodnim pasusima ovog odeljka.



Slika 4.2 Izbor komponenti servo-pneumatskog sistema

Određivanje parametara SPC11 kontrolera (Slika 4.3) za izabrani pneumatski aktuator je neophodno da bi servo-pneumatski sistem efikasnije funkcionisao. Parametri se određuju na osnovu tipa, prečnika, hoda cilindra i mase koju cilindar treba da nosi. Za izabrani tip cilindra (DGPIL-24-750-PPV-B-KF-AIF-GK-SH) izabrani su sledeći parametri: ubrzanje (A18), usporenje (C20) i sistemski parametar (S13). Ovi parametri se biraju iz kataloga proizvođača na osnovu izabrane servo-pneumatske ose ili putem softvera prikazanog na Slici 4.3.



Slika 4.3 Određivanje parametara SPC11 kontrolera

Na osnovu izvršenih analiza projektant je izvršio konačan izbor servo-pneumatskog sistema, odnosno vertikalnog akuatora koji nosi vakuum kalup i izabran je cilindar tipa DGPIL-24-750-PPV-B-KF-AIF-GK-SH firme FESTO.

Odlukom projektanta, za pomeranje vertikalne ose sa vakuum kalupom u željene pozicije, izabran je horizontalno postavljen linearni akuator. Zahtevi koji utiču na izbor vrste ovog akuatora su: cena, vreme trajanja ciklusa proizvodnje, sila koju akuator može da ostvari i mali gabariti. Obzirom na to da preciznost i tačnost pozicioniranja nisu zahtevane kod izbora ovog akuatora, a sila koju akuator treba da ostvari je mala da bi se koristila hidraulika, projektant je odlučio da koristi pneumatski cilindar za ostvarivanje horizontalnog kretanja vertikalne ose manipulatora koja nosi vakuum kalup. Izbor odgovarajućeg pneumatskog cilindra je izvršen upotrebom kataloga firme FESTO i prikazan je na slikama 4.4, 4.5, 4.6, 4,7 i 4.8. Prvi korak predstavlja izbor tipa cilindra. Ponuđeni su cilindar jednosmernog dejstva, cilindar dvosmernog dejstva, cilindar sa vođicama i rotacioni cilindar. Projektant je za ovu aplikaciju izabrao klasični pneumatski cilindar dvosmernog dejstva.

Nakon izbora tipa cilindra se vrši podešavanje sistemskih parametara izabranog pneumatskog cilindra (Slika 4.4). Parametri cilindra se odnose na željeno vreme pozicioniranja cilindra (maksimalno 0,5 s), efektivni hod cilindra (200 mm), smer kretanja (klipnjača cilindar je izvučena u početnom položaju), radni pritisak (6 bar), dužinu pneumatskih creva (2 m) i masu radnog predmeta (10 kg).

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

System parameters - Select main settings here. Continue >

Desired positioning time Try to achieve a positioning time of exactly: 0,5 s

with throttle valve

Initial cylinder parameters Required stroke: 200 mm

Alignment angle: 0 deg

Direction of movement: Extend Retract

Air supply and tubing Air supply pressure: 6 bar

Tubing length Air supply > valve: 2 m
Valve > cylinder: 2 m

Load settings Moving mass: 10 kg

Additional thrust: 0 N

Additional friction: 0 N

Continue >

Slika 4.4 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Nakon podešavanja sistemskih parametara pneumatskog cilindra, vrši se suženje izbora ponuđenih cilindara izborom dodatnih parametara (Slika 4.5) kao što su: prigušenje na kraju hoda cilindra (potrebno za ovu osu manipulatora), prikaz samo cilindara bez klipnjače, prikaz samo cilindara sa dvostranom klipnjačom, prikaz samo cilindara sa klipnjačom koja ne može da se rotira, ograničenje efektivnog hoda cilindra (potrebno je za ovu osu manipulatora) i prikaz cilindara sa efektivnim hodom po izboru projektanta. Kao što se vidi na Slici 4.5, izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-40-200-PPV-A koji zadovoljava dosadašnje zahteve projektanta.

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

Festo pneumatic cylinders - a wealth of ideas

Adjustable end position cushioning (PPV) only

Rodless linear drive units ONLY

Double ended piston rod (S2) ONLY

Non-rotating ONLY

Only in Required stroke 200 [mm]

Only in Variable stroke length

Selected piston diameter - all -

< Back Continue >

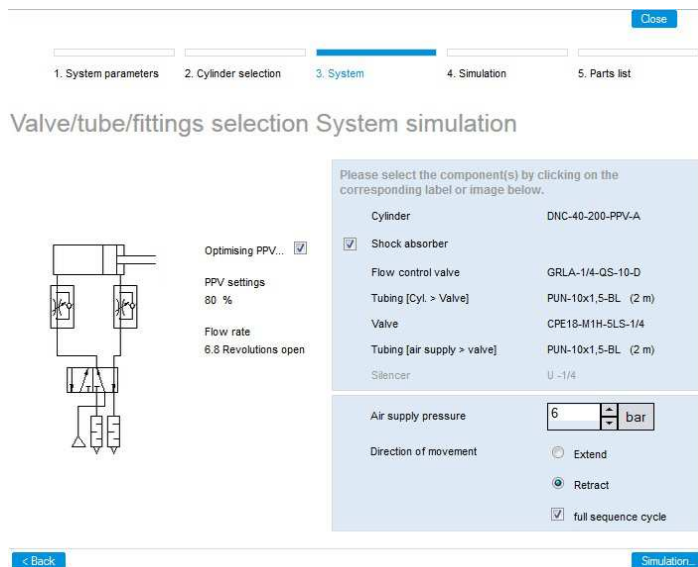
Items found [195] Show 10

| Type | Part no. | Thread | Stroke [mm] |
|--|----------|--------|-------------|
| <input type="checkbox"/> DNC-32-200-PPV | 163326 | 1/8 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-32-200-PPV-A | 163312 | 1/8 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-40-200-PPV | 163358 | 1/4 | 200 |
| <input checked="" type="checkbox"/> DNC-40-200-PPV-A | 163344 | 1/4 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-50-200-PPV | 163390 | 1/4 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-50-200-PPV-A | 163376 | 1/4 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-63-200-PPV | 163422 | 3/8 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-63-200-PPV-A | 163408 | 3/8 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-80-200-PPV | 163454 | 3/8 | 200 |
| <input type="checkbox"/> DNC-80-200-PPV-A | 163440 | 3/8 | 200 |

1 2 3 4 5 ... 20

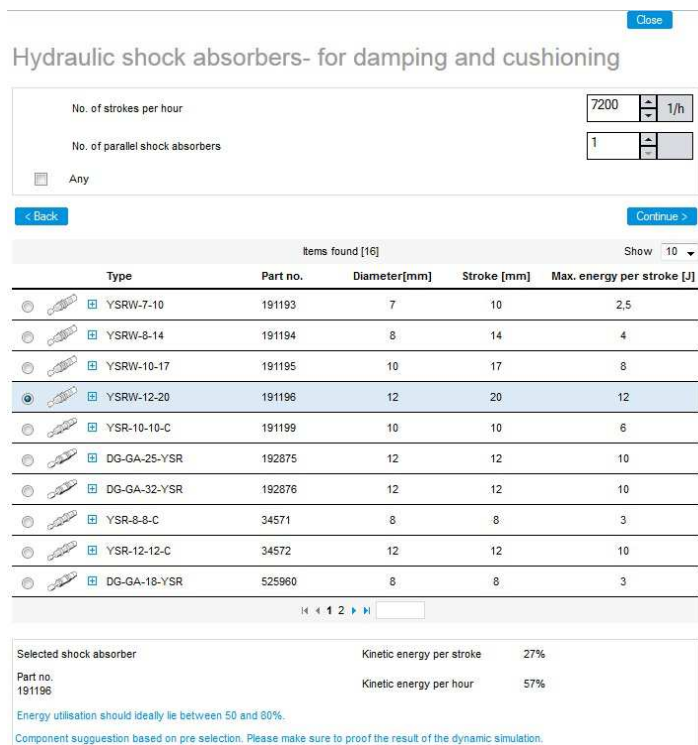
Slika 4.5 Izbor pneumatskog cilindra

Sledeći koraci su izbor tipa pneumatskog razvodnika, amortizera i podešavanje prigušenja na kraju hoda cilindra (Slika 4.6), radi simulacije rada izabranog pneumatskog cilindra sa razvodnikom i ostalim izabranim komponentama.



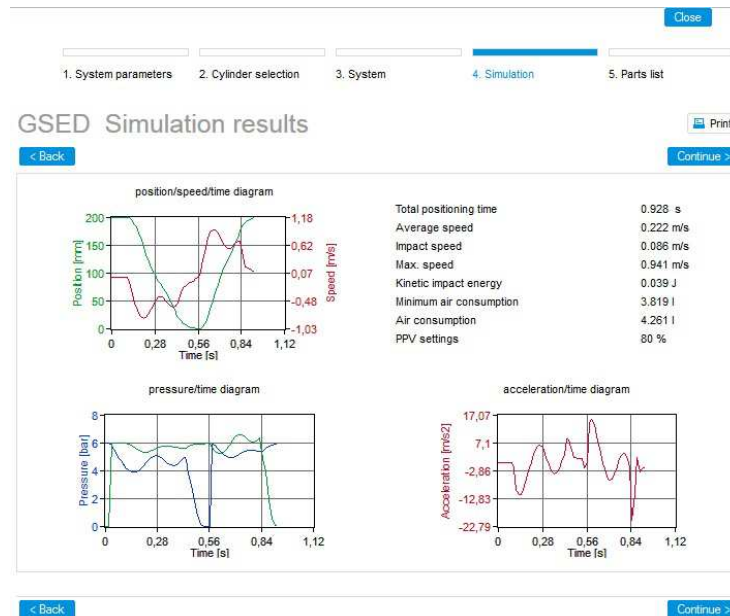
Slika 4.6 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

Izbor amortizera se vrši na osnovu broja ciklusa koje amortizer treba da ostvari i koji zavisi od željenog vremena pozicioniranja izabranog pneumatskog cilindra. U ovom slučaju broj ciklusa koji amortizer treba da ostvari iznosi 7200 ciklusa/h. Na osnovu tog broja ciklusa, kao pomoć pri izboru amortizera, u donjem delu slike se pojavio tekst koji se odnosi na količinu energije koja je potrebna da bi se zadovoljili zahtevi vezani za broj ciklusa amortizera (Slika 4.7).



Slika 4.7 Izbor amortizera za izabrani cilindar

Nakon toga, softver vrši simulaciju rada izabranih pneumatskih komponenti sistema i rezultati simulacije mogu da se vide na Slici 4.8. Podaci sa Slike 4.8 potvrđuju da izabrane pneumatske komponente zadovoljavaju zahteve vezane za željeno vreme pozicioniranja cilindra i masu radnog predmeta koji cilindar treba da pomera u željenom vremenu.



Slika 4.8 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu urađenih analiza projektant je izvršio konačan izbor horizontalnog cilindra za pomeranje vertikalne ose sa vakuum kalupom i izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-40-200-PPV-A firme FESTO.

U cilju zadovoljenja zahteva koji se odnosi na montažu manipulatora na mašinu, za potrebe kretanja vakuum hvataljke manipulatora u željene pozicije: izuzimanje etikete iz magacina i postavljanje etikete na vakuum kalup, izabran je vertikalno postavljen linearni aktuator. Zahtevi koji utiču na izbor vrste i tipa ovog aktuatora su: rad sa etiketama za proizvode zapremine do 2 l, cena i sila koju aktuator može da ostvari. U ovom slučaju projektant je izabrao pneumatski cilindar kao aktuator jer je sila koju ovaj aktuator treba da ostvari mala, a takođe je uzet u obzir i zahtev vezan za nisku cenu manipulatora. Obzirom na to da ovaj aktuator treba da nosi hvataljku manipulatora čija veličina odgovara dimenzijama etikete, a hvataljka ima višestruko veću površinu od površine kojom je klipnjača vezana nju, potrebno je koristiti cilindar sa vođicama da ne bi došlo do uvijanja klipnjače cilindra usled dejstva sile u toku njenog rada. Izbor odgovarajućeg pneumatskog cilindra je izvršen upotrebom kataloga firme FESTO. Projektant je za ovu aplikaciju izabrao klasični pneumatski cilindar dvosmernog dejstva sa vođicama.

Nakon izbora tipa cilindra potrebno je podesiti sistemske parametre koji omogućavaju suženje izbora ponuđenih aktuatora za datu aplikaciju (Slika 4.9). Vreme potrebno za pozicioniranje je podešeno na 1 s, jer brzina kretanja ovog cilindra ne treba da bude veća radi pouzdanijeg izuzimanja etikete iz magacina (vakuum hvataljka ne sme da prihvati više etiketa odjednom). Hod ovog cilindra zavisi od visine magacina kao i

pozicije za ostavljanje etikete na vakuum kalup, što u ovom slučaju iznosi maksimalno 200 mm. Klipnjača cilindra koji nosi vakuum hvataljku treba da je uvučena u početnom položaju. Masa radnog predmeta koju cilindar treba da nosi je jednaka masi vakuum hvataljke, jer masa etikete iznosi manje od 0.01 kg.

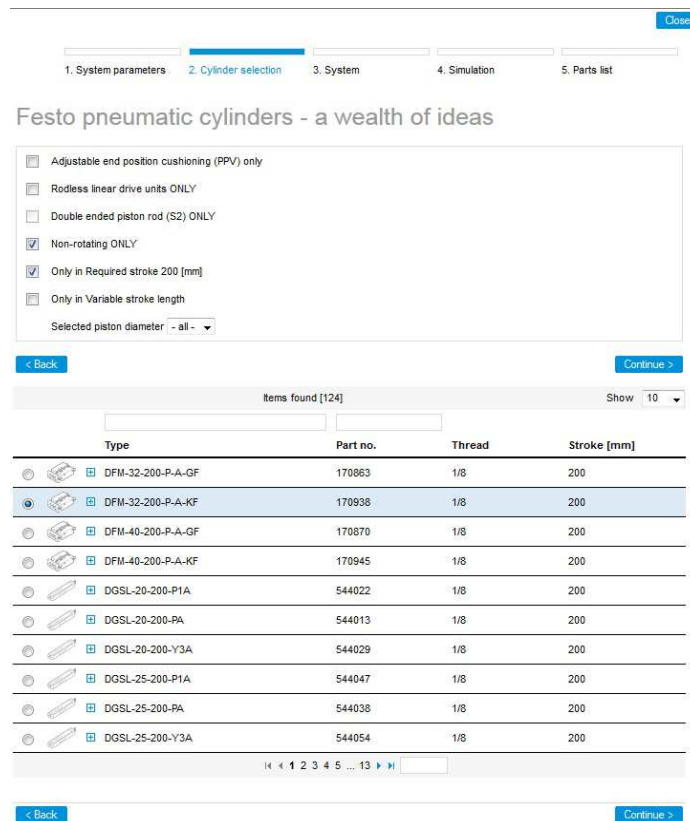
The screenshot shows a software interface for configuring a pneumatic cylinder system. At the top, there are five tabs: 1. System parameters (active), 2. Cylinder selection, 3. System, 4. Simulation, and 5. Parts list. A 'Close' button is in the top right corner. Below the tabs, the title is 'System parameters - Select main settings here.' with a 'Continue >' button. The main area is divided into several sections:

- Desired positioning time:** A text input field with '1' and a unit dropdown set to 's'. A note says 'Try to achieve a positioning time of exactly:'. A checkbox 'with throttle valve' is checked.
- Initial cylinder parameters:** Includes 'Required stroke' (200 mm), 'Alignment angle' (0 deg), and 'Direction of movement' (radio buttons for 'Extend' and 'Retract', with 'Extend' selected).
- Air supply and tubing:** Includes 'Air supply pressure' (6 bar), 'Tubing length' (2 m), and two sub-sections for 'Air supply > valve' and 'Valve > cylinder', both with a tubing length of 2 m.
- Load settings:** Includes 'Moving mass' (2 kg), 'Additional thrust' (0 N), and 'Additional friction' (0 N).

A small schematic diagram of a pneumatic cylinder is shown on the left side of the 'Initial cylinder parameters' section. At the bottom right, there is another 'Continue >' button.

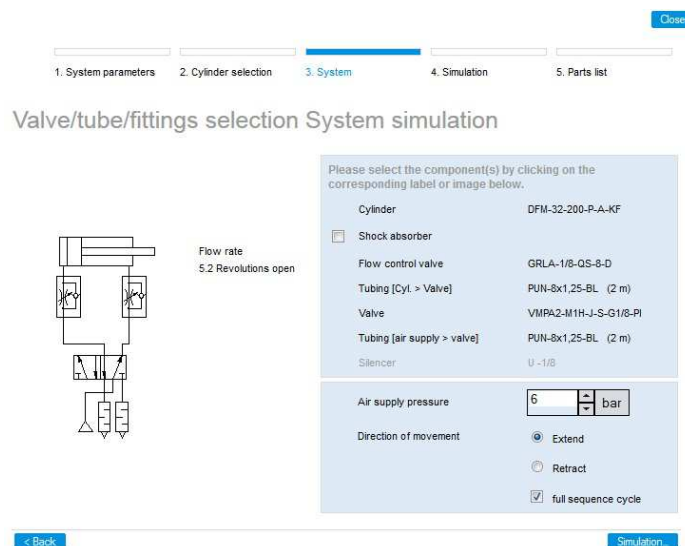
Slika 4.9 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Izbor pneumatskog cilindra (Slika 4.10) se vrši nakon podešavanja sistemskih parametara. Dodatni parametri koji omogućavaju suženje liste potencijalnih cilindara za ovu aplikaciju su: klipnjača cilindra ne sme da se rotira i efektivni hod cilindra mora da iznosi tačno 200 mm. Od ponuđenih cilindara izabran je pneumatski cilindar tipa DFM-32-200-P-A-KF koji ima željene karakteristike.



Slika 4.10 Izbor pneumatskog cilindra

Nakon izbora pneumatskog cilindra se vrši izbor pneumatskih komponenti koje su neophodne za simulaciju rada izabranog cilindra (Slika 4.11). Postojanje amortizera nije neophodno za rad ovog cilindra zbog relativno sporog kretanja cilindra kao i male mase radnog predmeta koji cilindar nosi.



Slika 4.11 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

Kod izbora upravljačkog razvodnika ovog cilindra potrebno je koristiti sledeće dodatne parametre: razvodnik treba da bude bistabilni jer cilindar sme da se izvuče samo u željenim pozicijama i razvodnik mora da se motira u sklopu ventilske ostrva.

Nakon izbora neophodnih pneumatskih komponenti sistema, vrši se simulacija rada izabranih komponenti radi utvrđivanja da li su zadovoljeni svi zahtevi vezani za rad izabranog aktuatora i njegovih komponenti. Sa Slike 4.12 se vidi da je brzina malo manja od zahtevane, ali to ne utiče na ukupno vreme trajanja ciklusa jer se ovaj cilindar kreće samo u vremenu kada mašina brizga proizvod, a to vreme je mnogo duže od vremena potrebnog za pozicioniranje izabranog cilindra.



Slika 4.12 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu izvršenih analiza, projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za vertikalno kretanje vakuum hvataljke manipulatora za izuzimanje etikate iz magacina i izabran je pneumatski cilindar tipa DFM-32-200-P-A-KF firme FESTO.

Obzirom na dizajn konstrukcije i način funkcionisanja manipulatora, potrebno je ostvariti horizontalno kretanje vertikalnog cilindra sa vakuum hvataljkom u dve pozicije: iznad magacina manipulatora i iznad vakuum kalupa manipulatora, što znači da pomenuti aktuator mora biti linearnog tipa. Na izbor vrste aktuatora, o kojem je reč u ovom pasusu, utiču sledeći zahtevi: cena, vreme trajanja ciklusa proizvodnje i mali gabariti. U cilju zadovoljenja ovih zahteva projektant je za datu aplikaciju izabrao klasični pneumatski cilindar.

Nakon izbora cilindra dvosmernog dejstva (na način prethodno objašnjen u ovom poglavlju), potrebno je kao i kod ostalih klasičnih pneumatskih aktuatora, izabrati neophodne sistemske parametre (Slika 4.13). Da bi se zadovoljio zahtev vezan za vreme trajanja ciklusa proizvodnje, vreme pozicioniranja ovog aktuatora treba da iznosi maksimalno 0,5 s. Efektivni hod ovog cilindra zavisi od dimenzija mašine za brizganje, dimenzija alata mašine i maksimalne zapremine dimenzija vakuum kalupa koji će se koristiti na ovom manipulatoru, i iznosi 350 mm. Klipnjača cilindra treba da bude uvučena u početnom položaju, što se vidi na Slici 4.13. Masa radnog predmeta koju cilindar treba da nosi je jednaka masi vertikalnog cilindra sa vakuum hvataljkom i iznosi 6 kg.

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

System parameters - Select main settings here. Continue >

Desired positioning time Try to achieve a positioning time of exactly: s

with throttle valve

Initial cylinder parameters

Required stroke mm

Alignment angle deg

Direction of movement

Extend

Retract

Air supply and tubing

Air supply pressure bar

Tubing length Air supply > valve m

Valve > cylinder m

Load settings

Moving mass kg

Additional thrust N

Additional friction N

Continue >

Slika 4.13 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Na osnovu izabranih sistemskih parametara, softver je prikazao listu potencijalnih pneumatskih cilindara koji mogu da se koriste za datu aplikaciju (Slika 4.14). U cilju smanjenja liste, koriste se dodatni parametri koji omogućavaju jednostavniji izbor. U ovom slučaju, projektant je izabrao sledeći dodatni zahtev: cilindar mora da mora da ima prigušenje na krajevima hoda. Nakon izbora tog parametra lista je smanjena i projektant je izabrao DNC-32-350-PPV-A pneumatski cilindar, kao mogući aktuator za horizontalno kretanje vertikalnog cilindra sa vakuum hvataljkom.

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

Festo pneumatic cylinders - a wealth of ideas

Adjustable end position cushioning (PPV) only

Rodless linear drive units ONLY

Double ended piston rod (S2) ONLY

Non-rotating ONLY

Only in Required stroke 350 [mm]

Only in Variable stroke length

Selected piston diameter: - all -

< Back Continue >

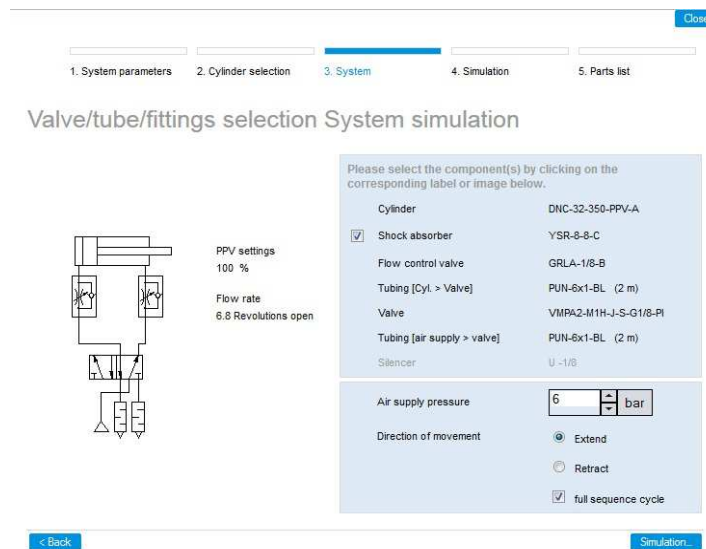
Items found [215] Show 10

| Type | Part no. | Thread | Stroke [mm] |
|-------------------------|----------|--------|-------------|
| DGRF-C-GF-50- - | 562220 | 1/4 | 10..400 |
| DGRF-C-GF-63- - | 562221 | 3/8 | 10..400 |
| DNC-32- - | 163302 | 1/8 | 10..2000 |
| DNC-32-350-PPV | 163318 | 1/8 | 10..2000 |
| DNC-32-350-PPV-A | 163304 | 1/8 | 10..2000 |
| DNC-32-400-PPV | 163329 | 1/8 | 400 |
| DNC-32-400-PPV-A | 163315 | 1/8 | 400 |
| DNC-32-500-PPV | 163330 | 1/8 | 500 |
| DNC-32-500-PPV-A | 163316 | 1/8 | 500 |
| DNC-40- - | 163334 | 1/4 | 10..2000 |

< Back Continue >

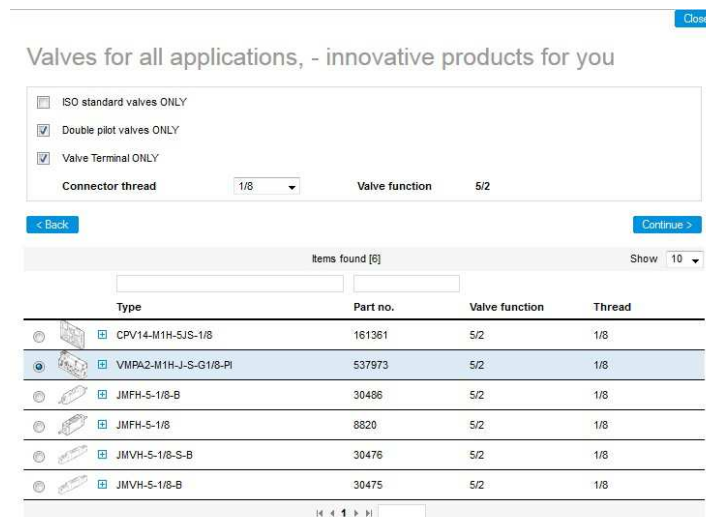
Slika 4.14 Izbor pneumatskog cilindra

Izbor ostalih komponenti pneumatskog sistema: amortizera, upravljačkog razvodnika, pneumatskih creva i prigušno-nepovratnih ventila se vrši radi dalje simulacije rada izabranih komponenti sistema (Slika 4.15).



Slika 4.15 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

Upravljački razvodnik koji će se koristiti za upravljanje radom prethodno izabranog pneumatskog cilindra je potrebno da bude bistabilan i da se montira u sklopu ventilskog ostrva. Izborom ovih dodatnih parametara lista je smanjena i izabran je razvodnik označen na Slici 4.16.



Slika 4.16 Izbor razvodnika za izabrani cilindar

Za izbor tipa amortizera potrebno je uneti broj ciklusa koji amortizer treba da ostvari, koji u ovom slučaju iznosi 7200 ciklusa/h (Slika 4.17). Nakon unosa broja ciklusa u donjem delu slike je prikazan tekst koji predstavlja pomoć pri izboru amortizera, a odnosi se na količinu energije koja je potrebna da bi se zadovoljili zahtevi vezani za broj ciklusa amortizera.

Close

Hydraulic shock absorbers- for damping and cushioning

No. of strokes per hour 7200 1/h

No. of parallel shock absorbers 1

Any

< Back

Continue >

Items found [16] Show 10

| Type | Part no. | Diameter[mm] | Stroke [mm] | Max. energy per stroke [J] |
|--------------|----------|--------------|-------------|----------------------------|
| YSRW-7-10 | 191193 | 7 | 10 | 2,5 |
| YSRW-8-14 | 191194 | 8 | 14 | 4 |
| YSRW-10-17 | 191195 | 10 | 17 | 8 |
| YSRW-12-20 | 191196 | 12 | 20 | 12 |
| YSR-10-10-C | 191199 | 10 | 10 | 6 |
| DG-GA-25-YSR | 192875 | 12 | 12 | 10 |
| DG-GA-32-YSR | 192876 | 12 | 12 | 10 |
| YSR-8-8-C | 34571 | 8 | 8 | 3 |
| YSR-12-12-C | 34572 | 12 | 12 | 10 |
| DG-GA-18-YSR | 525960 | 8 | 8 | 3 |

(< < 1 2 > >)

Selected shock absorber Kinetic energy per stroke 76%

Part no. Kinetic energy per hour 92%

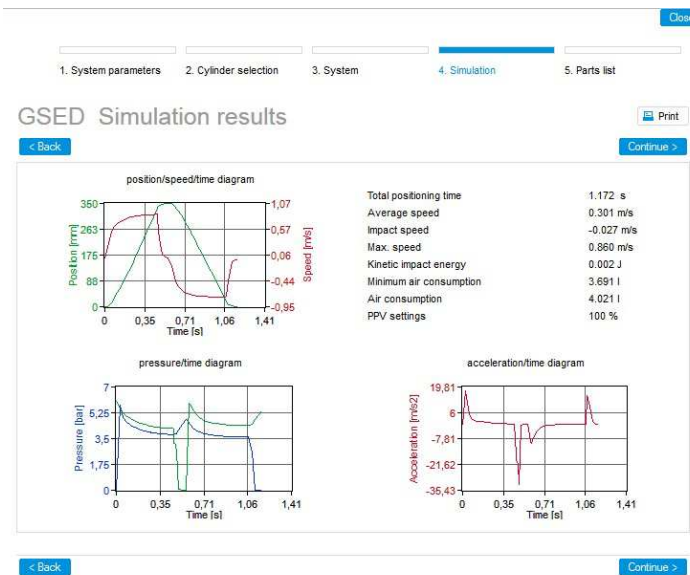
34571

Energy utilisation should ideally lie between 50 and 80%.

Component suggestion based on pre selection. Please make sure to proof the result of the dynamic simulation.

Slika 4.17 Izbor amortizera za izabrani cilindar

Nakon izbora komponenti koje omogućavaju rad izabranog pneumatskog cilindra vrši se simulacija rada cilindra i njegovih komponenti. Podaci prikazani na Slici 4.18 pokazuju da izabrani pneumatski sistem ispunjava zahtev projektanta koji se odnosi na vreme pozicioniranja cilindra, u slučaju kada masa radnog predmeta koji cilindar treba da pomera iznosi maksimalno 6 kg.



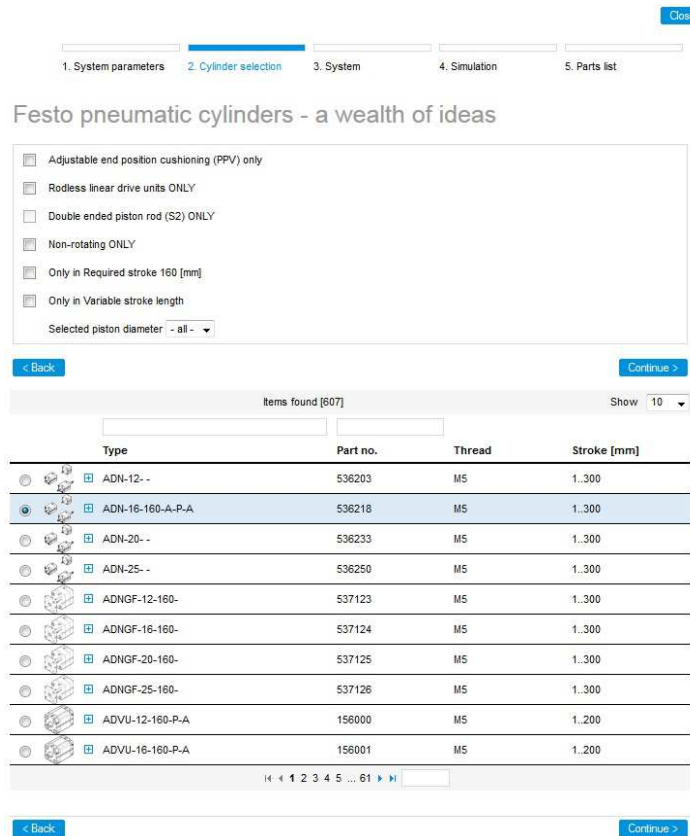
Slika 4.18 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu izvršenih analiza projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za horizontalno kretanje vertikalnog cilindra sa vakuum hvataljkom i izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-32-350-PPV-A firme FESTO.

Za namotavanje etikete nakon njenog ostavljanja na vakuum kalup potrebno je koristiti dva identična aktuatora (način izbora će biti prikazan samo za jedan aktuator, ali se odnosi na oba). Zahtevi vezani za ove aktuatore su: maksimalna zapremina proizvoda koji se brizga, mali gabariti, niska cena i vreme trajanja ciklusa proizvodnje. U cilju zadovoljenja ovih zahteva projektant je izabrao klasične pneumatske linearne cilindre. Izbor sistemskih parametara za pneumatske cilindre za namotavanje etikete na vakuum kalup je prikazan na Slici 4.19. Maksimalno vreme pozicioniranja jednog cilindra mora da iznosi 0,5 s u cilju ostvarenja zahteva vezanih za vreme trajanja ciklusa proizvodnje. Efektivni hod cilindra zavisi od maksimalne zapremine proizvoda koji se brizga i u slučaju ovog manipulatora taj hod iznosi 160 mm za dati cilindar. Klipnjača oba cilindra mora da bude uvučena u početnom položaju. Masa radnog predmeta koji cilindar treba da nosi iznosi 0,1 kg.

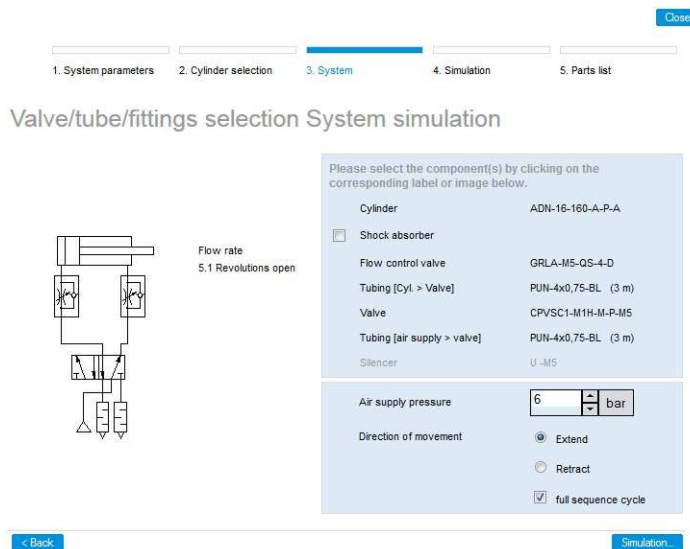
Slika 4.19 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Izbor pneumatskih cilindara se vrši nakon unosa sistemskih parametara. Dodatni zahtevi za ove cilindre ne postoje pa je, na osnovu prethodno definisanih parametara, od ponuđenih cilindara izabran pneumatski cilindar tipa ADN-15-160-A-P-A (Slika 4.20).



Slika 4.20 Izbor pneumatskog cilindra

Nakon izbora potencijalnog cilindra se vrši izbor komponenti pneumatskog sistema (Slika 4.21). Na osnovu ranije navedenih zahteva vezanih za izbor ovog aktuatora, projektant zaključuje da u ovom slučaju nije potrebno koristiti amortizere.



Slika 4.21 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

Na izbor upravljačkog razvodnika izabranog pneumatskog cilindra utiču dodatni zahtevi kao to su: razvodnik mora da bude montiran u sklopu ventilskog ostrva i razvodnik treba da bude bistabilan.

Simulacija rada izabranih cilindara i ostalih izabranih komponenti pneumatskog sistema prikazuje da izabrani cilindar i njegove komponente zadovoljavaju zahteve vezane za vreme pozicioniranja cilindra i masu radnog predmeta koji cilindar treba da pomera (Slika 4.22).



Slika 4.22 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu prikazanih analiza projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za namotavanje etikete na vakuum kalup i izabrana je cilindar tipa ADN-16-160-Q-A firme FESTO.

Servo-pneumatski cilindar za vertikalno kretanje vakuum kalupa

DGPIL pneumatski cilindar je izabran za vertikalno kretanje jer može da ostvari brzinu do 3 m/s i takođe, jer u sebi ima ugrađen linearni enkoder (slovo I iz DGPIL oznake). Linearni enkoder zajedno sa upravljačkim kontrolerom omogućava dovođenje klipa, odnosno klizne ploče cilindra, u četiri različita položaja. Dva od četiri položaja predstavljaju krajnje pozicije cilindra koje se mogu menjati fizičkim pomeranjem graničnika postavljenih na krajeve cilindra. Za ovu vrstu cilindra nije potrebno koristiti amortizere na krajevima hoda jer udarni rad cilindra ne može da se javi zbog toga što je kod DGPIL cilindra moguće podešavanje parametara usporenja na krajevima hoda. Ti parametri usporenja se podešavaju na upravljačkom kontroleru koji preuzima analogne signale sa linearnog enkodera cilindra. (Škrinjar D., Baranovski I., Dragičević D., Stankovski S., Ostojić G., Miladinović LJ., 2012)

U ovom slučaju je upotrebljen SPC11 kontroler firme FESTO, koji je izabran na osnovu vrste servo-pneumatskog cilindra i zbog toga što se SPC11 kontroler koristi isključivo za upravljanje samo jednom servo-pneumatskom osom koja poseduje linearni enkoder, što je ovde slučaj. SPC11 kontroler je povezan sa proporcionalnim razvodnikom koji se nalazi u upravljačkom ormanu manipulatora i upravlja radom proporcionalnog razvodnika putem analognih upravljačkih signala (strujnih signala u ovom slučaju). Proporcionalni razvodnik upravlja brzinom kretanja klipa, kao i usporenjem klipa na krajevima hoda. Na osnovu analognih upravljačkih signala koje dobija od SPC11 kontrolera, proporcionalni razvodnik propušta određenu količinu vazduha potrebnu da

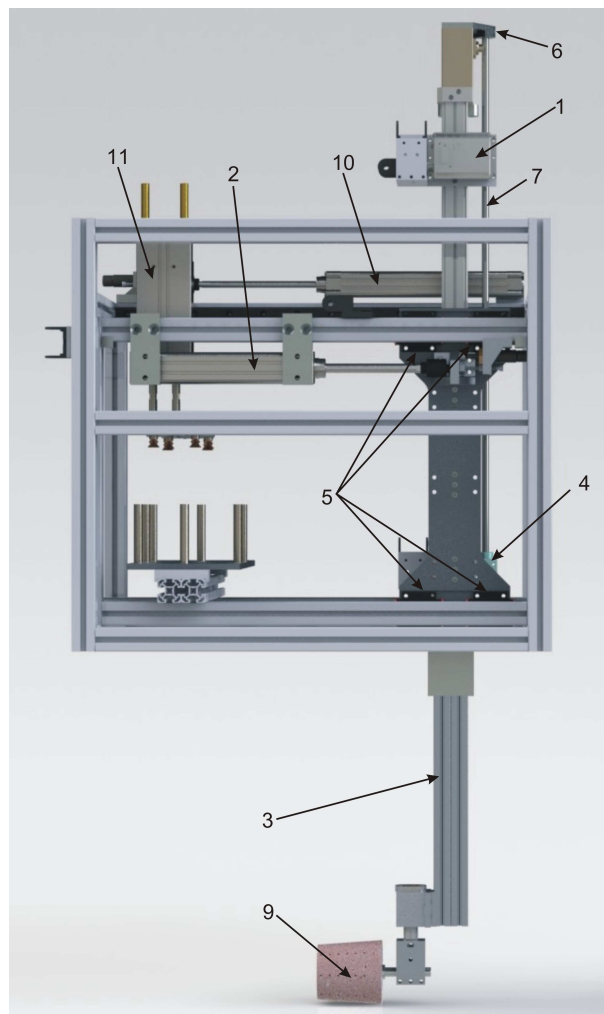
bi se klip cilindra doveo do zahtevane pozicije. (Škrinjar D., Dragičević D., Stankovski S., Ostojić G., Sabolč H, 2011)

U slučaju gde postoji potreba za upravljanjem radom više cilindara (manipulator sa više servo-pneumatskih osa) sa linearnim enkoderom, mora se koristiti SPC200 kontroler. SPC200 kontroler upravlja sa više SPC11 kontrolera upotrebom odgovarajućeg softvera na računaru (WinPISA softver firme FESTO). SPC11 već sadrži odgovarajući softver za upravljanje jednom servo-pneumatskom osom, tako da njegovo programiranje nije potrebno. Ali bez obzira na to na SPC11 kontroleru se moraju podesiti odgovarajući parametri kao što su: ubrzanje, usporenje, dužina linearnog enkodera, i dr. Ovi parametri se preuzimaju iz tabele (preuzete iz uputstva dobijenog od proizvođača kontrolera) na osnovu karakteristika i tipa pneumatskog cilindra koji se koristi.

Nakon izbora parametara vrši se proces obučavanja odnosno "pamćenja" četiri pozicije (P.01-početna pozicija cilindra, P.02-krajnja pozicija cilindra, P.03 i P.04-proizvoljne pozicije koje se fizički nalaze između P.01 i P.02 pozicija) na servo-pneumatskom cilindru odnosno linearnom enkoderu. Ovaj proces se pokreće pritiskom na taster "enter" na SPC11 kontroleru i traje ne duže od 5 minuta. Na displeju SPC11 kontrolera je u toku procesa obučavanja prikazano sledeće: t _ . _.. Malo slovo t na displeju nam govori da je u toku proces obučavanja (t od engleske reči teach što znači učiti, obučavati). SPC11 kontroler aktivira proporcionalni razvodnik i klizna ploča (klizač cilindra) cilindra se pomera u početnu poziciju (P.01) gde stoji određeni vremenski period, a zatim se pomera do krajnje pozicije (P.02) u kojoj takođe stoji određeni vremenski period. Na kraju procesa obučavanja klizna ploča cilindra se pomera do pozicije P.01 i zatim u poziciju P.02 i na kraju se vrati do pozicije P.01. Na displeju SPC11 kontrolera se po završetku procesa obučavanja prikaže pozicija u kojoj se nalazi klizna ploča (to je uvek pozicija P.01). P.01 predstavlja početnu poziciju klizne ploče dok P.02 predstavlja krajnju poziciju klizne ploče servo-pneumatskog cilindra DGPIIL. Na displeju SPC11 kontrolera se prilikom svakog naknadnog pomeranja klizne ploče iz jedne u drugu poziciju prikazuje u kojoj se poziciji klizna ploča trenutno nalazi (P.01 ili P.02 pozicija). Nakon obučavanja pozicija P.01 i P.02 mogu se podesiti i preostale dve pozicije. Klizna ploča se prvo dovede u poziciju P.02 i zatim se pritiskom na taster " > " na SPC11 kontroleru aktivira podešavanje pozicije P.03. Pomeranje klizne ploče se može izvršiti rukom ili držanjem tastera " > " ili " < " na SPC11 kontroleru sve dok se klizna ploča ne dovede u željenu poziciju. Pritiskom na taster "enter" na SPC11 kontroleru se "pamti" pozicija P.03. Za poziciju P.04 postupak je isti kao i za poziciju P.03. Pozicije P.03 i P.04 se podešavaju samo ako je to potrebno. U slučaju manipulatora o kojem je reč u ovom radu podešene su P.01, P.02 i P.03 pozicije. P.01 pozicija služi za dovođenje klizne ploče DGPIIL cilindra u položaj u kojem DMF cilindar za izuzimanje etiketa iz magacina (opis ovog cilindra sledi u daljem tekstu) može da postavi etiketu na vakuum kalup koji nosi DGPIIL cilindar. Pozicija P.03 služi za čekanje manipulatora na mašinu (otvaranje alata, nakon što je prethodno izvršen proces brizganja proizvoda). Ova pozicija je podešena tako da se etiketa koja treba da se postavi u ženski deo alata nalazi iznad alata mašine za brizganje. U ovoj poziciju se, dok se čeka na signal da je alat u otvorenom položaju, aktiviranjem generatora naelektrisanja kroz elektrodu do etikete propušta određena količina naelektrisanja odgovarajućeg polariteta. I na kraju pozicija P.02 predstavlja krajnju poziciju klizne ploče DGPIIL cilindra, odnosno poziciju koja služi za ostavljanje etiketa u centralni deo alata mašine.

Na kliznu ploču DGPIIL cilindra je pričvršćen aluminijumski profil koji služi za produžavanje hoda cilindra (u pitanju je pneumatski cilindar bez klipnjače), iz razloga što kada se alat na mašini zatvori cilindar ne sme da se nađe između dva dela alata. Na kraju aluminijumskog profila se nalazi nosač vakuum kalupa. Nosač vakuum kalupa je projektovan tako da mogu da se podešavaju ugao nagiba vakuum kalupa kao i njegova pozicija u odnosu na centar alata mašine (pomeranje levo-desno, gore-dole). Vakuum kalup (deo 9 na Slici 4.23) mora da bude pozicioniran tačno u centru ženskog dela alata mašine za brizganje. Oblik vakuum kalupa zavisi od oblika proizvoda koji se brizga na mašini odnosno odgovara obliku muškog dela alata mašine za brizganje. Vakuum kalup služi za prihvatanje etikete, pomoću vakuuma, unutar radnog prostora manipulatora, prenošenje i precizno postavljanje etikete unutar ženskog dela alata mašine za brizganje plastičnih proizvoda.

Osim aluminijumskog profila na cilindar je pomoću dva nosača (deo 6 na Slici 4.23) pričvršćena vođica (deo 7 na Slici 4.23). Ova vođica je postavljena kroz kočnicu (deo 4 na Slici 4.23). Kočnica služi da zadrži DGPIIL cilindar u bilo kojem položaju čak i kada nestane vazduha pod pritiskom, električne energije u sistemu ili ako se dogodi nepredviđena situacija, da zaustavi DGPIIL cilindar u trenutnom položaju. Ako nema vazduha u sistemu kočnica postaje aktivna, ako ima vazduha u sistemu kočnica se deaktivira i otpušta vođicu pa klizna ploča DGPIIL cilindra može da se kreće. Kočnica funkcioniše npr. na principu cilindra jednosmernog dejstva koji je aktiviran u početnom položaju, a kojeg opruga drži u izvučenom položaju. U slučaju manipulatora koji je opisan u ovom radu, kočnica se aktivira uključivanjem elektromagneta na odgovarajućem razvodniku na ventilskom ostrvu.



Slika 4.23 Komponente manipulatora koji se koristi u procesu brizganja proizvoda od plastičnih masa

Pneumatski cilindar za horizontalno kretanje vertikalne ose sa vakuum kalupom

DNC 40 pneumatski cilindar (deo 2 na Slici 4.23) se koristi da bi se ostvarilo horizontalno kretanje DGPIL servo-pneumatskog cilindra. Ovaj cilindar pokreće noseću ploču DGPIL servo-pneumatskog cilindra (deo 8 na Slici 4.23). Noseća ploča DGPIL cilindra predstavlja čvrstu vezu između četiri klizne vođice koje se horizontalno kreću po šinama (deo 5 na Slici 4.23), a čije kretanje omogućava aktiviranje DNC 40 cilindra. Noseća ploča dodatno učvršćuje DGPIL servo-pneumatski cilindar, pa je na taj način smanjen moment koji se javlja pri horizontalnom kretanju DGPIL servo-pneumatskog cilindra.

DNC 40 pneumatski cilindar u slučaju manipulatora o kojem je reč u ovom radu ima dve funkcije: horizontalno pomeranje DGPIL servo-pneumatskog cilindra sa vakuum kalupom iz početne pozicije manipulatora u poziciju za prihvat etikete iz magacina manipulatora i horizontalno pomeranje DGPIL servo-pneumatskog cilindra sa vakuum kalupom unutar mašine za brizganje nakon dolaska cilindra u krajnju donju poziciju, ka poziciji za ostavljanje etikete unutar ženskog dela kalupa mašine za brizganje. DNC 40 pneumatski cilindar ima reed kontakte odnosno davače signala na krajevima hoda cilindra. Jedan reed kontakt šalje signal ka ventilskom ostrvu kada je klipnjača

cilindra u početnom položaju (izvučena), drugi šalje signal ka ventilskom ostrvu kada je klipnjača cilindra u krajnjem položaju (uvučena).

Pneumatski cilindar sa vakuum hvataljkom

DFM pneumatski cilindar (deo 11 na Slici 4.23) služi za vertikalno kretanje vakuum hvataljke manipulatora odnosno za izuzimanje etiketa iz magazina manipulatora. Na klipnjaču DFM pneumatskog cilindra za izuzimanje etiketa je pričvršćena vakuum ploča. Vakuum ploča predstavlja ploču napravljenu od PVC plastike kroz koju su izbušeni kanali za odvođenje vazduha (stvaranje vakuuma). Na vakuum ploči se nalaze vakuum sisaljke od antistatik materijala. Vakuum ploča i vakuum sisaljke su izabrane da budu od materijala male provodljivosti da se ne bi naelektrisale etikete u magacinu pre nego što se postave na vakuum kalup, jer bi se u protivnom etikete pod dejstvom neelektrisanja međusobno spojile i ne bi bilo moguće izuzimati ih pojedinačno iz magacina. Vakuum ploča ima poseban oblik koji zavisi od oblika etiketa koje treba da nosi. Ovaj manipulator je projektovan tako da se može upotrebiti za postavljanje etiketa za plastične kantice različitih dimenzija (etikete za okrugle kantice zapremine od 0,5 l do 2 l, etikete za kockaste kantice od zapremine 0,5 l do 2 l) na alat. Ovo je moguće zato što su dimenzije dna iste za svaku kanticu, dok se dubina kantica razlikuje. Vakuum se ostvaruje korišćenjem vakuuma generatora. Na vakuum generator se postavlja prigušivač buke koji ujedno usmerava vazduh koji se izduvava iz njega pri stvaranju vakuuma na ploči. Korišćenjem pneumatskih razvodnika sa elektro upravljanjem, koji se nalaze na ventilskom ostrvu, vrši se uključivanje vakuuma ili duvanja na vakuum ploči u zavisnosti od potrebe. Duvanje se koristi da bi se etiketa koju drže vakuum sisaljke lakše zadržala unutar alata mašine za brizganje nakon isključenja vakuuma. Duvanje i vakuum mogu da se podešavaju putem prigušno nepovratnih ventila postavljenih na odgovarajuća mesta.

DFM pneumatski cilindar za izuzimanje etiketa se aktivira putem pneumatskog razvodnika sa elektro upravljanjem koji se nalazi na ventilskom ostrvu. Ovde postoji jedna novina koja do sada nije korišćena kod ove vrste manipulatora, a to je upotreba diferencijalnog senzora pritiska. Diferencijalni senzor pritiska se koristi pri izuzimanju etiketa i njihovom postavljanju na alat mašine za brizganje. On određuje silu kojom će DFM pneumatski cilindar za izuzimanje etiketa pritisnuti etikete u magacinu prilikom njihovog izuzimanja iz magacina ili postavljanja na alat u mašini. Ako se ne koristi senzor pritiska dolazi do udarnog rada DFM pneumatskog cilindra za izuzimanje etiketa i može doći do oštećenja cilindra, nakon nekog vremena. U ovom slučaju je izabran diferencijalni senzor pritiska pri čemu se u tom slučaju podešava razlika pritisaka u granama na ulazu i izlazu iz DFM pneumatskog cilindra za izuzimanje etiketa. Na diferencijalnom senzoru pritiska se pomoću odgovarajućih tastera podešava gornja i donja granica pritiska. U slučaju da razlika pritisaka u granama nije unutar dozvoljenih granica senzor šalje signal za grešku ka ventilskom ostrvu.

DFM pneumatski cilindar za izuzimanje etiketa ima reed kontakte odnosno davače signala na krajevima hoda cilindra koji šalju signal ka ventilskom ostrvu kada je klipnjača cilindra u početnom položaju (uvučena) ili u krajnjem položaju (izvučena).

Pneumatski cilindar za horizontalno kretanje cilindra sa vakuum hvataljkom

DNC 32 pneumatski cilindar (deo 10 na Slici 4.23) se koristi da bi se ostvarilo horizontalno kretanje DFM pneumatskog cilindra koji nosi hvataljku za etikete. Klipnjača DNC 32 pneumatskog cilindra je u početnoj poziciji izvučena pa se DFM cilindar za izuzimanje etiketa u početnom položaju nalazi iznad magacina sa etiketama. Nakon izuzimanja jedne etikete, klipnjača DNC 32 pneumatskog cilindra se uvlači i pomera DFM cilindar u poziciju gde DGPIIL servo-pneumatski cilindar već čeka radi prihvata etikete na vakuum kalup.

Pneumatski cilindri za namotavanje etikete oko vakuum kalupa

ADN pneumatski cilindri se koriste za namotavanje etikete oko vakuum kalupa i postavljeni su na konstrukciji, sa leve i desne strane vakuum kalupa manipulatora, u poziciji gde DFM cilindar ostavlja etiketu na vakuum kalup. Ova dva cilindra su uvučena u početnom položaju. Kada se vakuum kalup dovede u poziciju za prijem etikete, DFM cilindar donese etiketu u isti položaj i spusti je na vakuum kalup, ADN cilindri guraju krajeve etikete koja se tada obavija oko vakuum kalupa, nakon čega se uključuje vakuum koji drži etiketu na vakuum kalupu da se ne pomera pri kretanju manipulatora. ADN cilindri se uvlače čim dostignu krajnji položaj i omogućavaju pomeranje vakuum kalupa u sledeću definisanu poziciju.

Za detekciju položaja klipnjača (uvučena/izvučena) ADN cilindra se koriste reed kontakti.

Magacin za etikete

Magacin za etikete je projektovan za više vrsta etiketa sličnog oblika. Sastoji se od donje ploče koja je napravljena od aluminijuma i postavljena je na aluminijumske profile. Na ovaj način je omogućeno pomeranje donje ploče magacina, napred-nazad, po aluminijumskim profilima. Gornja ploča magacina, koja nosi etikete, može da se zakreće za ugao od 30° u odnosu na donju ploču uz pomoće dva žljeba na krajevima gornje ploče magacina, u cilju boljeg pozicioniranja etikete na vakuum kalup manipulatora. Obzirom na to da je magacin projektovan za više vrsta etiketa (što znači da se i gabaritne dimenzije, a ne samo uglovi etikete mogu menjati), stubići koji pozicioniraju etikete u magacinu se mogu pomerati napred-nazad da bi njihova pozicija odgovarala veličini i obliku etikete.

Uređaj za naelektrisanje etiketa

Uređaj za naelektrisanje etiketa koji je upotrebljen kod ovog manipulatora je EMC Lite firme SIMCO. EMC Lite je generator naelektrisanja koji generiše naelektrisanje napona od 0 V do 20000 V. Generator šalje naelektrisanje do elektrode koja je kablom povezana sa njim. Elektroda može da se postavi na konstrukciju manipulatora (eksterna elektroda) na mestu na kojem manipulator čeka da mašina završi radni ciklus i da se alat ponovo otvori radi postavljanja nove etikete na alat. Za to vreme etiketa prima određenu količinu naelektrisanja od generatora preko elektrode. Elektroda mora da bude postavljena na udaljenosti do 20 mm od etikete koja treba da primi naelektrisanje od te elektrode. Sa povećanjem udaljenosti etikete od elektrode smanjuje se količina naelektrisanja koju etiketa prima od elektrode pa tada upotreba generatora naelektrisanja nema funkciju.

U slučaju manipulatora opisanog u ovom radu eksterna elektroda je zamenjena internom elektrodom koju je na osnovu konsultacija sa proizvođačem generatora naelektrisanja konstruisao projektant manipulatora. Interna elektroda je ugrađena u vakuum ploču i povezana sa generatorom naelektrisanja.

Generatori naelektrisanja se razlikuju prema polaritetu naelektrisanja koje generišu. Postoje generatori koji generišu naelektrisanje pozitivnog ili negativnog polariteta. Pri izboru generatora mora se obratiti pažnja o tome koji polaritet naelektrisanja nam je potreban. U slučaju manipulatora o kojem je reč u ovom radu izabran je generator naelektrisanja negativnog polariteta jer je putem uzemljenja mašine naelektrisanje koje se javlja kada se plastika kreće kroz brizgaljke dovedeno na nulu. Tako da je u ovom slučaju mogao da se odabere i generator naelektrisanja pozitivnog polariteta, ipak zbog prethodno stečenog iskustva u radu i održavanju generatora naelektrisanja negativnog polariteta uzet je isti.

Postoji dve vrste SIMCO elektroda: HDR i HDC elektrode. HDR elektrode služe na naelektrisanje predmeta koji se kreću velikom brzinom tako da u ovom slučaju etiketa u stvari ne mora da stoji pored elektrode da bi primila naelektrisanje od generatora već može samo da prođe pored elektrode, ali ako se pri tome zadovolji ranije pomenut uslov o udaljenosti etikete od elektrode. Kod HDC elektroda, etiketa koji treba da se naelektriše mora da stoji pored elektrode nekoliko sekundi i da se zatim brzo pomeri do alata inače će da izgubi intenzitet naelektrisanja.

Generator naelektrisanja mora da bude uzemljen prema uputstvu, odnosno mora da se uzemlji na istu tačku na koju su uzemljeni mašina i manipulator. Takođe, da ne bi došlo do pojave varnice između etikete i elektrode, vakuum sisaljke koje drže etiketu moraju da budu od antistatik materijala.

Količina naelektrisanja koju generiše EMC Lite može da se podešava tasterima koji se nalaze na samom generatoru i može da se kreće od 0 V do -20000 V.

U zavisnosti od kvaliteta etikete, vrste granulata koji se koristi za proizvodnju plastičnih proizvoda, veličine etikete, načina uzemljenja zavisi i količina naelektrisanja koja treba da se generiše na EMC Lite uređaju.

EMC Lite generator naelektrisanja se može uključivati i isključivati daljinskim upravljanjem. Takođe postoji mogućnost dobijanja informacija od EMC Lite generatora o mogućem preopterećenju radi hitnog isključivanja generatora. Daljinsko upravljanje generatorom naelektrisanja kod manipulatora opisanog u ovom radu se vrši putem ventilskog ostrva. Ventilsko ostrvo se povezuje na 25-pinski konektor na generatoru naelektrisanja i putem tog konektora se šalju i preuzimaju signali.

Pri radu sa EMC Lite uređajem mora da se obrati pažnja da se elektroda ne dodiruje dok je generator uključen da ne bi došlo do pražnjenja elektriciteta kroz čoveka.

Upravljački sistem manipulatora za postavljanje etiketa

Upravljački sistem manipulatora čine sledeće komponente: pripremna grupa, upravljačka kutija, upravljački orman (ventilsko ostrvo sa CPX kontrolerom, transformator 220 V AC/24 V DC, redne stezaljke, relei, diferencijalni senzor pritiska, vakuum generatori, regulatori pritiska i protoka, i dr).

Pripremna grupa

Za manipulator za postavljanje etiketa u alat mašine za brizganje izabrana je pripremna grupa firme FESTO. Pripremna grupa se obično sastoji od filtera, zauljivača, regulatora pritiska. Izabrana pripremna grupa u sebi ima ugrađen filter sa stepenom filteracije do 5 μm i regulator pritiska. Protok vazduha pod pritiskom kroz ovu pripremnu grupu iznosi 3000 l/min. Programabilno logički kontroler, nakon inicijalizacije, putem digitalnog izlaza uključuje elektromagnetni ventil na pripremljenoj grupi i omogućava protok vazduha ka ventilskom ostrvu koje se nalazi u upravljačkom ormanu. Na pripremljenoj grupi postoji i senzor pritiska koji na displeju pokazuje trenutnu vrednost pritiska vazduha. U slučaju da pritisak vazduha padne ispod definisane donje granice (6 bar) ili pređe gornju granicu (10 bar), senzor šalje signal ka programabilno logičkom kontroleru. Program u programabilno logičkom kontroleru tada isključuje elektromagnetni ventil na pripremljenoj grupi i onemogućava protok vazduha ka ventilskom ostrvu. Odvajanje kondenzata se vrši automatski.

Upravljačka kutija manipulatora

Na upravljačkoj kutiji se nalaze: prekidač Robot OFF/ON, taster START, taster STOP, sijalica ROBOT ON, sijalica ERROR i TOTAL STOP taster. Prekidač Robot OFF/ON (isključivanje/uključivanje) je uslov za start rada manipulatora i ujedno se putem njega mašini šalje informacija da li mašina treba da radi sa ili bez manipulatora. U slučaju aktiviranja OFF položaja prekidača, manipulator prekida sve operacije i vraća se u početni položaj, dok mašina nastavlja rad bez prekida. U slučaju aktiviranja ON položaja prekidača, mašina posle svakog završenog ciklusa čeka da manipulator ostavi etiketu u alat. U gornjem delu upravljačke kutije se nalaze: TOTAL STOP taster i dve sijalice: zelena sijalica - ROBOT ON i crvena sijalica - ERROR. TOTAL STOP taster služi za hitne slučajeve, odnosno ako je potrebno odmah zaustaviti rad manipulatora i mašine. Pritiskom na ovaj taster uključuje se alarm na mašini, DGPIL servo-pneumatski cilindar se vraća u početni položaj (P.01 položaj), ali se i mašina zaustavlja u položaju u kojem je zatečena u trenutku pritiska tastera. TOTAL STOP taster je prema standardu taster sa zaglavljivanjem. Da bi manipulator i mašina nastavili sa radom potrebno je otpustiti TOTAL STOP taster. Sijalica ROBOT ON signalizira da je ROBOT OFF/ON prekidač okrenut na ON i da je manipulator spreman za rad. Sijalica ERROR signalizira greške koje se mogu javiti u toku rada manipulatora. U slučaju pojave neke greške manipulator prestaje sa radom. Obzirom da postoji devet vrsta grešaka, koje mogu da se jave koje direktno utiču na rad manipulatora, a postoji samo jedna sijalica za signaliziranje grešaka, način prikazivanja grešaka je rešen softverski na sledeći način:

- 1 x treptaj sijalice za grešku - TOTAL STOP
- 2 x treptaj sijalice za grešku - DFM pneumatski cilindar
- 3 x treptaj sijalice za grešku - senzor pritiska na DFM pneumatskom cilindru
- 4 x treptaj sijalice za grešku - optički senzor
- 5 x treptaj sijalice za grešku - DGPIL servo-pneumatski cilindar
- 6 x treptaj sijalice za grešku - DNC 40 pneumatski cilindar
- 7 x treptaj sijalice za grešku - DNC 32 pneumatski cilindar

8 x treptaj sijalice za grešku – ADN levi pneumatski cilindar

9 x treptaj sijalice za grešku – ADN desni pneumatski cilindar.

U donjem delu upravljačke kutije se nalaze: prekidač – ROBOT OFF/ON i dva tastera: zeleni taster – START, crveni taster – STOP. Pritiskom na taster START se vrši pokretanje manipulatora. Pritiskom na taster STOP se vrši prekid rada manipulatora, s tim da manipulator prvo završava započeti ciklus, a zatim se dovodi u početnu poziciju. ROBOT OFF/ON prekidač služi za aktiviranje/deaktiviranje manipulatora. Kada je ovaj prekidač okrenut na OFF manipulator ne može da počne sa radom čak i ako se pritisne taster START. Kada se prekidač okrene na ON, manipulator je spreman za rad. Ako se u toku rada manipulatora ovaj prekidač okrene na OFF manipulator će se odmah vratiti u početnu poziciju.

Napajanje upravljačke kutije je preuzeto iz upravljačkog ormana. Takođe, svi signali iz upravljačke kutije se vode u upravljački orman na CPX kontroler.

Upravljački orman manipulatora

Upravljački orman čine elektro orman, ventilsko ostrvo sa CPX kontrolerom, transformator 220 V AC/24 V DC, redne stezaljke, relei, diferencijalni senzor pritiska, vakuum generator, regulatori pritiska i protoka, i dr.

Izabrani elektro orman koji ima IP65 zaštitu (zaštita od prodora prašine i dodira, zaštita od mlaza vode iz svih smerova).

Transformator 220 V AC/24 V DC se koristi za napajanje elektronskih komponenti manipulatora, jer su sve komponente koje imaju elektroniku u sebi odabrane tako da rade na napon 24 V DC.

Vakuum generator, diferencijalni senzor pritiska, regulatori pritiska i protoka su opisani u prethodnim odeljcima ovog poglavlja.

Ventilsko ostrvo je ključan deo manipulatora o kojem je reč u ovom radu. Sastoji se od dva dela: elektro i pneumatskog dela.

Elektro deo čini programabilno logički kontroler firme FESTO koji se naziva CPX. On se sastoji od više modula koji su međusobno povezani u jednu celinu. Čine ga procesorski modul, moduli sa digitalnim ulazima, moduli sa digitalnim izlazima, moduli sa analognim ulazima, moduli sa analognim izlazima, moduli za komunikaciju putem TCP/IP i CAN Open protokola, i dr. Kod manipulatora o kojem je reč u ovom radu upotrebljeni su sledeći moduli: procesorski modul, moduli sa digitalnim ulazima i moduli sa digitalnim izlazima. CPX se konfiguriše prema zahtevima korisnika upotrebom konfiguratora firme FESTO. Kada se jednom konfiguriše ne može da se menja (moduli ne mogu da se dodaju i oduzimaju) jer se kućište CPX-a bira prema potrebi. Napajanje (24 V DC) se dovodi samo na procesorski modul dok su ostali moduli interno povezani sa procesorskim modulom te imaju zajedničko napajanje. Procesorski modul koji je izabran za upravljanje manipulatorom o kojem je reč u ovom radu ima na sebi diode za signalizaciju grešaka u radu CPX-a, da li je program aktivan ili neaktivan, funkcionisanja komunikacija, i dr. Takođe ima na sebi D-sub 9 konektor za serijsku komunikaciju sa računarom ili nekim drugim uređajem (npr. drugim kontrolerom) i RJ45 priključak za TCP/IP komunikaciju (priključak za mrežnu

komunikaciju). Procesorski modul prikuplja informacije od ulaznih modula i na osnovu softvera koji se nalazi u njemu šalje signale na izlazne module ili aktivira pneumatske razvodnike koji čine drugi deo ventilskog ostrva. CPX može da sadrži maksimalno devet različitih modula.

Za programiranje CPX-a se koristi softver FST 4 firme FESTO. Program može da bude u vidu liste rečenica ili blok dijagrama. Program za manipulator o kojem je reč u ovom radu je urađen u vidu liste rečenica. Kontroleri firme FESTO omogućavaju paralelno izvršavanje programa, što je veoma zgodno jer se za svaku celinu piše odvojeni program, a kontroler sam dodeljuje procesorsko vreme svakom od njih. Još jedna dobra karakteristika ovih kontrolera je upotreba koraka prilikom programiranja, tj. sam program se ne izvršava u celini već u delovima, korak po korak. Time se smanjuje procesorsko vreme koje svaki program koristi, a i omogućava veoma jednostavnu implementaciju dijagrama put-korak kao što je ovde slučaj.

CPX i mašina međusobno komuniciraju razmenom digitalnih signala putem EUROMAP 12 konektora. Ovaj konektor se sastoji od 32 pin-a na koje su vezane kako signalne žice koje dolaze od mašine tako i one koje dolaze iz upravljačkog ormana odnosno od CPX-a. Od mašine se preuzimaju signali kao što su: signal da su sigurnosna vrata na mašini zatvorena, izbacivač izvučen, izbacivač uvučen, TOTAL STOP, alat otvoren, alat zatvoren, itd. Mašini se šalju sledeći signali: robot uključen, robot izvan alata, TOTAL STOP, itd.

Pneumatski deo ventilskog ostrva čine pneumatski razvodnici. Ovi razvodnici mogu da se aktiviraju manualno, elektro ili pneumatski što zavisi od vrste aktiviranja koja je izabrana pri konfigurisanju ventilskog ostrva. Za potrebe manipulatora o kojem je reč u ovom radu izabrani su pneumatski razvodnici sa manualnim i elektro aktiviranjem. Elektro aktiviranje se ostvaruje putem internog signala (24 V DC) koji elektromagnet razvodnika prima od CPX-a (nema žica niti kablova koji spolja dolaze na elektromagnete).

U konfiguratoru za ventilsko ostrvo, prema protoku (veličini razvodnika) može da se izabere jedan od dve ponuđene vrste razvodnika: A ili B. Razvodnici su grupisani u module po dva ili po četiri razvodnika u jednom modulu. Broj razvodnika u modulu zavisi od toga da li je izabran razvodnik tipa A ili B. Razvodnik tipa A se koristi za manji protok (razvodnik manjih dimenzija) i kada se izabere ovaj tip razvodnika u modulu može da se konfigurira četiri ovakva razvodnika. Razvodnik tipa B se koristi za veći protok (razvodnik većih dimenzija) i ako se izabere ovaj tip razvodnika u modulu može da se konfigurira dva ovakva razvodnika.

Takođe mogu da se izaberu monostabilni ili bistabilni pneumatski razvodnici. Monostabilni pneumatski razvodnici imaju elektromagnet samo sa jedne strane i taj elektromagnet služi za "prebacivanje" razvodnika iz jednog u drugi položaj (otvoren/zatvoren). Dokle god je elektromagnet aktiviran razvodnik će biti u jednom od položaja (npr. otvoren). Kada elektromagnet izgubi napajanje opruga koja se nalazi u razvodniku će vratiti razvodnik u početni položaj (npr. zatvoren). Bistabilni pneumatski razvodnici imaju elektromagnet sa obe strane i "prebacivanje" razvodnika iz jednog u drugi položaj se vrši aktiviranjem odgovarajućeg elektromagneta. Ako su oba elektromagneta aktivirana razvodnik će ostati blokiran u početnom položaju.

Napajanje vazduhom pod pritiskom se dovodi na poseban modul. Ovaj modul je interno povezan sa ostalim modulima (razvodnicima) tako da nema potrebe za spoljnim priključkom za napajanje vazduhom pod pritiskom, svakog razvodnika posebno.

Optički senzor i njegov reflektor

Optički senzor i njegov reflektor su postavljeni na unutrašnje strane profila na konstrukciji. Senzor emituje zrak koji se odbija od reflektora i vraća ka istom (retro reflektivni tip senzora). Kada manipulator nije u funkciji, a postoji napajanje električnom energijom senzor šalje digitalni signal na ulaz CPX kontrolera ventilskog ostrva. Signal sa ovog senzora onemogućuje mašini da se zatvori ako je manipulator u krajnjoj donjoj poziciji (P.02). U protivnom bi manipulator mogao da ostane u alatu u trenutku zatvaranja alata što bi dovelo do trajnog oštećenja manipulatora.

Kada se manipulator dovede u poziciju u kojoj čeka na mašinu (P.03), senzor i dalje nije aktiviran. Nakon otvaranja alata i preuzimanja signala sa mašine da je alat u otvorenom položaju, manipulator dolazi u krajnju donju poziciju (ostavljanje etikete u ženski deo alata) i tada profil koji je vezan na DGPIIL servo-pneumatski cilindar zaklanja zrak koji emituje senzor ka reflektoru, zrak se ne vraća ka senzoru pa se prekida ulazni signal na CPX kontroleru ventilskog ostrva.

4.1.3 Način funkcionisanja manipulatora za mašinu za brizganje plastičnih proizvoda

Napajanje za upravljački orman manipulatora je preuzeto sa mašine. Napajanje vazduhom pod pritiskom se dovodi od kompresora putem odgovarajuće instalacije. Minimalan pritisak vazduha u sistemu mora da bude 6 bar jer to zahtevaju određene komponente i ne sme da varira zbog rada diferencijalnog senzora pritiska. Maksimalan pritisak vazduha u sistemu je ograničen pripremnom grupom manipulatora na 10 bar.

Da bi pokrenuli proizvodni proces brizganja potrebno je prvo uključiti napajanje na mašini okretanjem grebenastog prekidača na kućištu mašine na ON. Zatim se uključuje napajanje električnom energijom manipulatora okretanjem grebenastog prekidača koji se nalazi na prednjoj strani upravljačkog ormana. Nakon inicijalizacije CPX kontrolera elektromagnetni ventil na pripreмноj grupi se softverski aktivira i vazduh pod pritiskom se propušta ka ventilskom ostrvu. Nakon toga, manipulator je spreman za rad.

Pre puštanja manipulatora u rad mašina mora da odradi nekoliko ciklusa bez etikete da bi se podesili potrebni parametri na mašini (doziranje, temperatura materijala koji se brizga, vreme trajanja ciklusa brizganja, i dr.). Prekidač ROBOT OFF/ON na upravljačkoj kutiji manipulatora tada mora biti okrenut na OFF, u suprotnom će nakon završenog ciklusa mašina čekati manipulator, a zatim i prijaviti odgovarajuću grešku.

U trenutku kada je alat na mašini u zatvorenom položaju (vrši se brizganje) na upravljačkoj kutiji manipulatora treba okrenuti ROBOT OFF/ON prekidač na ON. Nakon toga će se, na upravljačkoj kutiji, uključiti zelena sijalica ROBOT ON koja signalizira da je manipulator spreman za rad. Tada će se klipnjača DNC 32 pneumatskog cilindra koji nosi DFM pneumatski cilindar izvući i pomeriti DFM cilindar u položaj za izuzimanje etikete iz magacina, a klipnjača DGPIIL servo-pneumatskog cilindra će se pomeriti u početni položaj (položaj P.01). Zatim je potrebno uključiti generator naelektrisanja pritiskom na prekidač koji se nalazi na generatoru.

Pritiskom na taster START manipulator započinje automatski rad. DNC 40 cilindar se uvlači i pomera vakuum kalup koji nosi DGPIIL servo-pneumatski cilindar u poziciju gde čeka etiketu. Istovremeno se DFM cilindar za izuzimanje etiketa izvlači i kada dodirne etiketu uključuje se vakuum. Vakuum drži etiketu i DNC 32 cilindar se uvlači dovodeći etiketu u poziciju za postavljanje etikete na vakuum kalup. DFM cilindar se izvlači dok ne dodirne vakuum kalup, otpušta se vakuum na vakuum ploči i etiketa slobodno pada sa obe strane vakuuma kalupa. ADN cilindri pomažu da se etiketa obavije oko vakuuma kalupa, nakon čega se uključuje vakuum na vakuum kalupu. ADN cilindri se uvlače čim dostignu krajnji položaj nakon čega se DNC 40 cilindar izvlači i DGPIIL dovodi u poziciju čekanja iznad alata mašine za brizganje (pozicija P.03). Dok čeka na mašinu etiketa prima naelektrisanje od generatora naelektrisanja putem elektrode. Kada se alat na mašini otvori i na ventilskom ostrvu se dobije signal da je izbačen proizvod koji je poslednji brizgan, vakuum kalup sa etiketom se dovodi u donju krajnju poziciju (pozicija u kojoj je vakuum kalup u osi ženskog dela alata (P.02)). DNC 40 cilindar se uvlači sve dok vakuum kalup u potpunosti ne uđe u ženski deo alata mašine za brizganje. Tada se isključuje vakuum i uključuje duvanje na vakuum kalupu, i naelektrisanje se sa etikete prenosi na ženski deo alata mašine za brizganje jer je on uzemljen. Nakon toga se DNC 40 cilindar vraća u početni položaj i klipnjača DGPIIL servo-pneumatskog cilindra se dovodi u početni položaj (P.01) radi početka novog ciklusa.

4.2 Manipulatori za mašinu za termoformiranje

Proizvodno-montažni sistem se sastoji od tri manipulatora: manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude i manipulatora za slaganje plastičnih posuda u magacin radi daljeg pakovanja plastičnih posuda u kartonske kutije, koji čine jednu celinu, a koje povezuje pokretna traka i uređaj za lepljenje upijača (Slika 4.24).

Zahtevi postavljeni pred projektanta:

- vreme ciklusa proizvodnje,
- fleksibilnost kad je reč o različitim proizvodima,
- masovna proizvodnja-minimalno održavanje,
- jednostavna konstrukcija,
- manipulatori moraju da se montiraju pored mašine za termoformiranje,
- jednostavno rukovanje manipulatorima.



Slika 4.24 Proizvodno - montažni sistem (manipulatori za mašinu za termoformiranje)

4.2.1 Mašina za termoformiranje

Mašina za termoformiranje o kojoj je reč u ovom radu je tipa YM8565 proizvođača Yeniyurt Makina iz Turske. Služi za oblikovanje materijala, kao što su PET, PVC, PE i dr., postupkom termoformiranja u oblik proizvoda koji je definisan oblikom

kalupa. Materijal koji se koristi za termoformiranje se u vidu folije u rolni montira na odgovarajući nosač postavljen izvan mašine, a pre ulaza u prvu stanicu mašine za termoformiranje. Mašina za termoformiranje, o kojoj je ovde reč, se sastoji od tri stanice: stanice za formiranje, stanice za sečenje i stanice za probijanje-izbacivanje gotovih proizvoda.

Način funkcionisanja mašine za termoformiranje

Materijal u vidu folije u rolni se putem sistema lanaca, postavljenih sa obe strane folije, uvlači u mašinu za termoformiranje. Uvlačenje folije se vrši kontinuirano u vidu takta koji definiše radnik koji upravlja radom mašine. Takt kretanja folije je jednak vremenu proizvodnog ciklusa mašine koji može da se menja u toku rada mašine.

Pre stanice za formiranje se nalaze grejači koji su postavljeni iznad i ispod folije. Grejači su montirani na sistem šina po kojima se kreću pomoću pneumatskih cilindara. Nakon što se folija zagreje, na unapred definisanu temperaturu, pomera se za zadati takt ka stanici za formiranje. Stanica za formiranje se sastoji od gornjeg i donjeg dela kalupa koji se kreću vertikalno uz pomoć navojnih vretena koja pokreću servo motori. Prethodno zagrejana folija se zatvara u kalup i upotrebom vakuuma i vazduha pod pritiskom oblikuje prema kalupu. Kalup stanice za formiranje se otvara i folija se ponovo pomera za jedan takt ka stanici za sečenje. Stanica za sečenje se sastoji od gornje i donje ploče sa noževima, postavljenih prema obliku proizvoda koji se formiraju, koje se kreću vertikalno uz pomoć navojnih vretena koja pokreću servo motori. Na pločama pored noževa se nalaze grejači koji omogućavaju brže i lakše sečenje folije, kao i sistem za hlađenje koji omogućava regulaciju temperature noževa. Nakon sečenja folija se ponovo pomera za jedan korak ka stanici za probijanje. Na ovoj stanici se vrši razdvajanje formiranih, isečenih proizvoda, od ostatka folije (škarta). Plastične posude se izuzimaju manualno ili automatizovano (upotrebom manipulatora). Na stanici za izbijanje, sa donje strane folije, je postavljen kalup koji vertikalnim kretanjem razdvaja gotove proizvode od ostatka folije. Vertikalno kretanje kalupa za izbijanje je ostvareno upotrebom navojnih vretena koja pokreću servo motori. Da bi se ostvarila potrebna sila izbijanja koriste se pneumatski cilindri. Ostatak folije-škart se automatski namotava u rolnu koja se može reciklirati radi ponovne upotrebe.

Upravljanje radom mašine za termoformiranje, podešavanje i promena parametara sistema (temperature grejače, pomeranje pozicija stanica, dubine prosecanja folije, takta pomeranja folije, pozicije izbacivača, i dr.) se vrši putem upravljačkog panela.

Maksimalna veličina kalupa koji može da se koristi u mašini za termoformiranje ovog tipa je 870 mm x 670 mm. Ciklus koji mašina može da ostvari zavisi od vrste plastične posude ili poklopca koji se proizvodi. Što je tanji zid posude ili poklopca to je ciklus mašine brži odnosno vreme trajanja ciklusa proizvodnje je kraće.

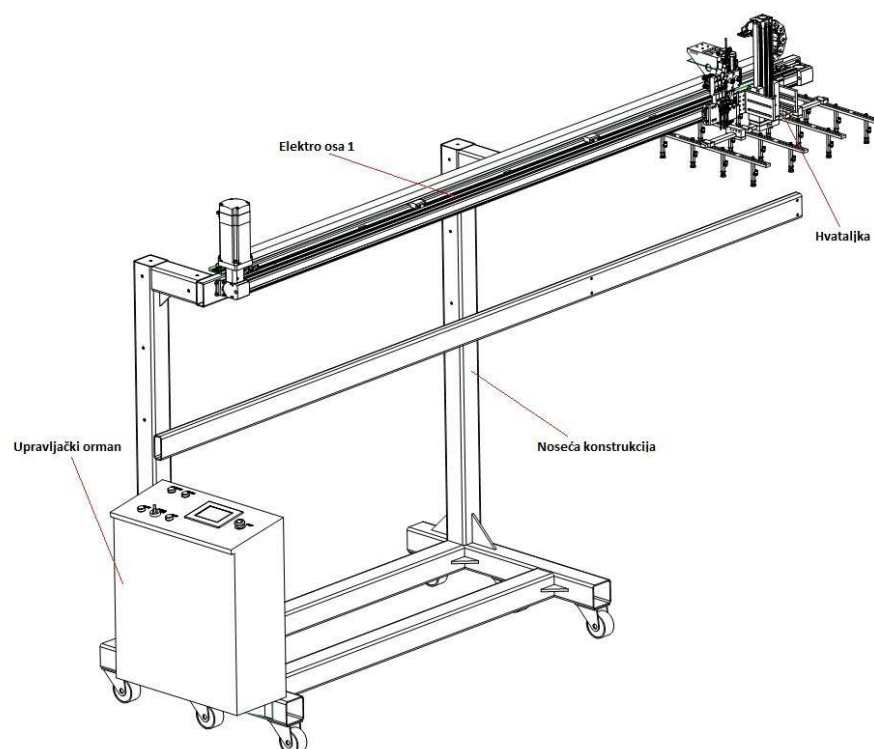
Broj plastičnih posuda koje se istovremeno formiraju zavisi od kalupa mašine, koji je matričnog tipa i može da bude 1 x 3, 2 x 4, 2 x 5, 3 x 3, 4 x 3 ili 4 x 4, gde prvi broj označava broj kolona posuda dok drugi broj označava broj redova. Kad se u pitanju poklopci, obzirom na to da su svi identični i mogu da budu manji od posuda, 6 x 7 je varijanta sa najvećim stepenom iskorišćenja folije.

4.2.2 Manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje

Manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje služi za preuzimanje formiranih plastičnih posuda iz mašine i njihovo prenošenje i ostavljanje na pokretnu traku. Posude mogu da se slažu na pokretnoj traci jedna u drugu, prema unapred zadatom broju komada, nakon čega se pokretna traka pomera za unapred definisan korak (slaganje plastičnih posuda na pokretnu traku) ili se nakon izuzimanja iz mašine ostavljaju na traku koja odmah nakon toga pomera za unapred definisan korak (izuzimanje plastičnih posuda bez slaganja na traku).

Izgled i delovi manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine

Osnovni delovi manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje su: noseća konstrukcija, električna osa sa servo motorom, hvataljka i upravljački orman (Slika 4.25).



Slika 4.25 Manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje

Noseća konstrukcija manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine

Noseća konstrukcija manipulatora se sastoji od zavarenih čeličnih profila koji se oslanjaju na šest točkova sa kočnicom. Točkovi su neophodni jer je potrebno da se manipulator kreće zajedno sa stanicom za probijanje-izbacivanje gotovih proizvoda koja je deo mašine za termoformiranje. Pomeranje stanice u odgovarajuću poziciju se vrši u zavisnosti od tipa kalupa, odnosno vrste plastične posude koja se proizvodi. Manipulator je fizički povezan sa stanicom za probijanje-izbacivanje gotovih proizvoda da bi mogao da se pomera za identičan korak kao ta stanica. Pomeranje stanice se vrši putem servo motora sa navojnim vretenom koji su sastavni deo mašine za termoformiranje.

Noseća konstrukcija je zatvorena pleksiglas pločama radi zaštite radnika od povreda koje mogu da nastanu ako se neko lice nađe u radnom prostoru manipulatora.

Izbor aktuatora za manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine

U cilju ispunjenja zahteva postavljenih pred projektanta potrebno je izvršiti odgovarajuće analize vezane za izbor aktuatora za dati manipulator.

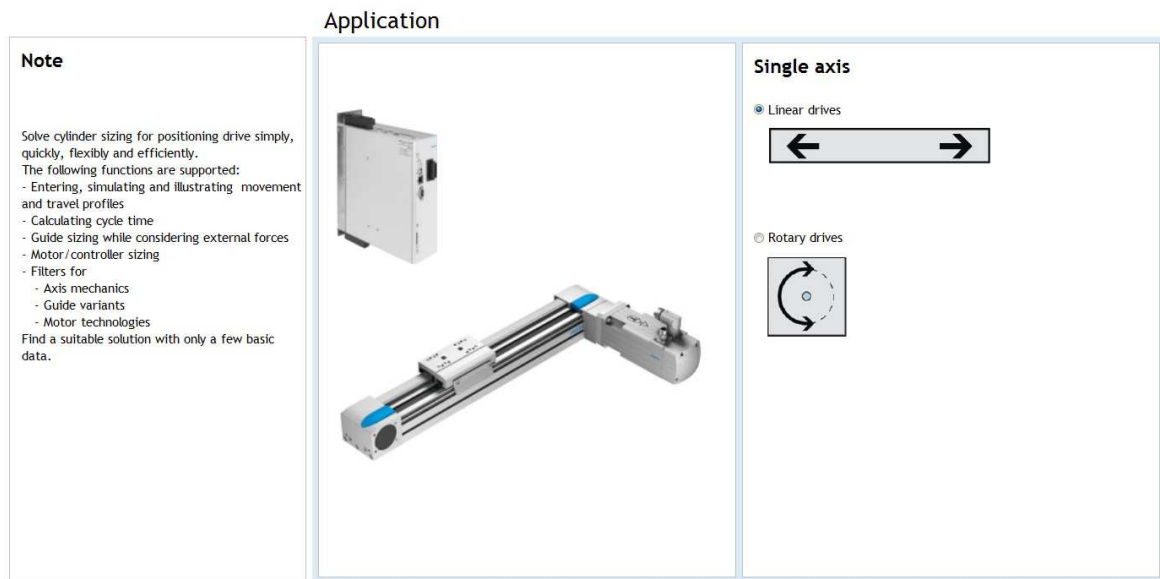
Zahtev kupca, koji je uticao na dizajn konstrukcije manipulatora, izbor tipova aktuatora (linearni ili rotacioni) i dužine hoda aktuatora, je da manipulator mora da se montira pored mašine za termoformiranje.

Projektant je odlučio da osa manipulatora koja nosi vakuum hvataljku bude postavljena horizontalno zbog pomenutog zahteva kupca. Maksimalni efektivni hod ove horizontalne ose manipulatora je određen rastojanjem između centra stanice za izbijanje mašine za termoformiranje i spoljne strane zaštitnih vrata mašine, koje u ovom slučaju iznosi 1000 mm.

Na izbor vrste aktuatora (pneumatski, hidraulični, električni) za ovaj manipulator utiču sledeći zahtevi: vreme trajanja ciklusa proizvodnje (koje treba da bude maksimalno 3 s) i preciznost i tačnost pozicioniranja manipulatora u odnosu na mašinu za termoformiranje (0,5 mm minimalno). Obzirom na to da ova dva zahteva u slučaju manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje mogu da zadovolje jedino električni aktuatori, potrebno je uraditi dalje analize u cilju izbora najboljeg tipa električnog aktuatora, kao i motora i upravljačkog kontrolera za izabrani aktuator.

Način izbora električnih aktuatora može da se vrši: iz kataloga proizvođača upotrebom softvera predviđenog za to (u slučaju ovog manipulatora je upotrebljen softver firme FESTO) ili konvencionalnom metodom upotrebom odgovarajućih jednačina koje se odnose na proračun: masu radnog predmeta koju osa manipulatora treba da nosi, momenta inercije, brzine, ubrzanja i usporenja, maksimalne brzine, ubrzanja i usporenja, prenosnog odnosa mehanizma, obrtnog momenta, opterećenja komponenti aktuatora, radijalne i aksijalne sile, i dr.

Na Slici 4.26 je prikazan način na koji se vrši izbor tipa električnog aktuatora gde se vidi da je projektant za ovu aplikaciju izabrao linearnu električnu osu.



Slika 4.26 Izbor tipa električnog aktuatora

Nakon izbora tipa električnog aktuatora, vrši se izbor sistemskih parametara. Ovi parametri omogućavaju jednostavniji izbor odgovarajućeg aktuatora za datu aplikaciju. Na levoj strani Slike 4.27 se nalaze parametri koji se odnose na način montaže radnog predmeta koji električna osa manipulatora treba da pomera u željene pozicije. U slučaju horizontalne ose manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, izabrana je električna osa sa integrisanom vođicom. U srednjem gornjem delu slike se nalaze parametri koji se odnose na način montaže električne ose: vertikalno, horizontalno ili bilo koji način montaže. Način montaže električne ose i radnog predmeta koji nosi je značajan zbog proračuna sila koje deluju na taj radni predmet, prilikom njegovog kretanja. U srednjem donjem delu slike se vrši unos karakteristika električne ose manipulatora kao što su: efektivni hod električne ose manipulatora, maksimalna vrednost mase radnog predmeta koji električna osa manipulatora treba da pomera, ponovljivost pozicioniranja u željenim pozicijama i dodatne sile koje deluju na radni predmet (u slučaju da postoje). Kao što je ranije pomenuto, efektivni hod električne ose manipulatora za ovu aplikaciju zavisi od: dimenzija alata mašine za termoformiranje, gabaritnih dimenzija mašine, dimenzija pokretne trake koja se nalazi pored mašine, i ovom slučaju iznosi 2500 mm. Masa radnog predmeta i vertikalne ose manipulatora sa hvataljkom koju ova električna osa manipulatora treba da pomera, iznosi 13 kg. Ponovljivost pozicioniranja klizne ploče električne ose manipulatora treba da iznosi 0,1 mm, jer hvataljka manipulatora mora biti centrirana u odnosu na stanicu za izbijanje mašine za termoformiranje. U desnom gornjem delu slike se vrši izbor parametra koji se odnose na profil kretanja (na profilu kretanja će u vidu grafika biti prikazane karakteristike izabranog aktuatora). U ovom delu slike se takođe unosi i željeno vreme trajanja ciklusa električne ose manipulatora, koje u ovom slučaju treba da iznosi 1,5 s da bi se zadovoljio zahtev vezan za vreme trajanja ciklusa proizvodnje. U desnom donjem delu slike se vrši izbor tipa prenosnog mehanizma električne ose manipulatora: zupčasti kaiš i/ili navojno vreteno. Projektant sistema je izabrao zupčasti kaiš, jer sistemi sa ovim tipom prenosnog mehanizma mogu da ostvare višestruko veću brzinu i ubrzanje od električnih osa sa navojnim vretenom.

System parameters

Selection, Axis type

Guide integrated

Gantry axis

Cantilever axis

Note

Selection filter
82 Systems (Static)
17 Axis

Inclination of the drive unit in an axial direction. Feed force acts in direction of the arrow.
When a deviation from the horizontal occurs, the mass of the axis' moved part reduces the acceleration.
In case of energy failure, if resulting downhill-slope force is bigger than friction the drive will slip downwards.

Required input

Assembly position

Horizontal

Vertical

Any

Axis

Maximum moving mass kg

Effective stroke mm

Repetition accuracy +/- mm

Highest precision (in addition)

Additional external force N

Optional input

Motion profile

Usable length, no time restriction

Detailed motion profile

Critical stroke

Travel time + Dwell time <= s

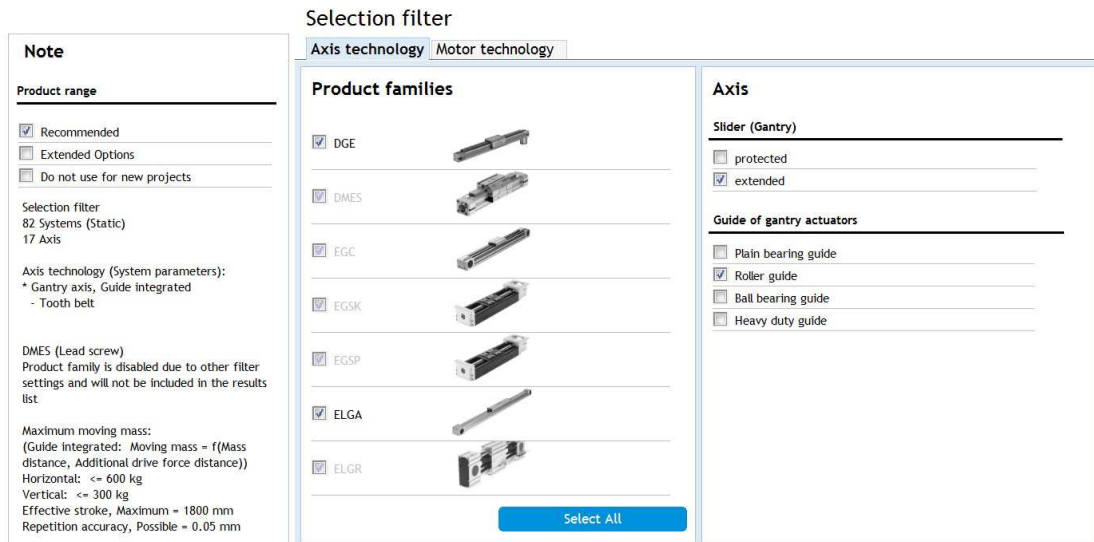
Axis technology

Tooth belt
1.133 ..1.479 s

Spindle

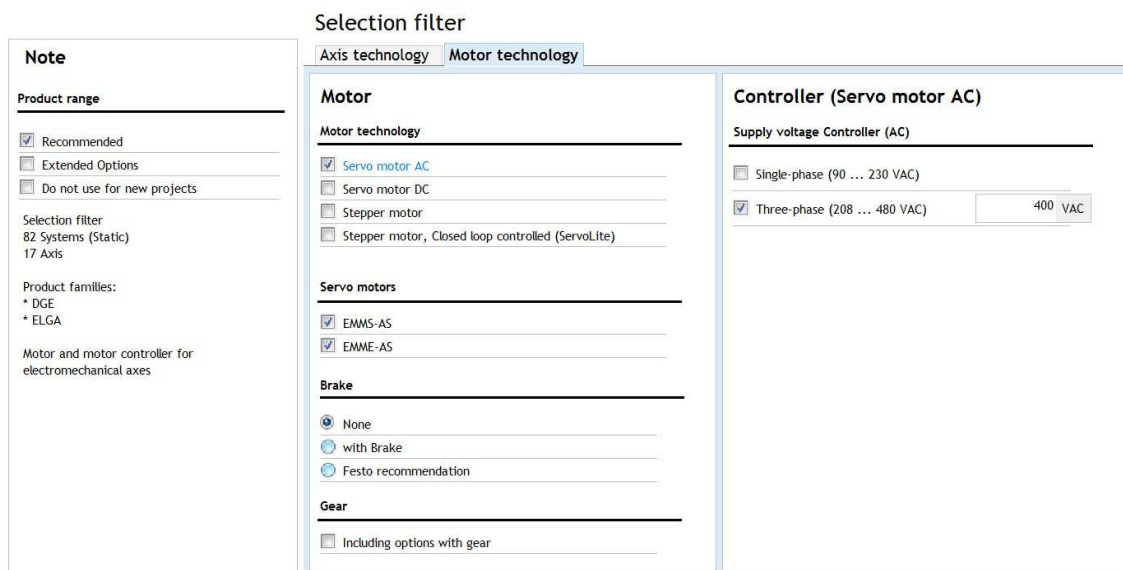
Slika 4.27 Izbor sistemskih parametara električnog akuatora

Nakon unosa sistemskih parametara vrši se unos dodatnih parametara. Dodatne parametre čine dve grupe: parametri koji se odnose na uži izbor prenosnog mehanizma električne ose manipulatora (Slika 4.28) i parametri koji se odnose na izbor motora i motor kontrolera električne ose manipulatora (Slika 4.29). U srednjem delu Slike 4.28 su prikazane električne ose sa kaišem koje proizvođač može da ponudi za datu aplikaciju. Pozicioniranjem kursora miša na sliku električne ose, na levoj strani Slike 4.28 se pojavi kratak tekstualni opis karateristika te električne ose. Na desnoj strani slike se nalaze dodatni parametri, koji utiču na uži izbor električnih osa za datu aplikaciju i odnose se na kliznu ploču (vođicu) električne ose. U gornjem delu desne strane slike se vrši izbor parametara: klizna ploča koja ima zaštitno kućište i/ili produžena klizna ploča. U skladu sa dimenzijama nosača vertikalne ose manipulatora sa hvataljkom, koju ova horizontalna električna osa manipulatora treba da nosi, izabrana je produžena klizna ploča. U donjem delu desne strane slike se nalaze parametri koji se odnose na izbor prenosnog mehanizma električne ose manipulatora: klizni ležaj, cilindrični ležaj, kuglični ležaj i ležaj za velika opterećenja. Izborom ovih dodatnih parametara se u srednjem delu slike automatski sužava izbor mogućih električnih osa manipulatora, na dve vrste, koje zadovoljavaju dosadašnje zahteve projektanta.



Slika 4.28 Izbor parametara koji se odnose na prenosni mehanizam električne ose

Dodatni parametri koji se odnose na izbor motora i motor kontrolera električne ose manipulatora se odnose na vrstu električnog motora, kočnicu motora, prenosni mehanizam (reduktor) i napajanje motor kontrolera (Slika 4.29). Obzirom na to da je u slučaju manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje neophodno ostvariti velike brzine, projektant je na osnovu karakteristika (navedenih u katalogu proizvođača) ponuđenih vrsta električnih motora izabrao servo AC motor za datu aplikaciju. Zbog toga što se električna osa manipulatora montira horizontalno, kočnica u tom slučaju nije neophodna, što je projektant i izabrao u opcijama na koje se odnose na kočnicu. U cilju ostvarenja što veće brzine kretanja električne ose manipulatora projektant je odlučio da prenosni odnos bude 1:1, odnosno da se neće koristiti reduktor. Nakon analiza karakteristika motor kontrolera sa monofaznim i trofaznim napajanjem kao što su: nominalni napon i struja, prema podacima iz kataloga proizvođača, izabran je motor kontroler sa trofaznim napajanjem jer pri istom broju obrtaja koristi manji napon i struju od monofaznog.

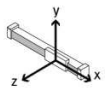


Slika 4.29 Izbor parametara koji se odnose na motor i motor kontroler električne ose

Sledeći parametri se odnose na montažu vertikalne ose manipulatora sa hvataljkom na kliznu ploču ove horizontalne električne ose manipulatora. Na desnoj strani Slike 4.30 se može izabrati dva načina montaže radnog predmeta na kliznu ploču ose manipulatora: iznad ili ispod i sa strane. Takođe neophodno je uneti rastojanje (ako postoji) između centra radnog predmeta u pravcu x, y i z ose i centra klizne ploče električne ose manipulatora, jer se pomeranjem težišta radnog predmeta utiče na moment inercije date ose manipulatora. U ovom slučaju, centar radnog predmeta se nalazi u centru klizne ploče električne ose manipulatora, pa pomenuti parametri nisu uzeti u obzir.

Guide

Note



Selection filter
82 Systems (Static)
17 Axis

This overview shows for which sizes guides are available.
The dark filled-in marks show guides which meet the given requirements and marked in selection filter.

Available Systems
 Suitable systems
Static (Acceleration = 0.010 m/s²)

Axis technology

Details

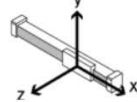
| Product families | Guide |
|------------------|-------------------------------|
| DGE | Ball bearing guide |
| DGE | Ball bearing guide, extended |
| DGE | Roller guide |
| DGE | Roller guide, extended |
| DGE | Heavy duty guide |
| DMES | Ball bearing guide |
| DMES | Ball bearing guide, extended |
| DMES | Plain bearing guide |
| DMES | Plain-bearing guide, extended |
| EGC | Ball bearing guide |
| EGC | Ball bearing guide, extended |
| EGC | Heavy duty guide |
| EGSK | Ball bearing guide |
| EGSK | Ball bearing guide, short |
| EGSP | Ball bearing guide |
| EGSP | Ball bearing, short |
| ELGA | Roller guide |
| ELGA | Roller guide, extended |
| ELGR | Ball bearing guide |
| ELGR | Ball bearing guide, extended |
| ELGR | Plain bearing guide |
| ELGR | Plain-bearing guide, extended |

Load arrangement

Assembly position

Up or down

Sideways



Mass distance

Maximum moving mass: 13.000 kg

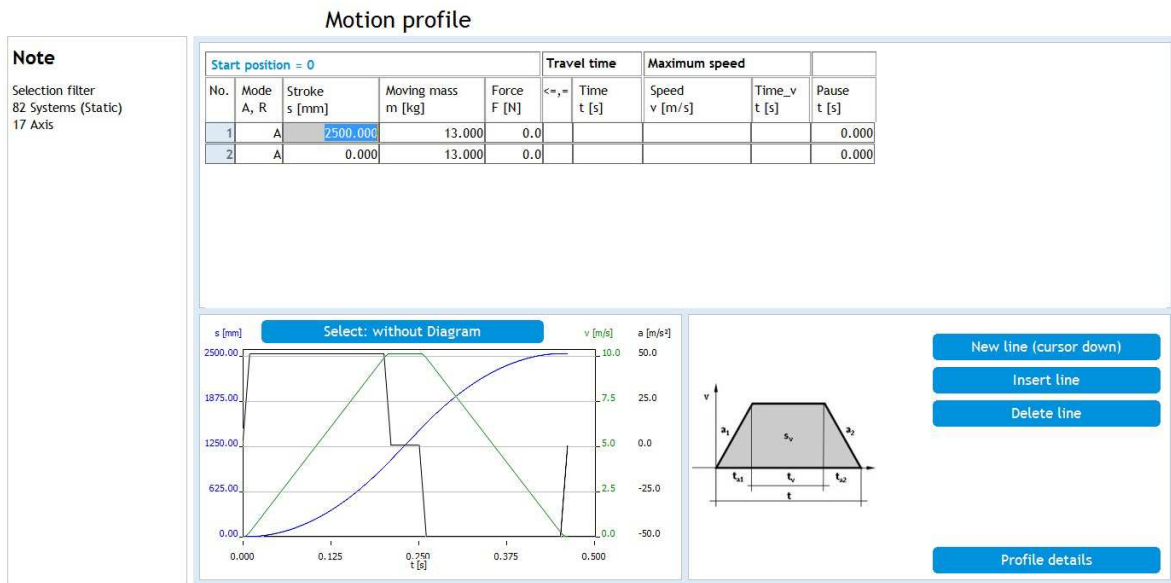
X- Direction: 0 mm

Y- Direction: 0 mm

Z- Direction: 0 mm

Slika 4.30 Izbor parametara koji se odnose na orijentaciju klizne ploče električnog aktuatora

Na Slici 4.31 je prikazan profil kretanja, odnosno brzine i ubrzanja radnog predmeta za dati efektivni hod električnih osa manipulatora sa unetim sistemskim i dodatnim parametrima. Ovde je moguće uneti i vreme čekanja radnog predmeta nakon dostizanja željene pozicije, ako je potrebno. Takođe, ovaj prikaz služi za to da bi projektant sistema mogao utvrditi da li je neophodno promeniti neki od ranije izabranih parametara u cilju ispunjenja zahteva postavljenih pred projektanta sistema.



Slika 4.31 Prikaz profila kretanja električnih osa za odabrane parametre

Sledeći korak u izboru aktuatora manipulatora predstavlja prikaz rezultata dobijenih na osnovu izabranih i unetih sistemskih i dodatnih parametara (Slika 4.32). Ovi rezultati obuhvataju prikaz svih vrsta električnih osa sa odgovarajućim motorom i motor kontrolerom, koje zadovoljavaju zahteve projektanta. U gornjoj levoj strani slike se nalaze upozorenja koja se odnose na izbor komponenti aktuatora prikazanih u gornjem srednjem delu te slike. Upozorenja mogu da se odnose na maksimalnu brzinu, ubrzanje, usporenje, upotrebu eksternog otpornika (kočnica) za motor kontroler, i dr. U desnom delu Slike 4.32 su prikazani parametri koji se odnose na selektovanu električnu osu, motor i motor kontroler. Selektovane komponente, pod brojem 1. u tabeli u donjem delu slike (prikazane u gornjem srednjem delu slike) mogu da ostvare sledeće vrednosti: efektivni hod električne ose od 2500 mm, ponovljivost pozicioniranja od 0,1 mm, masa radnog predmeta koju električna osa manipulatora treba da pomera iznosi 13 kg, vreme trajanja ciklusa selektovane električne ose iznosi 1,479 s, što je manje od željenog vremena koji iznosi 1,5 s. Komponente na slici označene rednim brojem 1. u najvećoj meri ispunjavaju zahteve projektanta i stoga su te komponente izabrane za datu aplikaciju, odnosno horizontalnu osu koja nosi vertikalnu osu sa hvataljkom, manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje.

Results

Result No. 1

Please ensure that the following dynamic values the dimensioning is based on do not exceed the limit values of your equipment

Speed: 4.644 m/s
Acceleration: 23.668 m/s²
Deceleration: 23.668 m/s²

= Add (Compare products)

Guide Load for continuous operation: These values may differ from catalogue data

Selected drive

Axis



DGE-40-ZR-RF-GK

Axial kit:
EAMM-A-F47-100A

Motor



EMMS-AS-100-M-HS-Rx

No gear

Controller



CMMP-AS-C5-11A-P3-Mx

Power section
400 VAC (Three-phase)

Overview about performance data

| | Required | Possible by axis |
|---------------------------|------------|------------------|
| Effective stroke | 2500 mm | 5000 mm |
| Repetition accuracy | +/- 0.1 mm | 0.1 mm |
| Moving mass | 13 kg | |
| Horizontal 0° | 0.0 N | |
| Additional external force | | |
| Travel time + Dwell time | | 1.479 s |
| Dwell time | | 0.000 s |

52 Results (Optimum sizes of the axes)

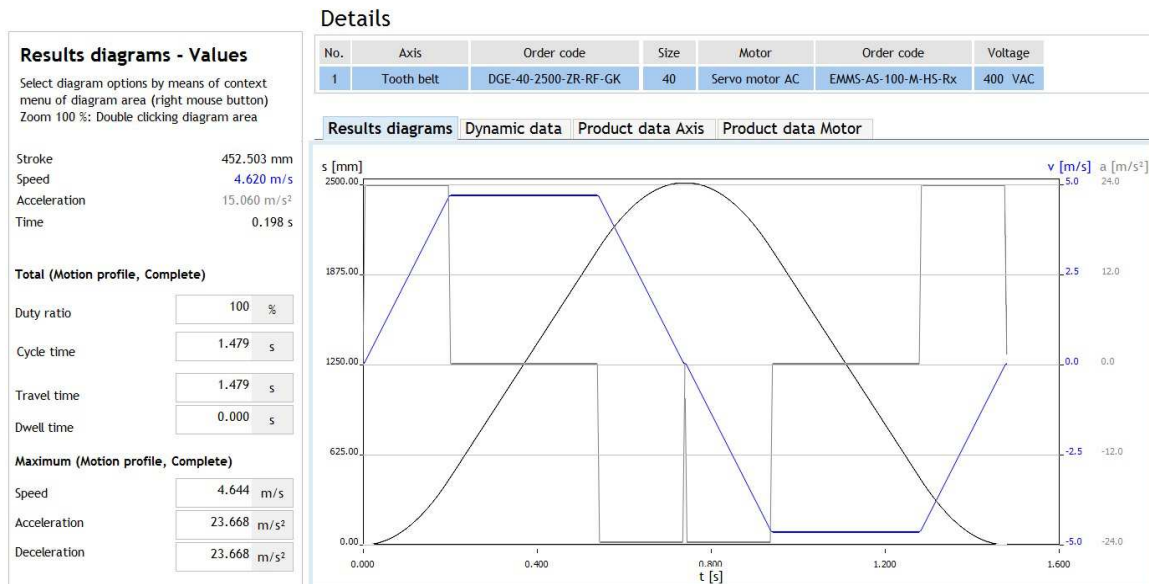
Compare products Result filter

Detailed motion profile: Cycle time (Travel time + Dwell time): Maximum 1.500 s

| No. | Axis | Size | Guide | Motor | Gear | Axis | Motor | Guide | Travel time |
|-----|------------|------|------------------|----------|------|------|-------|-------|-------------|
| 1 | Tooth belt | 40 | Roller | Servo AC | --- | 70 % | 98 % | 88 % | 1.479 |
| 2 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 3 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 4 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 5 | Tooth belt | 40 | Roller | Servo AC | --- | 71 % | 98 % | 88 % | 1.409 |
| 6 | Tooth belt | 80 | Roller, extended | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 44 % | 1.473 |
| 7 | Tooth belt | 40 | Roller | Servo AC | --- | 98 % | 98 % | 93 % | 1.355 |
| 8 | Tooth belt | 40 | Roller, extended | Servo AC | --- | 72 % | 98 % | 89 % | 1.458 |
| 9 | Tooth belt | 40 | Roller, extended | Servo AC | --- | 98 % | 98 % | 91 % | 1.377 |
| 10 | Tooth belt | 40 | Roller | Servo AC | --- | 70 % | 98 % | 88 % | 1.479 |
| 11 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 12 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 13 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 47 % | 98 % | 50 % | 1.454 |
| 14 | Tooth belt | 40 | Roller | Servo AC | --- | 86 % | 98 % | 91 % | 1.339 |
| 15 | Tooth belt | 80 | Roller | Servo AC | --- | 67 % | 98 % | 82 % | 1.323 |

Slika 4.32 Prikaz mogućih osa, motora i motor kontrolera za definisane parametre

Slike 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 prikazuju detaljne podatke o parametrima koji se odnose na izabranu električnu osu manipulatora i motor. Na Slici 4.33 je prikazan dijagram na kom se mogu videti vrednosti parametara: brzine, ubrzanja u zavisnosti od pređenog puta (pozicije ose manipulatora u odnosu na početnu poziciju) i vremena.



Slika 4.33 Prikaz vrednosti brzine, ubrzanja i vremena ciklusa izabrane električne ose

Na desnoj strani Slike 4.34 su prikazani dinamički parametri koji se odnose na izabranu električnu osu manipulatora i motor. Dinamički parametri koji se odnose na izabranu električnu osu manipulatora su: proračunata maksimalna brzina, proračunato maksimalno ubrzanje, sila, maksimalan trzaj pri kretanju, put zaustavljanja u slučaju neopredviđenog zaustavljanja, i dr. Dinamički parametri koji se odnose na izabrani motor za datu osu manipulatora su: maksimalan broj obrtaja, maksimalan obrtni

moment, proračunata maksimalna brzina, proračunata maksimalna struja, i dr. Na levoj strani Slike 4.34 su prikazani sledeći parametri: maksimalna temperatura okruženja i moment inercije. Pozicioniranjem kursora miša na bilo koji od parametara na Slici 4.34, u levom gornjem uglu slike se pojavi tekstualno objašnjenje za svaki od tih parametara.

Details

| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
|-----|------------|----------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| 1 | Tooth belt | DGE-40-2500-ZR-RF-GK | 40 | Servo motor AC | EMME-AS-100-M-HS-Ax | 400 VAC |

Results diagrams | **Dynamic data** | Product data Axis | Product data Motor

Axis

Calculated maximum speed: 4.820 m/s

Calculated maximum acceleration: 23.034 m/s²

Required usable force: 345.5 N

Peak torque Pinion: 9.21 Nm

Maximum pinion revolution: 2314 rpm

Maximum jerk: 4792 m/s³

Displacement during emergency stop: 285.644 mm

Motor

Maximum motor revolution: 2314 rpm

Peak torque: 10.68 Nm

External torque + Friction: 2.56 Nm

Root mean square of torque: 6.65 Nm

Calculated maximum power: 2793.3 W

Root mean square of power: 1721.3 W

Calculated maximum current: 6.8 A

Root mean square of current: 4.3 A

Current for emergency stop: 7.6 A

Maximum ambient air temperature (Settings / User defined): 25 °C

Mass moment of inertia

Translatory: 62.135 kgcm²

Rotatory: 1.729 kgcm²

External moment of inertia with respect to motor: 63.864 kgcm²

Moment of inertia ratio: 10.963

Slika 4.34 Prikaz dinamičkih podataka za izabranu električnu osu i motor

Na levoj polovini Slike 4.35 se nalaze opšti podaci o maksimalnim vrednostima parametara koje električna osa tipa DGE-40 može da ostvari. Neke od tih vrednosti su: maksimalan efektivni hod od 5000 mm, ponovljivost pozicioniranja od 0,1 mm, mogućnost pozicioniranja u bilo koju međupoziciju (broj pozicija zavisi od rezolucije enkodera), maksimalna sila od 565 N, maksimalno ubrzanje od 50 m/s², maksimalna brzina od 10 m/s, moment inercije od 10,679 kgcm³ i maksimalna dozvoljena temperatura okruženja od 100 °C. Na desnoj polovini Slike 4.35 su prikazani podaci o silama i obrtnim momentima koji se odnose na prenosni mehanizam i vođicu.

Details

| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
|-----|------------|----------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| 1 | Tooth belt | DGE-40-2500-ZR-RF-GK | 40 | Servo motor AC | EMME-AS-100-M-HS-Ax | 400 VAC |

Results diagrams | Dynamic data | **Product data Axis** | Product data Motor

Axis DGE-40-2500-ZR-RF-GK

Stroke, Maximum (DGE-40): 5000 mm

Repetition accuracy: 0.1 mm

Intermediate Positions: Any

Usable force (Limit for project planning): 565.0 N

Maximum acceleration: 50.000 m/s²

Maximum speed: 10.000 m/s

Mass moment of inertia (Translatory; Moving mass of axis): 10.679 kgcm²

Maximum allowed ambient air temperature (Motor): 100 °C

Pinion

Maximum torque: 12.10 Nm

Mass moment of inertia: 1.306 kgcm²

Feed constant: 125 mm

Guide

Torque Mx: 18.00 Nm

Torque My: 60.00 Nm

Torque Mz: 90.00 Nm

Force Fy: 300.0 N

Force Fz: 300.0 N

Slika 4.35 Prikaz opštih karakteristika izabrane električne ose

Na Slici 4.36 su prikazane karakteristike izabranog motora i motor kontrolera. Izabrani motor ima brzinu od 3000 o/min, radni napon iznosi 565 V DC, dok je potrošnja struje u radu 4,1 A, i dr. Izabrani motor kontroler ima dva priključka na koja je potrebno dovesti napajanje sa eksternog izvora napajanja: napajanje od 400 V AC koje je potrebno za rad motora i napajanje od 24 V DC koje je potrebno za rad motor kontrolera. Obzirom na potrebe za zadovoljenjem vremena trajanja ciklusa, pa samim tim brzine koju električna osa manipulatora sa motorom i motor kontrolerom treba da ostvari, otpornik unutar kontrolera koji simulira rad kočnice nije dovoljan pa je neophodno dodati eksterni otpornik (donji desni ugao slike).

Details

| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
|-----|------------|----------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| 1 | Tooth belt | DGE-40-2500-ZR-RF-GK | 40 | Servo motor AC | EMME-AS-100-M-HS-Ax | 400 VAC |

Results diagrams | Dynamic data | Product data Axis | **Product data Motor**

Motor EMME-AS-100-M-HS-Ax

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| Rated speed (Voltage = 565 V) | 3000 rpm |
| Rated torque | 6.40 Nm |
| Rated current | 4.1 A |
| Rated voltage | 565 V |
| Peak torque | 30.00 Nm |
| Peak current | 18.4 A |
| Mass moment of inertia | 6.410 kgcm ² |

Controller CMMP-AS-C5-11A-P3-Mx

| | |
|---|--------------------------|
| Supply voltage | |
| Logic section | 24 VDC |
| Power section | 400 VAC |
| Intermediate circuit voltage | 560 VDC |
| Rated current | 5.0 A |
| Peak current | 15.0 A |
| Braking resistance, integrated | 68 Ohm |
| Braking resistance, Root mean square of power | 110.0 W |
| External brake resistance | CACR-KL2-67-W1800 |
| Maximum brake resistance | 67 Ohm |
| Braking resistance, Root mean square of power | 720 W |

Slika 4.36 Prikaz karakteristika izabranog motora i motor kontrolera

Nakon ovih analiza dobijenih rezultata, projektant je zaključio da izabrana električna osa manipulatora, motor, motor kontroler, spojnica i eksterni otpornik, prikazani na Slici 4.37, ispunjavaju definisane zahteve i mogu da se koriste za datu aplikaciju.

Parts list

Options: Page Details/System data

Stroke reserve = additional available stroke length, which is already included by the design of the axis.
Stroke of the axis (order length plus stroke reserve existing by design) has to be longer than required usable length.

| Part No. | Amount | Unit | Order code 1 | Item name | Stroke in addition | PDF |
|----------|--------|------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 534392 | 1 | PCS | DGE-40-2500-ZR-RF-GK | Linear drive | 2 * 100.0 mm | PDF |
| 550949 | 1 | PCS | EAMM-A-F47-100A | Axial kit | | PDF |
| ... | 1 | PCS | EMME-AS-100-M-HS-Ax | Servo motor AC | | PDF |
| ... | 1 | PCS | CMMP-AS-C5-11A-P3-Mx | Controller | | PDF |
| 1336617 | 1 | PCS | CACR-KL2-67-W1800 | Braking resistance | | PDF |

Modify order length

Effective stroke mm

Stroke, in addition both sides mm

Total stroke (Axis) mm

Export Parts list (csv file)
Export Festo Online Basket

Slika 4.37 Prikaz komponenti izabranog sistema

Obzirom na to da se plastične posude nalaze unutar kalupa stanice za izbijanje mašine za termoformiranje, aktuator koji nosi hvataljku manipulatora mora da ostvari vertikalno kretanje radi izuzimanja plastičnih posuda iz kalupa mašine. Zahtevi koji utiču na izbor vrste ovog aktuatora su: vreme trajanja ciklusa proizvodnje i jednostavna konstrukcija manipulatora. U ovom slučaju projektant je izabrao pneumatski cilindar kao aktuator jer je sila koju ovaj aktuator treba da ostvari mala, a takođe je uzet u obzir i zahtev vezan za veoma kratko vreme trajanja ciklusa proizvodnje (hidraulični aktuator ne zadovoljava nijedan od navedenih zahteva). Obzirom na to da ovaj aktuator treba da nosi hvataljku manipulatora čije dimenzije zavise od broja plastičnih posuda matično raspoređenih u alatu mašine, odnosno dimenzijama alata mašine (maksimalno 870 mm x 670 mm), potrebno je koristiti vođice za pneumatski cilindar da ne bi došlo do uvijanja klipnjače cilindra usled dejstva sile u toku njenog rada. Izbor odgovarajućeg pneumatskog cilindra je izvršen upotrebom kataloga firme FESTO. Projektant je za ovu aplikaciju izabrao klasični pneumatski cilindar dvosmernog dejstva.

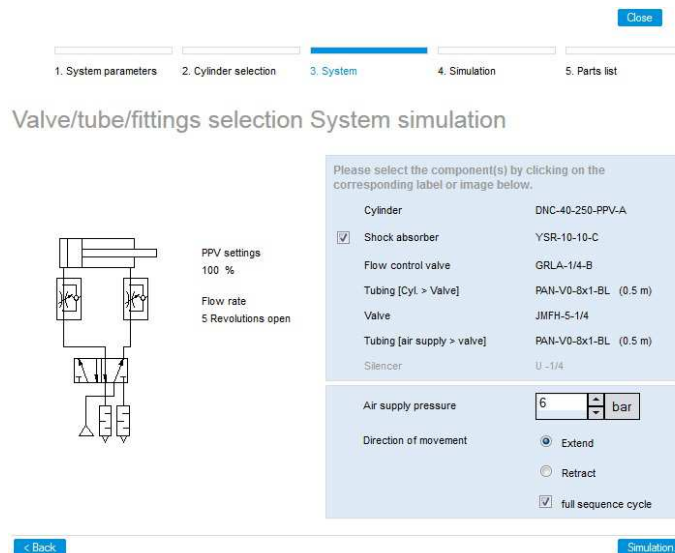
Nakon izbora tipa cilindra potrebno je podesiti sistemske parametre koji omogućavaju suženje izbora ponuđenih cilindara za datu aplikaciju (Slika 4.38). Vreme potrebno za pozicioniranje radnog predmeta je podešeno na 0,3 s, jer je neophodno ostvariti zahtevano maksimalno vreme trajanja ciklusa proizvodnje plastičnih posuda na mašini koje iznosi 3 s. Maksimalan efektivni hod ovog cilindra treba da iznosi 250 mm i zavisi od: dubine plastične posude koja se proizvodi na mašini za termoformiranje, visine pokretne trake i gornjeg položaja stanice za izbijanje mašine. Klipnjača cilindra koji nosi vakuum hvataljku manipulatora treba da bude uvučena u početnom položaju. Masa radnog predmeta koju cilindar treba da nosi je jednaka ukupnoj masi hvataljke manipulatora sa posudama i iznosi do 2 kg.

Slika 4.38 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Nakon podešavanja sistemskih parametara, vrši se izbor jednog od ponuđenih cilindara čije karakteristike odgovaraju unetim sistemskim parametrima. Dodatni parametri koji omogućavaju suženje liste potencijalnih cilindara za ovu aplikaciju su: cilindar mora da ima prigušenje na krajevima hoda i efektivni hod cilindra mora da iznosi tačno 250 mm.

Od ponuđenih cilindara izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-40-250-PPV-A koji zadovoljava zahteve postavljene pred projektanta sistema.

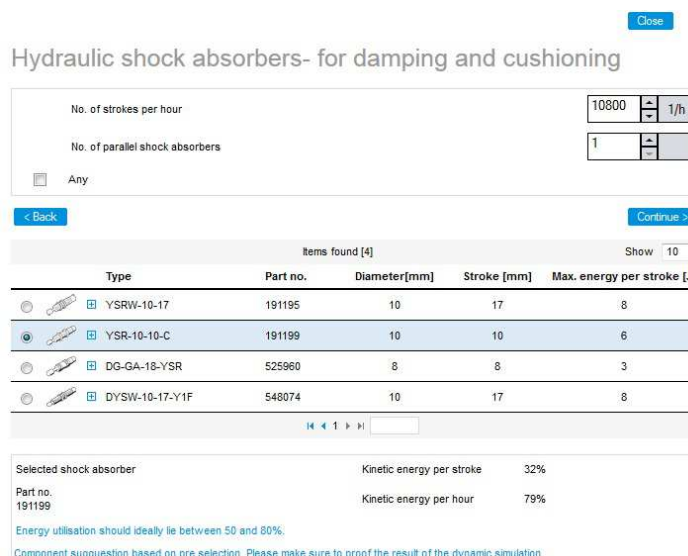
Izbor pneumatskih komponenti manipulatora (Slika 4.39), odnosno izbor i određivanje stepena otvorenosti prigušnica, izbor amortizera i upravljačkog razvodnika se vrši radi dalje simulacije rada izabranog cilindra u cilju zadovoljenja zahteva koji se odnose na rad sistema.



Slika 4.39 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

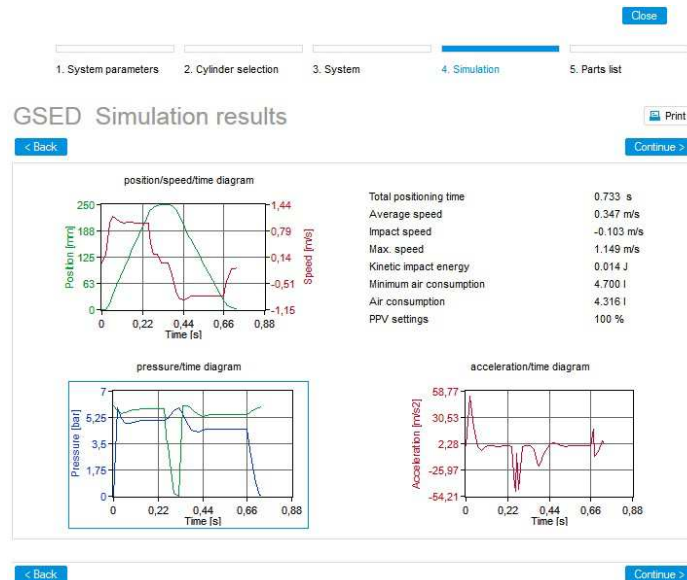
Kod izbora upravljačkog razvodnika izabranog cilindra potrebno je koristiti sledeće dodatne parametre: razvodnik mora da bude bistabilan i da razvodnik bude po ISO standardu (poželjno zbog načina montaže razvodnika).

Kod izbora tipa amortizera potrebno je uneti broj ciklusa koji amortizer treba da ostvari, koji u ovom slučaju iznosi 10800 ciklusa/h (proračun izvršen na osnovu radnog takta mašine). Softver u tom slučaju nudi četiri moguća amortizera za izabrani cilindar sa željenim brojem ciklusa koje amortizer mora da ostvari (Slika 4.40).



Slika 4.40 Izbor amortizera za dati cilindar

Na kraju se vrši simulacija rada izabranih komponenti pneumatskog sistema radi utvrđivanja da li su zadovoljeni svi zahtevi vezani za rad izabranog aktuatora i njegovih komponenti. Sa Slike 4.41 se vidi da je brzina malo manja od zahtevane, ali to ne utiče značajno na ukupno vreme trajanja ciklusa (Slika 4.42), što znači da su izabrane komponente ovog pneumatskog sistema zadovoljavajuće.



Slika 4.41 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu izvršenih analiza projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za vertikalno kretanje hvataljke manipulatora i izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-40-250-PPV-A firme FESTO.

Električna osa

Električna osa sa servo motorom predstavlja sklop koji čine električna osa, spojnica, mehanički priključni set za motor i servo motor. Kao što je ranije pomenuto, izabrani proizvođač, firma FESTO, nudi dve vrste električnih osa u zavisnosti od njihovog mehaničkog modela: električne ose sa navojnim vretenom i električne ose sa kaišem. Električne ose sa navojnim vretenom ostvaruju mnogo manje brzine od onih sa kaišem (električne ose sa navojnim vretenom ostvaruju maksimalnu brzinu od 3 m/s, dok električne ose sa kaišem ostvaruju maksimalnu brzinu od 10 m/s), ali zato mogu da nose duplo veću masu radnog predmeta. U našem slučaju maksimalna masa radnog predmeta koju električna osa treba da nosi iznosi 13 kg. Na osnovu zahteva vezanih za brzinu, masu radnog predmeta i tačnost pozicioniranja, za datu aplikaciju je izabrana električna osa sa kaišem tipa DGE 40-2500-ZR-RF sa cilindričnom vođicom (ležajem).

Unutrašnji prečnik izabrane električne ose iznosi $\varnothing 40$ mm. Ukupni hod elektro ose manipulatora određen je: širinom pokretne trake i širinom stanice za izbijanje mašine za termoformiranje. U našem slučaju ukupni hod električne ose manipulatora iznosi 2750 mm, s tim da efektivan hod električne ose manipulatora iznosi 2500 mm. DGE 40-2500-ZR-RF električnu osu karakterišu i velika tačnost pozicioniranja radnog predmeta koja iznosi $\pm 0,1$ mm i maksimalno ubrzanje i usporenje do 50 m/s^2 .

Način funkcionisanja električne ose je sledeći: rotaciono kretanje motora se putem internog pogonskog elementa (kaiš sa pogonskom vođicom) pretvara u linearno kretanje. Pogonska vođica pokreće kliznu ploču električne ose napred–nazad. Dimenzije klizne ploče su izabrane u skladu s dimenzijama radnog predmeta koji električna osa treba da nosi.

Električna osa je putem mehaničkog priključnog seta za motor i spojnice vezana za servo motor. U ovom slučaju nije izabran reduktor u cilju ostvarenja zahtevane brzine rada električne ose, tako da je prenosni odnos 1:1.

Izabrani servo motor, EMMS-AS-100 firme FESTO, je AC sinhroni motor sa permanentnim magnetom bez četkica, što znači da komutacija koju inače ostvaruju četkice mora da se obezbedi elektronski uključivanjem i isključivanjem tranzistora u pravo vreme. Zamena uobičajenih namotaja na rotoru i struktura polova sa permanentnim magnetima svrstava motor u kategoriju motora bez četkica (detaljnije objašnjeno u Poglavlju 2).

Servo motore karakteriše zatvoreni upravljački sistem (povratna sprega) što znači da motor kontroler šalje signal motoru da započne kretanje, a zatim motor kontroler dobija signal od enkodera da li je došlo do kretanja motora. Takođe ako, na primer, kontroler pošalje komandu motoru da pomera radni predmet pri 500 o/min, a on iz nekog razloga pomera radni predmet brzinom od 400 o/min, povratna sprega će vratiti signal ka motor kontroleru da brzina iznosi 400 o/min, i motor kontroler će uporediti željenu brzinu od 500 o/min i stvarnu brzinu od 400 o/min i prijaviti grešku. Nakon toga će motor kontroler povećanjem naponskog signala ka motoru povećati brzinu motora do željene brzine, odnosno sve dok signal sa povratne sprege ne bude jednak željenoj vrednosti brzine (ako ne dođe do pojave greške).

Izabrani tip motora je malog prečnika, ostvaruje veliku brzinu za različite mase radnog predmeta koji nosi, ima maksimalno moguće ubrzanje i usporenje od 50 m/s^2 i brzinu od 10 m/s, ima mogućnost regulacije usporenja i brzine putem motor kontrolera, karakteriše ga velika preciznost u pozicioniranju, koje se vrši uz pomoć apsolutnog optičkog enkodera.

Za servo motor tipa EMMS-AS-100 izabran je motor kontroler tipa CMMP-AS-C5 firme FESTO. Ovaj tip motor kontrolera karakteriše: napajanje od 400 V AC koje je potrebno za rad motora, kompaktnost, kvalitetna regulacija, integracija svih komponenti kontrolera i napajanja uključujući i RS232 interfejs za komunikaciju sa računarnom i CANopen interfejs za komunikaciju sa PLC-om, integrisan kontroler za analizu podataka sa enkodera, interna kočnica (kočenje otporom), mogućnost funkcionisanja kontrolera kao kontroler brzine, obrtnog momenta, ili pozicije, relativno ili apsolutno pozicioniranje u odnosu na referentnu tačku, pozicioniranje od tačke do tačke sa ili bez blagih prelaza, metod impulsnog pogona, metod obučavanja, kratka vremena ciklusa, ulazno/izlazni modul koji se jednostavno programira, automatska identifikacija motora, i dr.

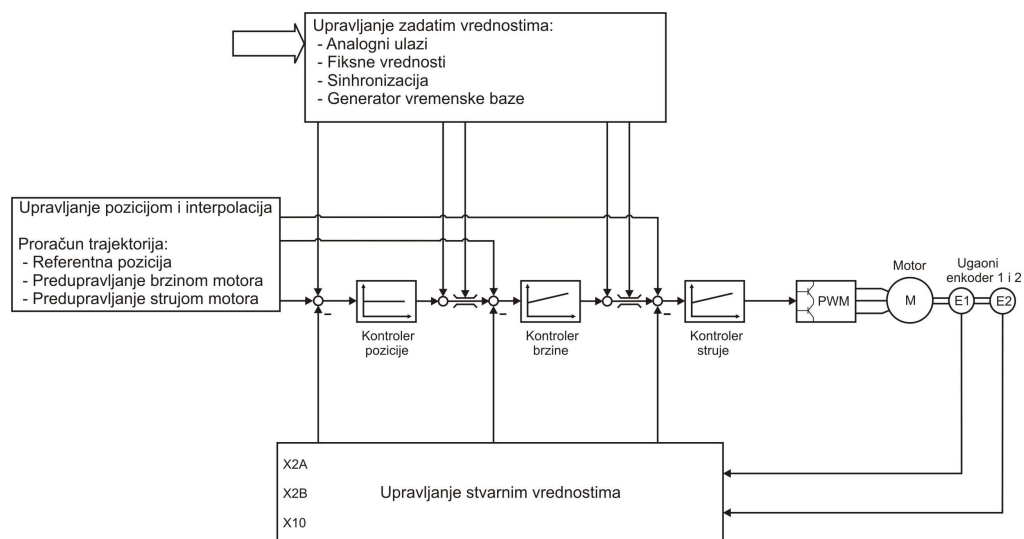
Postoji dva tipa rotacionih enkodera: apsolutni i inkrementalni enkoderi. Za razliku od inkrementalnog enkodera, kojeg čini jednostavan sistem sa jednom stazom, disk kod apsolutnog enkodera ima nekoliko koncentričnih staza. Svaka od tih staza se sastoji od obrasca koji čine providni ili neprovidni segmenti. Ove nezavisne staze daju

jedinstvenu kombinaciju apsolutnih vrednosti za svaku poziciju. Kodiran format je varijacija binarnog koda koji se zove Grejev kod. Grejev kod se koristi jer se menja samo jedan "bit" između susednih reči na disku. Ovo eliminiše pojavu greške senzora, koji prate reči, za plus ili minus jedan bit. Kod ostalih kodova kao što je npr. binarni decimalni kod, potrebno je nekoliko bitova za promenu stanja između susednih reči. Apsolutni enkoderi ne gube poziciju kada nestane napajanje. Obzirom na to da je svaka pozicija jedinstvena, verifikacija tačne pozicije je moguća čim se uključi napajanje. Multi-turn apsolutni enkoder se sastoji od niza diskova koji su povezani na osnovni disk velike rezolucije putem sistema prenosnika (zupčanika). Optički senzori koji se nalaze na štampanoj ploči očitavaju obrazac na svakom disku radi generisanja određene kodirane vrednosti. Ta vrednost predstavlja broj kompletnih rotacija osovine zajedno sa njenim trenutnim uglom. Multi-turn enkoderi ne samo da određuju poziciju osovine, već i koliko puta se osovina rotirala za ugao od 360°. Enkoder koji je upotrebljen kod manipulatora o kojem je reč u ovom radu je apsolutni optički multi-turn enkoder sa 4096 mogućih pozicija.

Upravljanje servo motorom i električnom osom

Funkcije CMMP kontrolera:

- CMMP kontroler sa 400 V AC napajanjem za motor, o kojem je ovde reč, ima sistem aktivnog upravljanja faktorom iskorišćenja snage (PFC – Power Factor Control). PFC predstavlja sistem koji upravlja količinom snage koja se koristi u zavisnosti od mase radnog predmeta da bi se ostvario faktor snage koji se bliži jedinici.
- Postoji mogućnost upotrebe više različitih komunikacionih interfejsa: RS232, CAN bus, Profibus, DeviceNet ili SERCOS.
- Osnovna upravljačka struktura CMMP kontrolera je prikazana na Slici 4.42. Kontroler struje, kontroler brzine i kontroler napajanja su postavljeni kao kaskadni kontroleri. Osnovni načini funkcionisanja su: upravljanje obrtnim momentom sa ograničenjem brzine, upravljanje brzinom sa ograničenjem obrtnog momenta, i pozicioniranje.



Slika 4.42 Upravljačka struktura CMMP kontrolera

- Funkcije kao što su sinhronizacija i generator vremenske baze su varijante osnovnih načina funkcionisanja. Kod upravljanja obrtnim momentom ili brzinom mogu se koristiti zadate vrednosti. Zadate vrednosti mogu biti: tri analogna ulaza – AIN 0, AIN 1 i AIN 2 ili tri fiksne vrednosti: podešavanja za prvu vrednost zavise od logike kontrolera:
 - jedinica kao fiksna vrednost,
 - RS232 interfejs,
 - CAN Bus interfejs,
 - PROFIBUS interfejs,
 - Device Net ili SERCOS interfejs;
 - podešavanje druge i treće vrednosti koje su fiksne;
 - procesni kontroler;
 - sinhronizacija ulaza;
 - dodatni ulaz za inkrementalni enkoder.

Ako izvori zadatih vrednosti nisu aktivirani onda su zadate vrednosti jednake nuli.

- U slučaju upravljanja obrtnim momentom specificirana je određena zadata vrednost obrtnog momenta koju servo kontroler treba da generiše u motoru. U ovom slučaju je aktiviran samo strujni regulator, jer je obrtni moment proporcionalan struji motora.
- Upravljanje brzinom se koristi kada brzina motora treba da bude konstantna bez obzira na promenu mase radnog predmeta. Kontroler brzine je projektovan kao PI kontroler. Stvarne vrednosti brzine i pozicije se određuju putem internog enkodera u motoru.
- Kontroler ima mogućnost sinhronizacije prema satu eksternog uređaja.
- U slučaju pozicioniranja, kao dodatak upravljanju brzinom, aktivan je kontroler pozicije koji meri devijacije između zadate i trenutne pozicije i koristi to za definisanje zadatih vrednosti za kontroler brzine.
- CMMP kontroler za pozicioniranje može da funkcioniše kao glavni (master - eng) ili kao podređeni (slave - eng). Kada funkcioniše kao master kontroler može da daje slave uređaju trenutnu poziciju i/ili brzinu rotora. Kada funkcioniše kao slave, komunikacioni interfejs može da se koristi za prijem ulaznih signala. Ulazi mogu biti aktivni ili neaktivni.
- CMMP kontroler može direktno da upravlja kočnicom motora. Kočnica može da se aktivira i automatski nakon što se izvrši parametrizacija.

Upravljanje pozicioniranjem:


- Kod pozicioniranja mora da se zada određena pozicija u koju motor (klizna ploča električne ose manipulatora) treba da se pomeri. Trenutna pozicija se dobija analizom podataka dobijenih od strane enkodera. Neslaganja u poziciji se obrađuju od strane kontrolera za pozicioniranje i prosleđuju se regulatoru brzine. Integrisan kontroler za pozicioniranje omogućava vremenski optimizovano pozicioniranje bez trzaja, relativno u odnosu na trenutnu

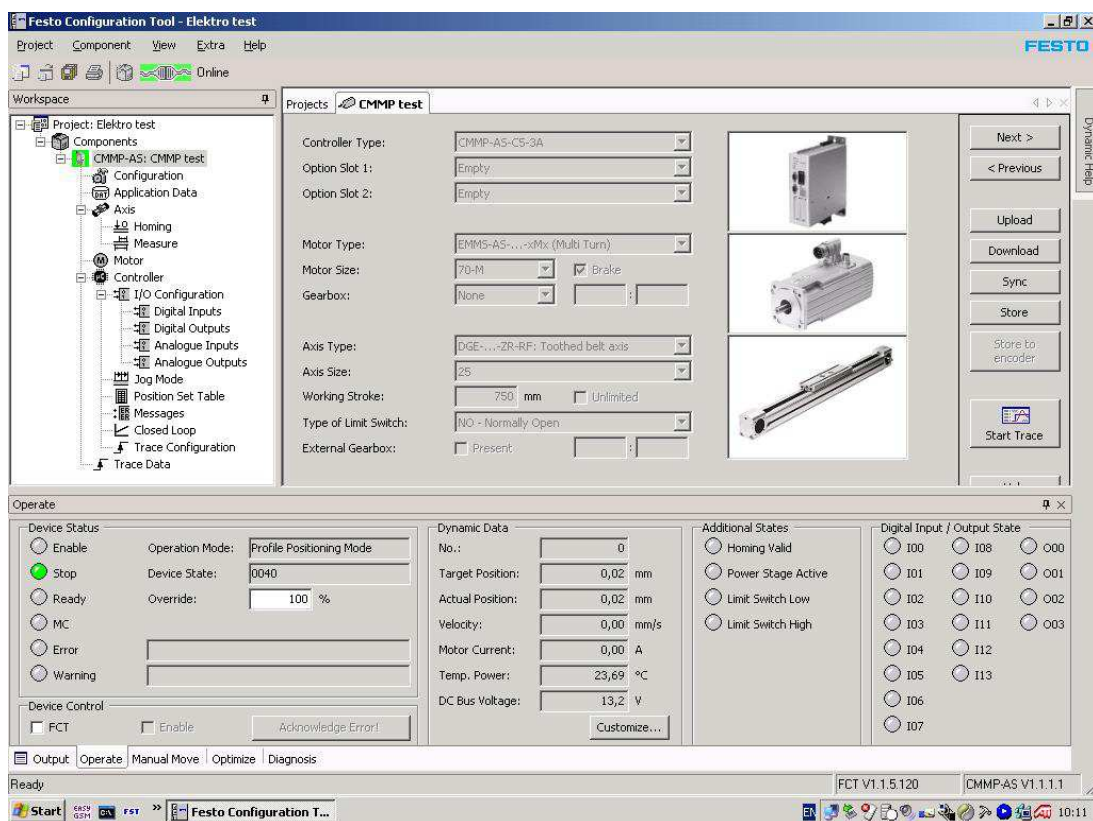
poziciju ili apsolutno u odnosu na referentnu poziciju. Kod apsolutnog pozicioniranja kretanje se vrši do definisane željene pozicije. Kod relativnog pozicioniranja kretanje se vrši prema zadatoj putanji. Parametri za kontroler za pozicioniranje se zadaju putem određene tabele u FCT softveru na računaru. Metod pozicioniranja, putanja, ubrzanje, vreme kočenja i maksimalna brzina se mogu uneti za bilo koju poziciju.

- Početna pozicija (Homing - eng.) predstavlja definisanu nultu poziciju pri svakom početku funkcionisanja sistema i može se pokrenuti komandom zadatom putem komunikacionog interfejsa ili automatski kada se kontroler osposobi za funkcionisanje (Enable signal ka motor kontroleru). Dovođenje električne ose manipulatora u nultu poziciju može da se vrši putem digitalnog ulaza na kontroleru ili upotrebom softvera za parametrizaciju (FCT softver). Pored drugih operacija, kontroler Enable signal potvrđuje poruke vezane za pojavu grešaka i taj signal može da bude uključen ili isključen u zavisnosti od aplikacije. Homing ima opciju za podešavanje brzine kretanja električne ose manipulatora i kretanja bez trzaja.
- Redosled pozicioniranja definiše korisnik putem digitalnih ulaza kontrolera ili putem profibus komunikacije specificiranjem početne pozicije i putanje (ostale pozicije).
- Digitalni ulaz za Stop funkciju se koristi ako želimo u bilo kom trenutku da zaustavimo kretanje električne ose manipulatora. Nakon aktiviranja tog ulaza električna osa manipulatora se zaustavlja u položaju u kom se zatekla u trenutku aktiviranja Stop funkcije. Deaktiviranjem Stop funkcije električna osa manipulatora nastavlja kretanje prema poziciji u koju je krenula pre aktiviranja te funkcije.
- Postoje i sigurnosne funkcije koje prate određene parametre i prijavljuju grešku ako dođe do određene situacije. Na primer: praćenje prekida glavnog napajanja, prekida napajanja motora, aktivacije TOTAL STOP tastera, otvaranje sigurnosnih vrata na mašini, itd.

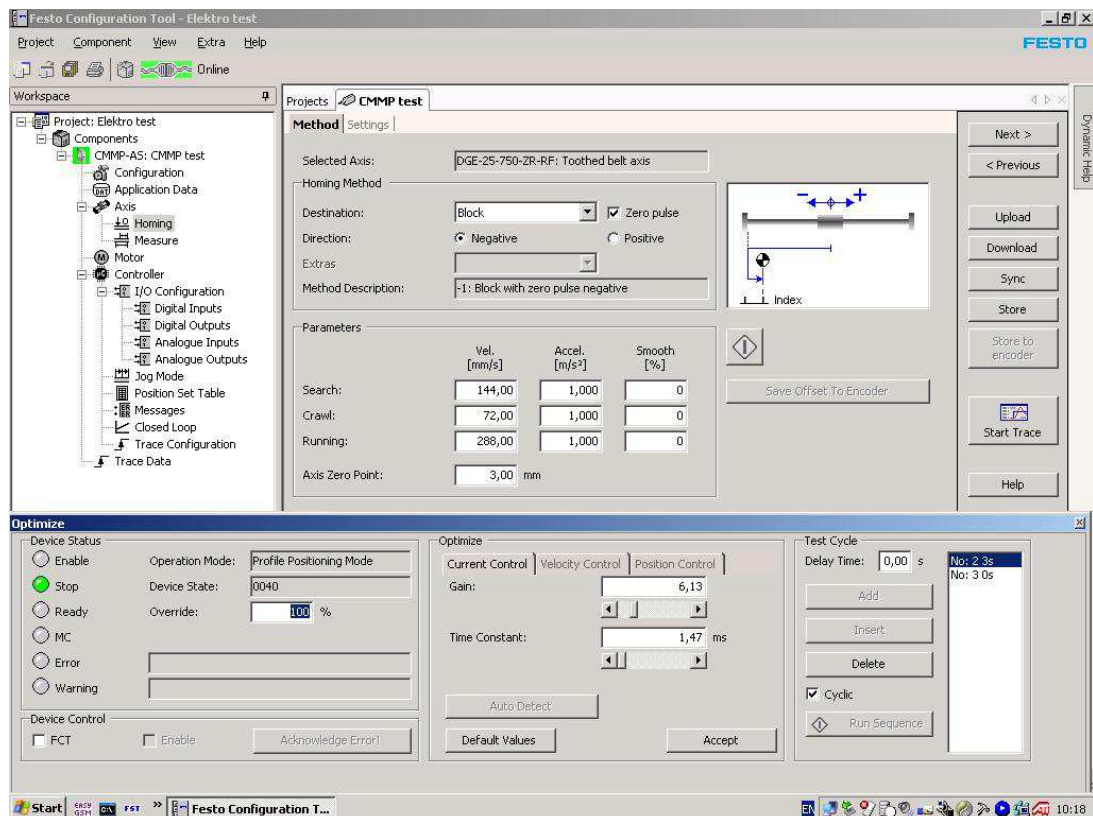
FCT (Festo Configuration Tool) softver

FCT softver se koristi za unos parametara motor kontrolera i puštanje sistema u rad. Nakon pokretanja FCT softvera, definiše se naziv projekta i otvara se prozor prikazan na Slici 4.43. U gornjem levom delu Slike 4.43 se nalazi stablo koje prikazuje naziv projekta (npr. Elektro test), zatim komponente sistema (kontroler, električnu osu, motor) i funkcije izabranog kontrolera. Ako su povezani svi neophodni kablovi (za napajanje, komunikaciju, signalni) i ako je pokrenut FCT softver na računaru, može da se uključi napajanje CMMP kontrolera, električnom energijom. Softver sam prepoznaje koji kontroler je izabran dok se potrebni podaci o motoru i električnoj osi, prikazani u gornjem desnom delu Slike 4.43, moraju uneti naknadno. Zahtevani podaci vezani za motor su: tip motora, veličina motora, da li motor ima kočnicu i da li je izabran reduktor ili ne. Zahtevani podaci koji se odnose na električnu osu su: tip izabrane električne ose, veličina električne ose, efektivni hod električne ose, vrsta graničnih prekidača koji se nalaze na krajevima električne ose (ako postoje) i da li postoji eksterni reduktor. U donjem delu Slike 4.43, na kartici Operate, se nalaze podaci o statusu uređaja, dinamički podaci, podaci o dodatnim statusima i statusima digitalnih ulaza i izlaza. Nakon što su


svi ovi podaci uneti, potrebno je aktivirati crvenu ikonicu Offline (nalazi se u toolbar-u), koja kada se uspostavi konekcija između računara i CMMP kontrolera postaje zelena i natpis ikonice se menja u Online. Aktiviranjem dugmeta Enable, na kartici Device Control, status kontrolera se menja u Ready (spreman za rad). Nakon toga je potrebno otvoriti prozor za Homing (Slika 4.44), odnosno dovođenje klizne ploče električne ose u početni položaj. Parametri koje treba podesiti za Homing su: odredište (do graničnog prekidača, do bloka, ...), smer kretanja (pozitivan ili negativan), brzina kretanja ka odredištu, ubrzanje i usporenje. Nakon unosa ovih parametara treba sačuvati te podatke u enkoder, a zatim aktiviranjem dugmeta Download na desnoj strani prozora za Homing snimiti te podatke u CMMP kontroler. Nakon toga, pritiskom na dugme  u prozoru za Homing, klizna ploča električne ose počinje da se kreće u definisani početni položaj. Pomeranje klizne ploče električne ose u bilo koji željeni položaj može da se vrši manualno (Slika 4.45) ili definisanim te pozicije softverski (Slika 4.46).






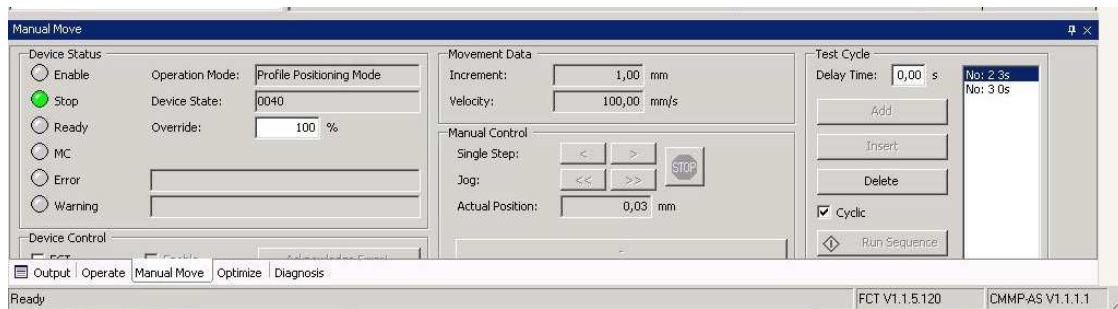
Slika 4.43 Prikaz prozora za parametrizaciju u FCT softveru



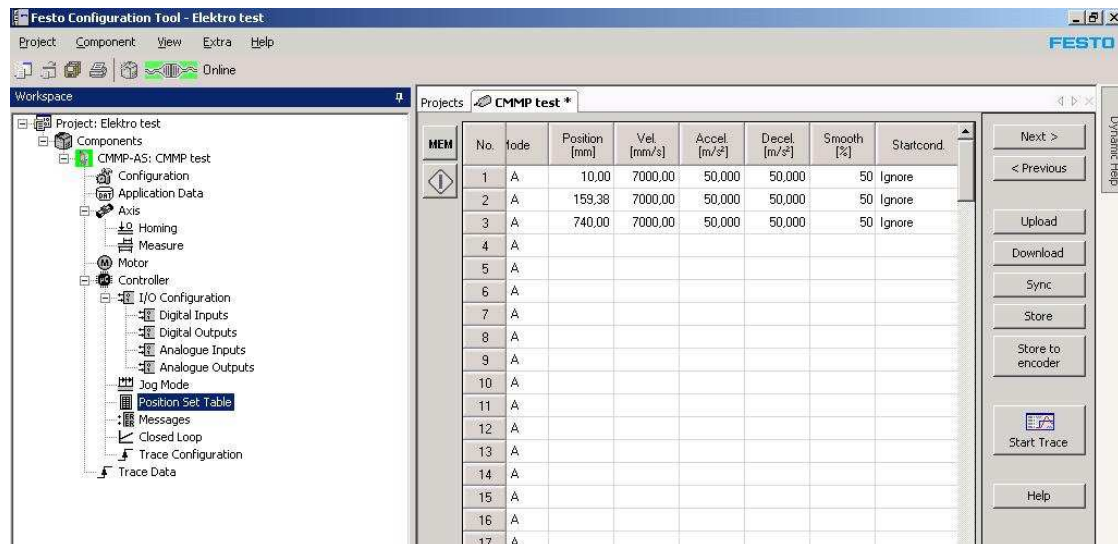
Slika 4.44 Prikaz prozora za Homing u FCT softveru

Kao što se vidi na Slici 4.45 kartica Manual Move u FCT softveru se koristi za manualno pomeranje klizne ploče električne ose u željeni položaj. Od zadate vrednosti inkrementa zavisi za koliko milimetara će se klizna ploča električne ose pomeriti. Pored inkrementa zadaje se i brzina kretanja klizne ploče električne ose u mm/s. Klizna ploča električne ose može da se pomera za jedan korak (npr. za jedan milimetar ako je vrednost inkrementa 1 mm), ili do definisane pozicije električne ose (npr. pozicija graničnih prekidača na krajevima hoda). Pritiskom na dugme  kretanje klizne ploče električne ose može da se zaustavi u bilo kojem trenutku.

Opcija Position Set Table, prikazana na Slici 4.46, se koristi za unos željenih pozicija, brzine, ubrzanja i usporenja za svaku od tih pozicija. Nakon unosa navedenih parametara pritiskom na dugme  koje se nalazi ispred pozicije, koja se prethodno označi pritiskom na dugme sa rednim brojem te pozicije, klizna ploča električne ose izvrši kretanje u željenu poziciju. Ako želimo da se kretanje klizne ploče električne ose vrši ciklično, treba označiti polje Cyclic u delu Test Cycle koji se nalazi na kartici Manual Move (Slika 4.45). Ako želimo da postoji vremenska pauza između dva kretanja uneti željenu vrednost pauze u sekundama (opcija Delay Time na Slici 4.45). Pritiskom na dugme  se pokreće ciklično kretanje klizne ploče električne ose čiji je redosled pozicioniranja jednak redosledu pozicija definisanih tabelom na Slici 4.46. Pritiskom na dugme  kretanje se zaustavlja u poziciji u kojoj se klizna ploča električne ose nađe nakon pritiska pomenutog dugmeta.



Slika 4.45 Manualno pomeranje klizne ploče elektro ose u željeni položaj



Slika 4.46 Dovođenje klizne ploče elektro ose u željeni položaj, definisanjem tačne pozicije tog položaja, putem FCT softvera

Praćenje promene brzine, ubrzanja i usporenja u vremenu može da se vrši u prozoru Trace Data (opcija na kraju stabla na levoj strani FCT softvera).

U slučaju manipulatora koji se koristi za proces termoformiranja plastičnih posuda o kojem je reč u ovom radu, zadaju se četiri pozicije klizne ploče električne ose. Prva P001 i druga P002 pozicije predstavljaju početnu i krajnju poziciju ploče električne ose manipulatora. Treća pozicija P003 je pozicija gde je klizna ploča električne ose pozicionirana iznad pokretne trake. Ova pozicija služi za ostavljanje plastičnih posuda na traku nakon njihovog izuzimanja iz mašine za termoformiranje. Četvrta pozicija P004 je unutar mašine za termoformiranje (odnosno iznad izbacivača mašine). Ove pozicije se definišu u FCT softveru i čuvaju u memoriji CMMP kontrolera. Pozicije se aktiviraju putem digitalnih ulaza na CMMP kontroleru signalom koji šalje CPX kontroler sa ventilskog ostrva.

Hvataljka manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda

Hvataljka manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda (Slika 4.47) se sastoji od DNC 40-250 pneumatskog cilindra sa vođicama firme FESTO (deo 4 na Slici 4.47), aluminijumskih profila, razvoda za vakuum (deo 3 na Slici 4.47) i vakuum sisaljki (deo 11 na Slici 4.47). Upravljanje radom cilindra se vrši putem pneumatskog razvodnika sa elektro upravljanjem, pomoću digitalnih signala sa CPX kontrolera koji se nalazi unutar

upravljačkog ormana. Detekcija položaja klipnjače cilindra (uvučena/izvučena) se vrši putem reed kontakata koji se nalaze na krajevima cilindra.

Broj posuda koje hvataljka nosi zavisi od toga koji se kalup nalazi u mašini za termoformiranje.

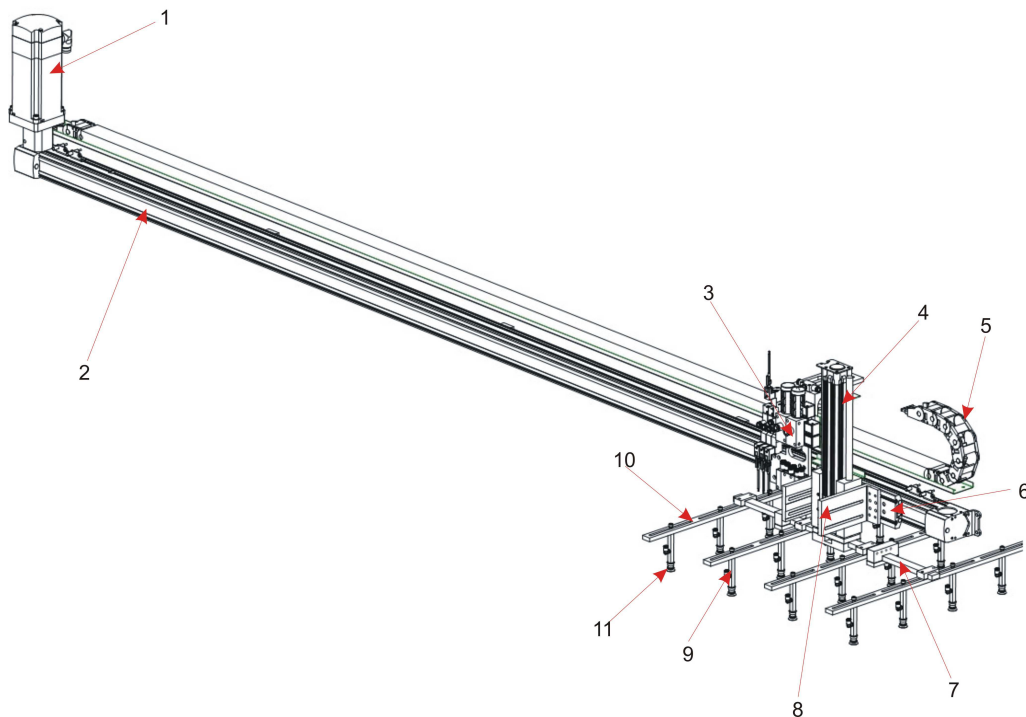
Na kliznu ploču (deo 6 na Slici 4.47) DGE 40-2500-ZR-RF električne ose manipulatora (deo 2 na Slici 4.47) je pričvršćena noseća ploča DNC 40-250 cilindra (deo 8 na Slici 4.47) i kreće se zajedno sa kliznom pločom DGE 40-2500-ZR-RF električne ose manipulatora. Radi tačnijeg pozicioniranja centra hvataljke u odnosi na centar kalupa, koji se nalazi u stanici za izbijanje mašine za termoformiranje, noseća ploča DNC 40-250 cilindra mora da ima mogućnost da se pomera po kliznoj ploči DGE 40-2500-ZR-RF električne ose manipulatora u pravcu y ose (Dekartovog koordinatnog sistema). Pozicioniranje DNC 40-250 cilindra po x osi (Dekartovog koordinatnog sistema) se vrši njegovim pomeranjem duž žljebova noseće ploče tog cilindra.

Na DNC 40-250 pneumatski cilindar sa vođicama je pričvršćen centralni alumunijumski profil (deo 7 na Slici 4.47) koji nosi poprečne alumunijumske profile (deo 10 na Slici 4.47). Poprečni profili mogu da se pomeraju duž centralnog profila po x i y osi (Dekartovog koordinatnog sistema). Takođe, alumunijumski stubići (deo 9 na Slici 4.47) sa vakuum sisaljka mogu da se pomeraju po poprečnim profilima, pa se na taj način pomeranjem profila i/ili stubića ista hvataljka može koristiti za više različitih proizvoda.

Vakuum je ostvaren upotrebom vakuum pumpe sa vodenim hlađenjem koja može da ostvari protok od 3000 l/min i namenjena je isključivo za rad manipulatora za mašinu za termoformiranje.

Signalni i kablovi za napajanje, kao i pneumatska creva koja se koriste na hvataljci, su sprovedeni od hvataljke ka upravljačkom ormanu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje upotrebom energetskog lanca čije su dimenzije određene količinom kablova koji se postavljaju u energetski lanac. Energetski lanac se kreće po y osi (Dekartovog koordinatnog sistema) zajedno sa hvataljkom manipulatora.

Vakuum hvataljka je projektovana tako da uvek hvata plastične posude u njihovom centralnom delu (bez obzira na izgled i dimenzije posude) radi bolje manipulacije njima.



Slika 4.47 Hvataljka manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje

Upravljački orman manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda

Upravljački orman manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje se nalazi na prednjoj strani čelične konstrukcije manipulatora i čine ga: elektro orman, CPX kontroler, dva CMMP servo motor kontrolera, displej osetljiv na dodir, tasteri, prekidači, transformator 220 V AC/24 V DC, relej, ventilator sa termostatom, pripremna grupa, EUROMAP konektori, i dr.

Za ovaj manipulator je namenski projektovan elektro orman sa upravljačkim pultom koji ima IP65 zaštitu (zaštita od prodora prašine i dodira, zaštita od mlaza vode iz svih smerova).

Na upravljačkom pultu se nalaze tasteri: START i STOP, prekidač ROBOT ON/OFF, sijalice NAPAJANJE i GREŠKA, TOTAL (EMERGENCY) STOP taster i displej osteljiv na dodir. Taster START služi za pokretanje manipulatora, odnosno dovođenje hvataljke manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda u poziciju iznad kalupa u stanici za izbijanje, hvataljke manipulatora za izuzimanje upijača iznad magacina i hvataljki manipulatora za slaganje iznad pokretne trake. Manipulatori su tada aktivirani i nakon aktiviranja izbacivača mašine za termoformiranje (pomeranje kalupa za izbijanje u zadati krajnji gornji položaj) manipulatori započinju radni ciklus.

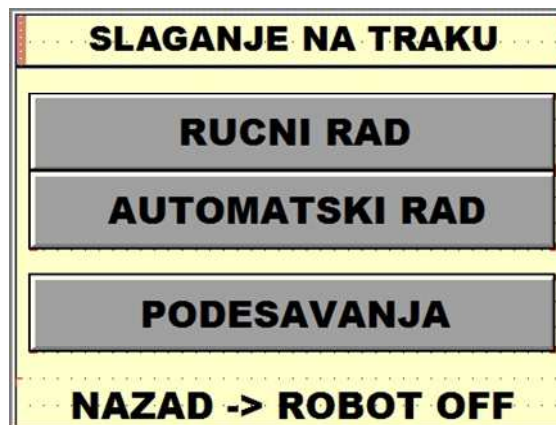
Taster STOP služi za zaustavljanje manipulatora u toku rada. Pritiskom na ovaj taster, u toku rada, manipulatori se nakon završetka ranije započetog ciklusa vraćaju u početni položaj. Taster STOP ovde ima još jednu funkciju, a to je resetovanje grešaka koje mogu da se jave u radu manipulatora. U slučaju da dođe do pojave bilo koje greške u radu manipulatora, manipulatori prestaju sa radom (zaustavljanje manipulatora u bezbednoj poziciji), a da bi nakon otklanjanja greške manipulatori nastavili sa radom, grešku je potrebno resetovati pritiskom na taster STOP.

Prekidač ROBOT ON/OFF služi za aktiviranje radnog režima manipulatora za mašinu za termoformiranje.

Sijalica NAPAJANJE signalizira da li je uključeno napajanje upravljačkog ormara (aktiviran glavni grebenasti prekidač). Sijalica GREŠKA signalizira pojavljivanje bilo koje greške u radu manipulatora ili u radu mašine za termoformiranje. Za signalizaciju greške postoji i sirena koja daje zvučni signal i aktivira se nakon sijalice za grešku. Sijalica i sirena se gase nakon otklanjanja nastalih grešaka.

TOTAL STOP tasteri služi za prinudno zaustavljanje rada manipulatora za mašinu za termoformiranje i mašine za termoformiranje. Svi TOTAL STOP tasteri (na manipulatorima i mašini) su redno vezani tako da se aktiviranjem bilo kojeg od njih prekida proizvodnja i montaža proizvoda. Nakon otpuštanja TOTAL STOP tastera potrebno je isključiti i ponovo uključiti napajanje električnom energijom da bi se poništio efekat tastera. Ovo je urađeno da radnici ne bi pritiskali ovaj taster bez preke potrebe.

Displej tipa FED, firme FESTO, je ugrađen na upravljački pult manipulatora za izuzimanje plastičnih proizvoda iz mašine. Displej služi za interakciju korisnika sa sistemom, odnosno za: izbor načina rada manipulatora, podešavanje parametara manipulatora i pokretne trake i prikaz mogućih grešaka u radu manipulatora. Pri izboru načina rada manipulatora (Slika 4.48) na ekranu displeja je, u gornjem delu ispisan naziv trenutnog režima rada što je u ovom slučaju "SLAGANJE NA TRAKU". U centralnom delu ekrana displeja se nalaze dva dugmeta za izbor načina rada manipulatora: "RUČNI RAD" i "AUTOMATSKI RAD" i dugme "PODEŠAVANJA".

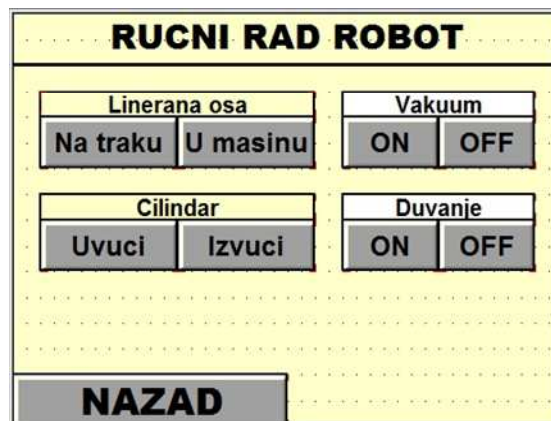


Slika 4.48 Izgled displeja pri izboru načina rada

Pritiskom na dugme "RUČNI RAD", otvara se novi ekran displeja (Slika 4.49). U gornjem delu ovog ekrana je prikazan izabrani način rada manipulatora: "RUČNI RAD ROBOT". Na levoj polovini ovog ekrana se nalaze dugmići: "Na traku" ili "U mašinu", koji služe za ručno aktiviranje DGE 40-2500-ZR-RF električne ose manipulatora i pomeranje njene klizne ploče, koja nosi DNC 40-250 cilindar i hvataljku manipulatora. Pritiskom na dugme "Na traku" se vrši dovođenje hvataljke manipulatora u poziciju iznad pokretne trake radi njenog centriranja u odnosu na pokretnu traku i testiranja rada senzora koji utiču na funkcionisanje hvataljke. Pritiskom na dugme "U mašinu" se vrši dovođenje hvataljke u poziciju iznad kalupa stanice za izbijanje mašine za

termoformiranje, radi njenog centriranja u odnosu na kalup stanice za izbijanje, u cilju preciznijeg preuzimanja plastičnih posuda i njihovog izuzimanja iz mašine na pokretnu traku. Na levoj polovini ekrana se nalaze i dugmići: "Uvuci" i "Izvuci", koji služe za ručno upravljanje radom DNC 40-250 cilindra sa hvataljkom. Pritiskom na dugmiće "Uvuci" i "Izvuci" se vrši uvlačenje ili izvlačenje klipnjače tog cilindra. Ovde je ručni rad koristan za ispitivanje funkcionisanja DNC 40-250 cilindra, kao i njegovih reed kontakata. Na desnoj polovini ekrana za ručni rad se nalaze dugmići za aktiviranje "ON" i deaktiviranje "OFF" vakuuma i duvanja.

Aktiviranjem navedenih dugmića ekrana za ručni rad, unapred definisanim redosledom, moguće je testirati funkcionisanje manipulatora simulacijom jednog ciklusa rada.



Slika 4.49 Izgled ekrana displeja manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda u ručnom radu

Pritiskom na dugme "AUTOMATSKI RAD", otvara se novi ekran displeja (Slika 4.50). U gornjem delu ovog ekrana je prikazan izabrani režim rada manipulatora: "SLAGANJE NA TRAKU", kao i trenutno stanje sistema: "SISTEM SPREMAN čeka se START". Da bi manipulator započeo automatski način rada potrebno je pritisnuti taster START koji se nalazi na upravljačkom pultu manipulatora. Na istom ekranu displeja se vrši i podešavanje parametara manipulatora vezanih za slaganje plastičnih posuda na pokretnu traku, a to su: "Kašnjenje senzora" i "Broj komada". Pritiskom na dugme "PROMENI", koje se nalazi u donjem delu ekrana, otvara se novi ekran displeja na kom se mogu menjati parametri: "Kašnjenje senzora" i "Broj komada". "Kašnjenje senzora" je parametar koji predstavlja vreme koje treba da istekne od trenutka kada plastične posude koji nosi hvataljka manipulatora aktiviraju odgovarajući senzor, do trenutka kada započinje uvlačenje klipnjače cilindra sa hvataljkom. "Broj komada" je parametar koji označava broj plastičnih posuda koje manipulator za izuzimanje plastičnih posuda slaže na pokretnu traku, pre nego što se pokretna traka pomeri za unapred definisani korak.



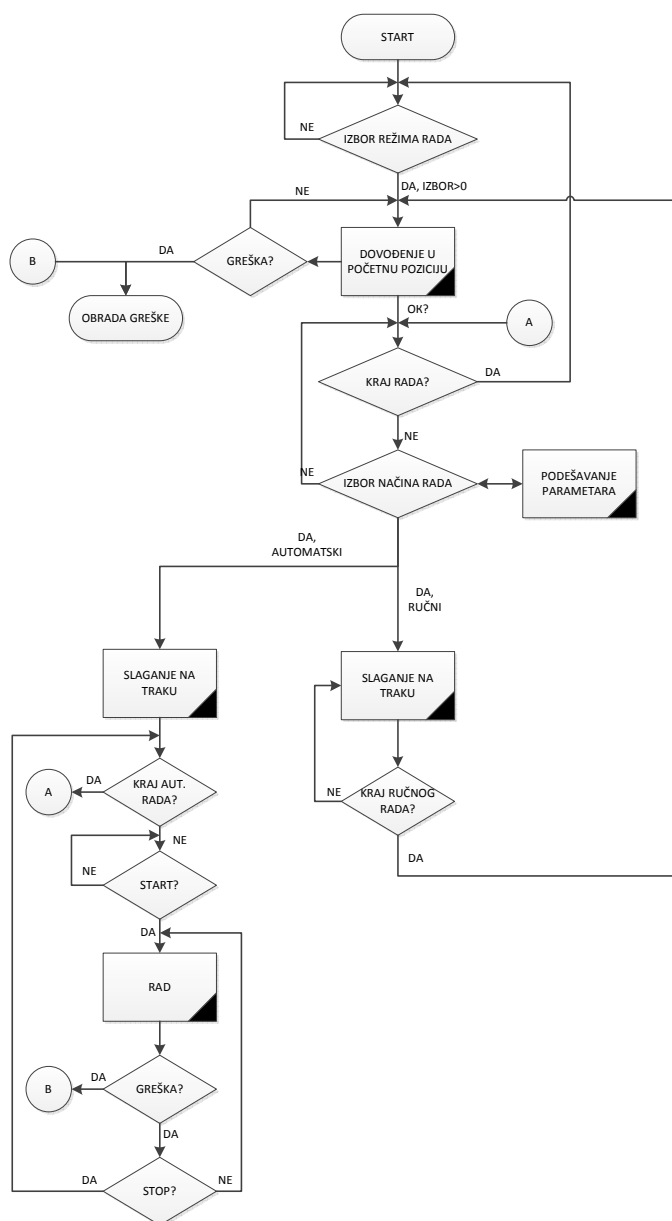
Slika 4.50 Izgled ekrana dipleja u automatskom radu i/ili podešavanje parametara manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda

Transformator 220 V AC/24 V DC se koristi za napajanje elektronskih komponenti manipulatora, jer su sve upravljačke elektro komponente manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje izabrane da rade sa naponom od 24 V DC.

Elektro deo upravljačkog ormana čini CPX kontroler firme FESTO, koji se sastoji od više modula koji su međusobno povezani u jednu celinu. Kod manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine upotrebljeni su sledeći moduli: procesorski modul, moduli sa digitalnim ulazima i moduli sa digitalnim izlazima. CPX kontroler se konfigurira prema potrebama sistema. Napajanje električnom energijom sa procesorskog modula je interno povezano sa ostalim modulima. Za signalizaciju grešaka u radu CPX kontrolera, da li je program aktivan ili neaktivan postoje diode koje se nalaze na procesorskom modulu CPX kontrolera. Komunikacija sa kontrolerima drugih manipulatora može da se odvija serijskom vezom, CAN Open komunikacijom i/ili putem mreže (TCP/IP), ali je u ovom slučaju izabrana komunikacija putem mreže. Procesorski modul prikuplja informacije uređaja spojenih na ulazne module i/ili od nekog od navedenih oblika komunikacije i na osnovu softvera, koji se nalazi u njemu, šalje signale na izlazne module koji služe za aktiviranje elektromagneta pneumatskih razvodnika ili signalnih sijalica.

Za programiranje CPX kontrolera se koristi softver FST 4 firme FESTO. Program za manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje je urađen u vidu liste rečenica. Opšti algoritam funkcionisanja manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine je prikazan na Slici 4.51. Nakon izbora režima slaganja, sistem se dovodi u početnu poziciju. Ukoliko je izabran režim rada manipulatora koji naziva slaganje na traku, manipulator započinje dovođenje u početnu poziciju počinje i nadzor svih grešaka koje se mogu javiti u sistemu, u izabranom režimu rada. Ukoliko dođe do greške, sistem odmah prestaje sa radom i vrši se obrada greške, odnosno sistem se dovodi u bezbedan položaj (izvan mašine). Ukoliko je TOTAL STOP taster aktiviran, mora se isključiti napajanje električnom energijom i tek nakon ponovnog uključanja napajanja se može ponovo početi sa radom. U slučaju da se javi greška u radu sistema, sistem može da nastavi sa radom nakon potvrde na displeju da je greška otklonjena. Sve greške u bilo kom koraku algoritma se obrađuju na navedeni način.

Nakon dostizanja početne pozicije, korisniku je na raspolaganju izbor načina rada (ručni ili automatski rad) ili podešavanje parametara sistema. U ovom koraku se mogu podesiti svi parametri neophodni za rad sistema. U ručnom radu sistema, u zavisnosti od izabranog načina slaganja korisniku su na raspolaganju komande za upravljanje radom manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine. Ručni rad se može koristiti za podešavanje pozicija manipulatora i proveru da li je sistem adekvatno podešen i spreman za rad. U ručnom radu se ne nadziru greške, ali uslovi za kretanje svih komponenti manipulatora moraju biti zadovoljeni. U automatskom radu dozvoljeno je, putem displeja, podešavanje samo nekoliko najosnovnijih parametara (broj redova i brzina trake) koji ne utiču na rad sistema, a od značaja su za korisnika. U toku rada neprestano se nadzire da li je došlo do neke greške u radu sistema. Ukoliko je došlo do greške sistem odmah prestaje sa radom i greška se obrađuje na ranije pomenut način.



Slika 4.51 Opšti algoritam funkcionisanja manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine

CPX kontroler i mašina za termoformiranje međusobno komuniciraju razmenom digitalnih signala putem EUROMAP konektora. Ovaj konektor se sastoji od 16 pin-ova na koje su vezane signalne žice koje dolaze od mašine i žice koje dolaze iz upravljačkog ormana odnosno od CPX kontrolera. Od mašine za termoformiranje se preuzimaju signali kao što su: signal da su sigurnosna vrata na mašini zatvorena, izbacivač izvučen, izbacivač uvučen i TOTAL STOP. Mašini se šalju sledeći signali: greška u radu manipulatora i TOTAL STOP.

Izabrana pripremna grupa se sastoji od filtera, regulatora pritiska, on/off ventila i senzora pritiska. Filter sa stepenom filteracije do 5 μm je izabran za ovu pripremnju grupu. Protok vazduha pod pritiskom kroz ovu pripremnju grupu iznosi 1500 l/min. On/off ventil je sa elektro upravljanjem tako da se aktiviranje pripremnje grupe vrši isključivo programski, odnosno putem digitalnog upravljačkog signala od CPX kontrolera. Senzor pritiska koji je deo ove pripremnje grupe na displeju pokazuje trenutnu vrednost pritiska vazduha. U slučaju da pritisak vazduha padne ispod definisane donje granice (6 bar) ili pređe gornju granicu (10 bar), senzor šalje signal ka CPX kontroleru koji isključuje on/off ventil i onemogućava protok vazduha u sistem. Odvajanje kondenzata se vrši automatski.

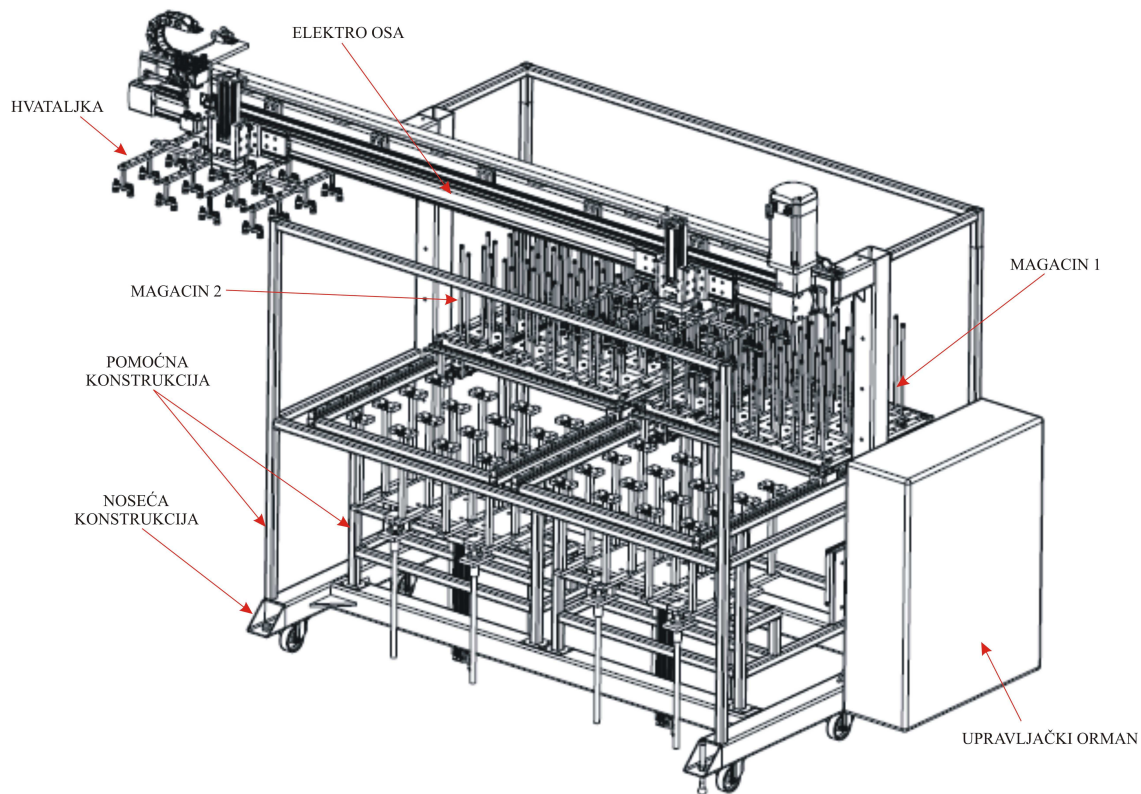
Karakteristike, način funkcionisanja i programiranja CMMP motor kontrolera su objašnjeni ranije u ovom poglavlju.

4.2.3 Manipulator za postavljanje upijača u plastične posude

Manipulator za postavljanje upijača u plastične posude je montiran pored pokretne trake i služi za postavljanje upijača (materijal koji upija određenu količinu tečnosti definisanu od strane proizvođača) u plastične posude koje se nakon izuzimanja iz mašine za termoformiranje kreću po pokretnoj traci.

Izgled i delovi manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Osnovni delovi manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude su: noseća konstrukcija, električna osa sa servo motorom, hvataljka, magacini i upravljački orman (Slika 4.52).



Slika 4.52 Manipulator za postavljanje upijača u plastične posude

Noseća konstrukcija manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Osnovu noseće konstrukcije manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude čine čelični profili 100 mm x 100 mm koji su međusobno spojeni zavarivanjem. Ovi profili nose: električnu osu manipulatora sa motorom i hvataljkom, upravljački orman manipulatora i pomoćnu noseću konstrukciju od čeličnih profila 40 mm x 40 mm. Spoljna pomoćna konstrukcija služi za montažu pleksiglasa koji predstavlja zaštitu od povređivanja radnika, usred velikih brzina kretanja komponenti manipulatora. Pleksiglas je postavljen oko radnog prostora manipulatora. Takođe, unutrašnja pomoćna konstrukcija nosi dva magacina manipulatora koji po potrebi mogu da se demontiraju i izvade iz radnog prostora manipulatora.

Izbor aktuatora za manipulator za postavljanje upijača u plastične posude

U cilju ispunjenja zahteva postavljenih pred projektanta potrebno je izvršiti odgovarajuće analize vezane za izbor aktuatora za dati manipulator.

Zahtev kupca koji je uticao na: dizajn konstrukcije manipulatora, izbor tipova aktuatora (linearni ili rotacioni) i dužinu hoda aktuatora, je da manipulator mora da se montira pored pokretne trake nakon manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje. Projektant je odlučio da osa manipulatora koja nosi vakuum hvataljku bude postavljena horizontalno jer je jedan od zahteva kupca da manipulator mora da se montira pored mašine za termoformiranje. Maksimalni efektivni hod ove horizontalne ose manipulatora je određen rastojanjem, od centra prvog magacina za upijače ovog manipulatora do centra pokretne trake, koje u ovom slučaju iznosi 2000 mm.

Na izbor vrste horizontalnog aktuatora (pneumatski, hidraulični, električni), koji treba da nosi vertikalni aktuator sa hvataljkom, za ovaj manipulator, utiču sledeći zahtevi: vreme trajanja ciklusa proizvodnje (koje treba da bude maksimalno 3 s i zavisi od takta mašine za termoformiranje), preciznost i tačnost pozicioniranja manipulatora u odnosu na pokretnu traku, odnosno u odnosu na centar svake plastične posude koja se kreće po pokretnoj traci (treba da iznosi minimalno 0,5 mm). Obzirom na to da ova dva zahteva u slučaju manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude mogu da zadovolje jedino električni aktuatori (pneumatski i hidraulični aktuatori ne zadovoljavaju navedene zahteve), potrebno je uraditi dalje analize u cilju izbora najboljeg tipa električnog aktuatora, motora i upravljačkog kontrolera.

Način izbora komponenti električnih aktuatora se vrši iz kataloga proizvođača upotrebom softvera predviđenog za to ili na osnovu karakteristika aktuatora datih u katalogu proizvođača (projektant je koristio softver firme FESTO).

Projektant za ovu aplikaciju izabrao linearni električni aktuator. Izbor sistemskih parametara aktuatora je prikazan na Slici 4.53. Efektivni hod električne linearne ose za ovaj manipulator iznosi 2000 mm. Masa vertikalne ose manipulatora sa hvataljkom koju ova električna osa treba da pomera iznosi 13 kg. Ponovljivost pozicioniranja klizne ploče električne ose treba da iznosi 0,1 mm, jer hvataljka manipulatora mora biti precizno centrirana u odnosu na sredinu pokretne trake (500 mm od bočne strane pokretne trake). U desnom gornjem uglu slike se vidi da je projektant izabrao detaljni profil kretanja aktuatora radi boljeg uvida u funkcionisanje aktuatora. Željeno vreme trajanja ciklusa ove električne ose je definisano na 1,5 s u cilju zadovoljenja zahteva koji se odnosi na vreme trajanja ciklusa proizvodnje (maksimalno 3 s). Projektant sistema je za datu aplikaciju izabrao zupčasti kaiš, jer sistemi sa ovim tipom prenosnog mehanizma mogu da ostvare potrebnu brzinu i ubrzanje.

System parameters

Selection, Axis type

Guide integrated

Gantry axis

Cantilever axis

Note

Selection filter
>> 500 Systems (Static)
19 Axis

Required input

Assembly position

Horizontal

Vertical

Any

Axis

Maximum moving mass kg

Effective stroke mm

Repetition accuracy +/- mm

Highest precision (in addition)

Additional external force N

Optional input

Motion profile

Usable length, no time restriction

Detailed motion profile

Critical stroke

Travel time + Dwell time <= s

Axis technology

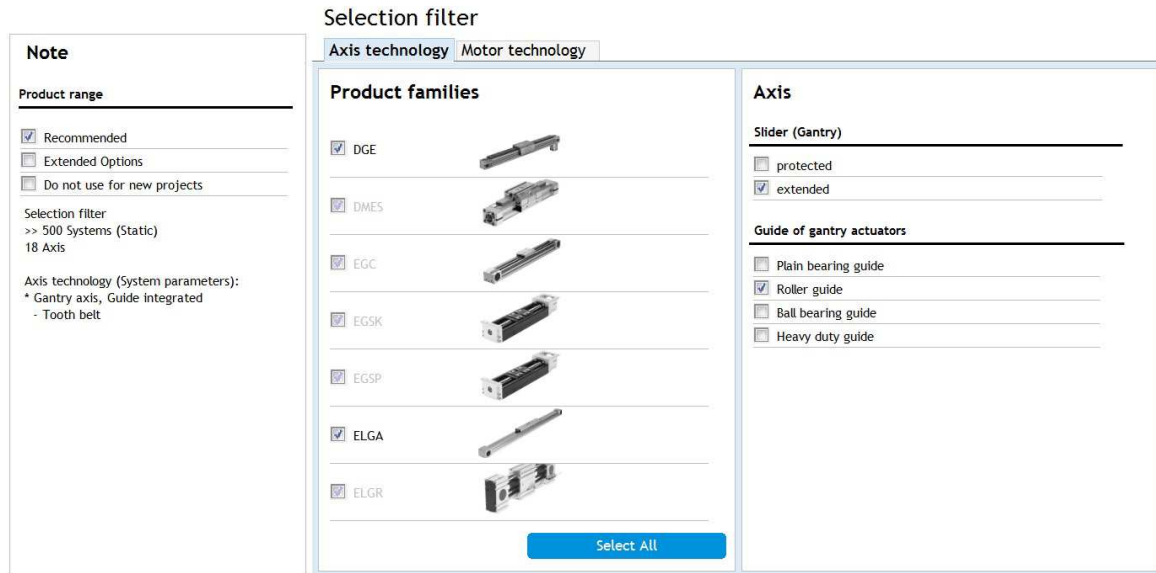
Tooth belt

Spindle

Slika 4.53 Izbor sistemskih parametara električnog aktuatora

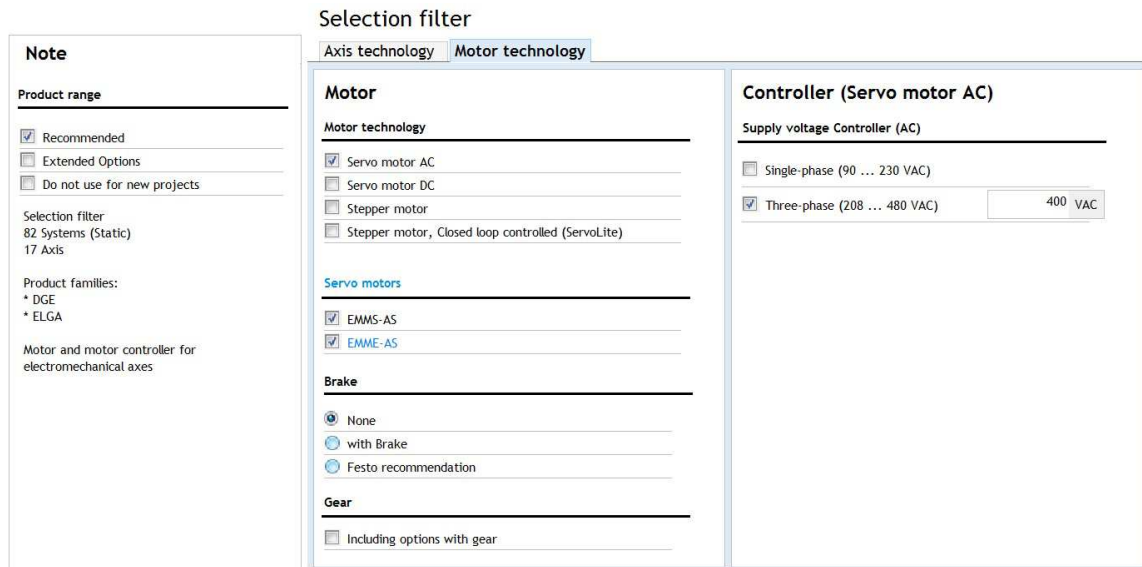
Dodatni parametri sistema, koje treba izabrati se odnose na: uži izbor prenosnog mehanizma električne ose manipulatora (Slika 4.54), izbor motora i motor kontrolera električne ose manipulatora (Slika 4.55). U skladu sa: dimenzijama nosača vertikalne ose

sa hvataljkom koju ova horizontalna električna osa manipulatora treba da nosi i parametrima koji se odnose na kliznu ploču električne ose manipulatora, izabrana je produžena klizna ploča. Od parametara koji se odnose na izbor prenosnog mehanizma električne ose manipulatora ponuđeni su: klizni ležaj, cilindrični ležaj, kuglični ležaj i ležaj za velika opterećenja. Izborom cilindričnog ležaja sužava se izbor na dve vrste električnih osa sa zupčastim kaišem, integrisanim cilindričnim ležajevima i produženom kliznom pločom.



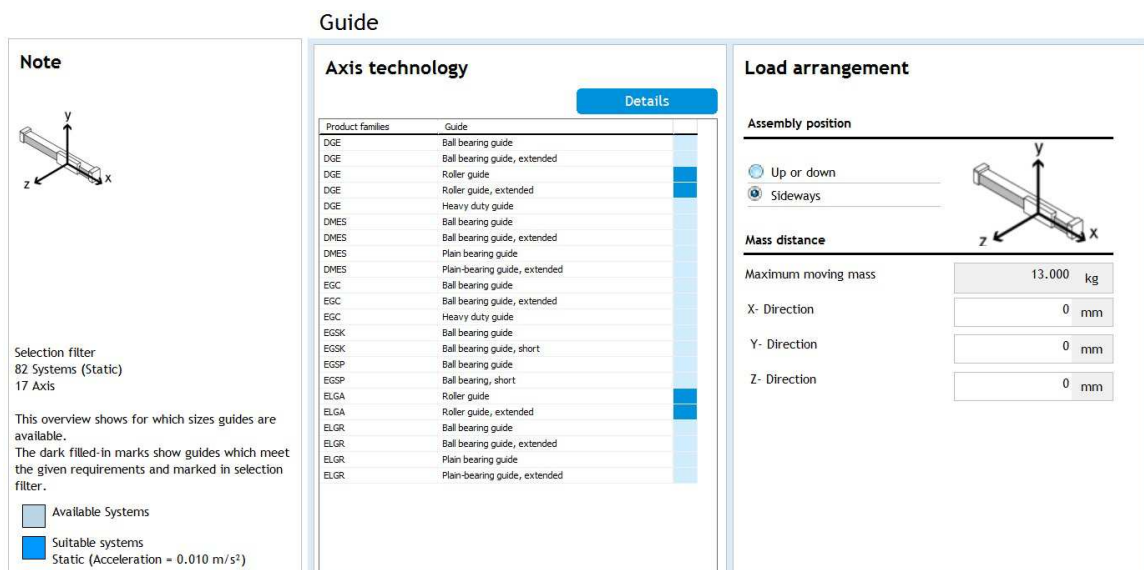
Slika 4.54 Izbor parametara koji se odnose na prenosni mehanizam električne ose

Izbor vrste električnog motora, kočnice motora, prenosnog mehanizma (reduktora) i napajanja motor kontrolera za datu aplikaciju, smanjuje broj ovih komponenti koje zadovoljavaju zahteve projektanta (Slika 4.55). Obzirom na to da manipulator za postavljanje upijača u plastične posude mora da zadovolji vreme trajanja ciklusa proizvodnje i vreme trajanja ciklusa manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine, projektant je na osnovu karakteristika ponuđenih vrsta motora izabrao servo AC motor za datu aplikaciju. U ovom slučaju nije neophodno da motor ima ugrađenu kočnicu jer se električna osa ovog manipulatora montira horizontalno. U cilju ostvarenja što veće brzine kretanja električne ose manipulatora projektant je odlučio se ne koristi reduktor već da prenosni odnos bude 1:1. Za izabranu vrstu motora, a na osnovu karakteristika motor kontrolera prikazanih u katalogu proizvođača, izabran je motor kontroler sa trofaznim napajanjem.



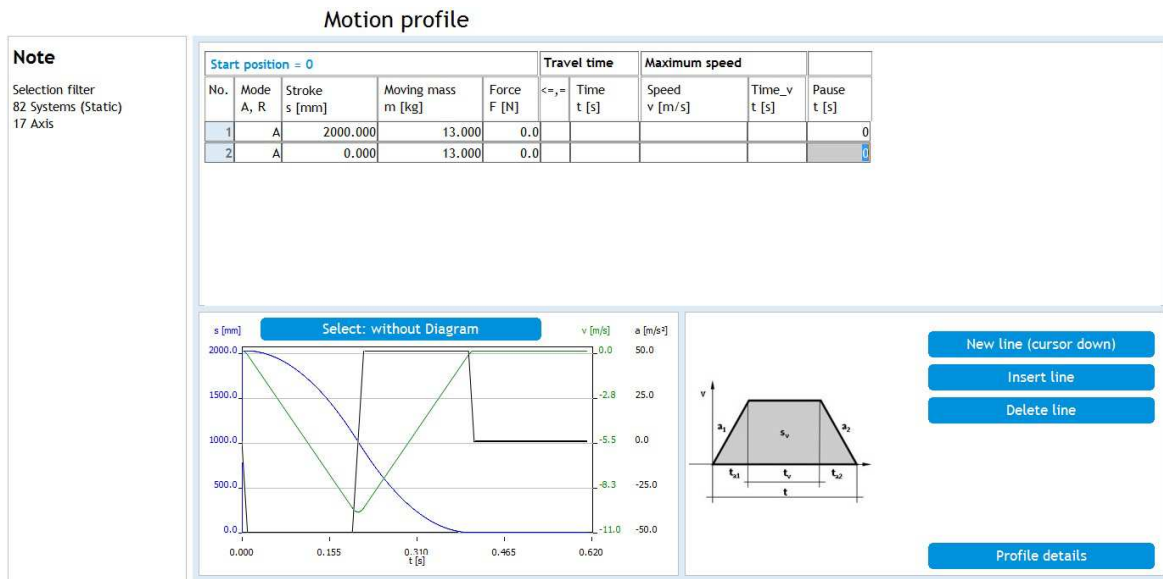
Slika 4.55 Izbor parametara koji se odnose na motor i kontroler električne ose

Parametri koji se odnose na način montaže vertikalne ose sa hvataljkom na kliznu ploču ove horizontalne električne ose manipulatora su prikazani na desnoj strani Slike 4.56. Rastojanje od centra radnog predmeta u pravcu x, y i z ose, a u odnosu na centar klizne ploče električne ose manipulatora u ovom slučaju je jednako nuli jer se centar radnog predmeta nalazi u centru klizne ploče električne ose manipulatora.



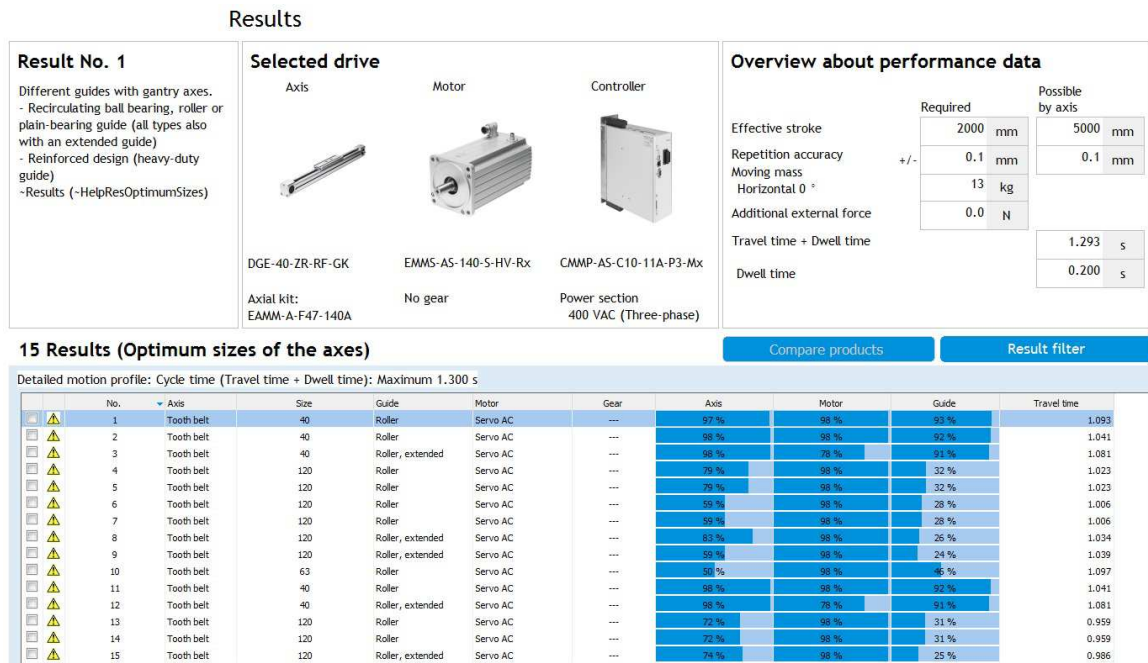
Slika 4.56 Izbor parametara koji se odnose na orijentaciju klizne ploče električne ose

Analiza profila kretanja za prethodno izabrane parametre je prikazana na Slici 4.57. Promenom parametara prikazanih na ovoj slici se vrši promena profila kretanja na osnovu čega projektant može da utvrdi da li je potrebno izvršiti neke izmene parametara, npr. mase radnog predmeta ili vremena čekanja da bi se ostvarile željene brzine i ubrzanja električne ose manipulatora.



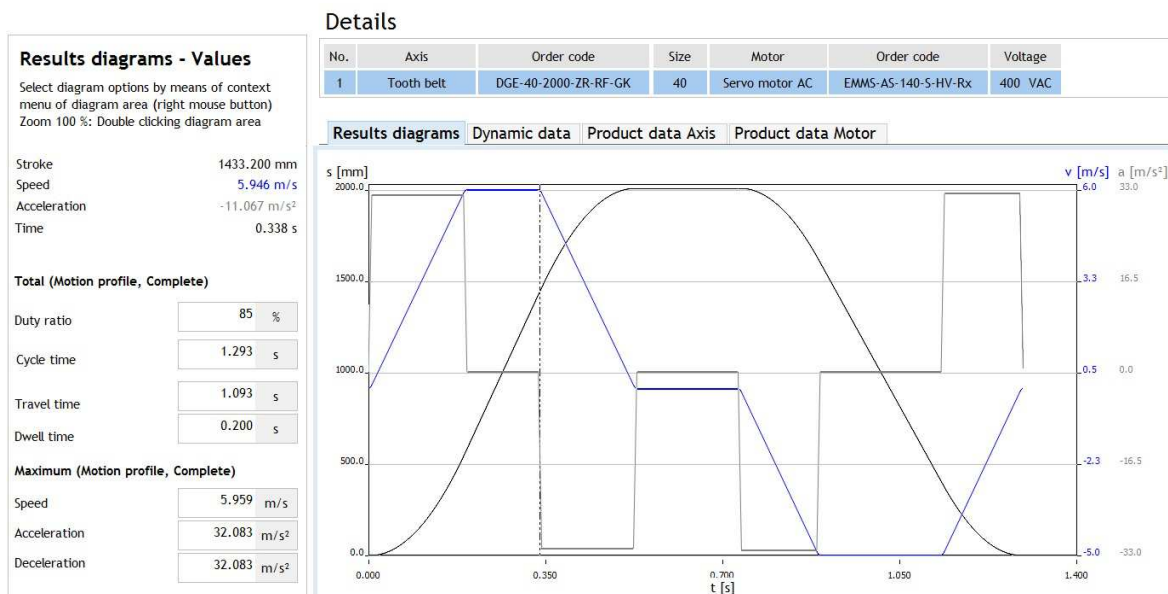
Slika 4.57 Prikaz profila kretanja električnih osa za izabrane parametre

Na Slici 4.58 su prikazani rezultati dobijeni na osnovu ranije izabranih parametara. Ti rezultati se odnose na sve vrste električnih osa sa AC servo motorom i motor kontrolerom za trofazni motor koje zadovoljavaju zahteve projektanta. U desnom delu slike su prikazani parametri koji se odnose na električnu osu manipulatora, motor i motor kontroler koji su selektovani u tabeli na slici. Selektovane komponente, pod rednim brojem 1. u tabeli, mogu da ostvare sledeće vrednosti: efektivni hod električne ose od 2000 mm, ponovljivost pozicioniranja od 0,1 mm, masa radnog predmeta koju električna osa manipulatora treba da pomera koja iznosi 13 kg, vreme trajanja ciklusa električne ose manipulatora od 1,093 s što je manje od željenog vremena od 1,5 s. Za svaku od 14 preostalih grupa električnih osa, motora i motor kontrolera, datih u tabeli na slici, koje zadovoljavaju zahteve projektanta, projektant njihovim selektovanjem može da vrši uporedne analize parametara komponenti i grupa tih komponenti radi lakšeg izbora odgovarajuće električne ose, motora i motor kontrolera. Komponente označene rednim brojem 1. na slici u najvećoj meri ispunjavaju zahteve projektanta i stoga su te komponente izabrane za datu aplikaciju odnosno horizontalnu osu, koja nosi vertikalnu osu sa hvataljkom, manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude.



Slika 4.58 Prikaz mogućih električnih osa, motora i motor kontrolera za definisane parametre

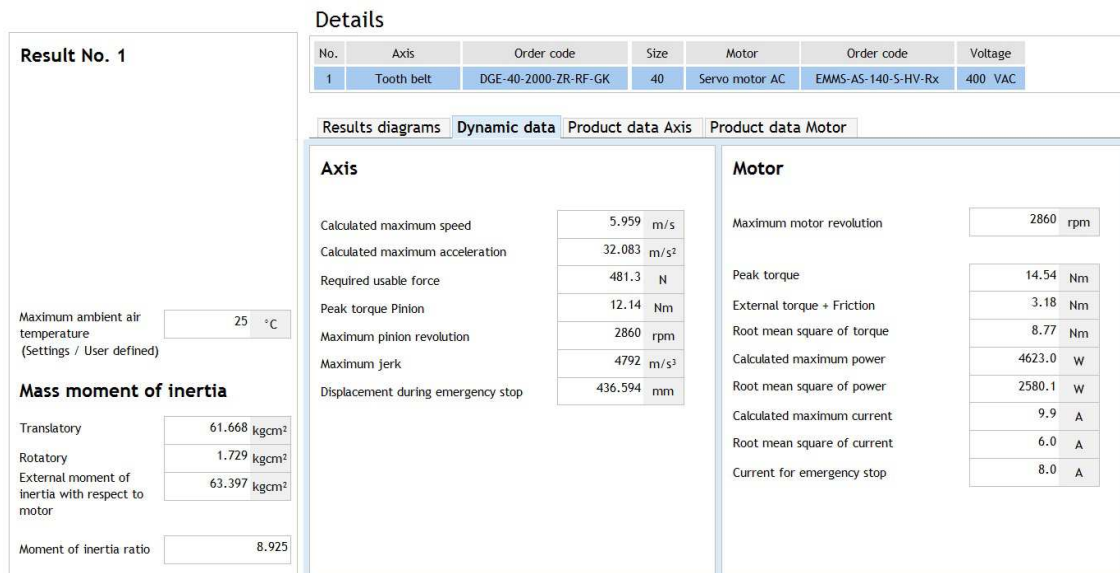
Na Slici 4.59 je prikazan dijagram sa vrednostima parametara: brzine i ubrzanja u zavisnosti od vremena i pređenog puta (izabrane pozicije električne ose manipulatora u odnosu na početnu poziciju). Kretanjem kursora miša po dijagramu, menjaju se vrednosti parametara prikazanih na levoj strani slike gde projektant može da vidi koliko iznose brzina i ubrzanje u bilo kom trenutku ili poziciji električne ose manipulatora.



Slika 4.59 Prikaz vrednosti brzine, ubrzanja, i vremena trajanja ciklusa izabrane električne ose manipulatora

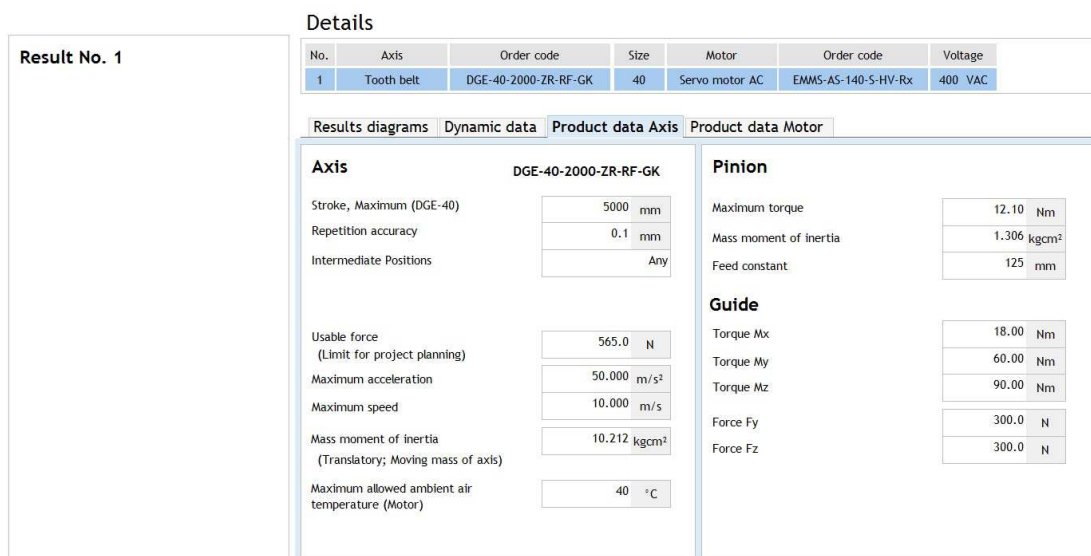
Na Slici 4.60 su prikazani dinamički parametri koji se odnose na izabrani tip električne ose manipulatora, prethodno definisanog efektivnog hoda i prečnika. Neki od tih

parametara su: proračunata maksimalna brzina, proračunato maksimalno ubrzanje, put zaustavljanja u slučaju neopredviđenog zaustavljanja, i dr. Dinamički parametri koji se odnose na izabranu vrstu servo motora sa spojnicom, za datu električnu osu su: maksimalan broj obrtaja, maksimalan obrtni moment, proračunata maksimalna brzina, proračunata maksimalna struja, i dr. Na levoj strani slike je prikazana maksimalna temperatura okruženja i podaci koji se odnose na moment inercije.



Slika 4.60 Prikaz dinamičkih podataka za izabranu električnu osu manipulatora, motor i motor kontroler

Na Slici 4.61 se nalaze osnovni podaci o izabranoj vrsti električne ose: maksimalan efektivni hod, ponovljivost pozicioniranja, mogućnost pozicioniranja u bilo koju međupoziciju (broj pozicija zavisi od rezolucije enkodera), maksimalna sila, maksimalno ubrzanje, maksimalna brzina, moment inercije i maksimalna dozvoljena temperatura okruženja. Takođe, na desnoj strani slike su prikazani podaci o silama i obrtnim momentima koji se odnose na izabrani prenosni mehanizam i kliznu ploču (vođicu) električne ose manipulatora.



Slika 4.61 Prikaz karakteristika izabrane električne ose manipulatora

Na Slici 4.62 su prikazane karakteristike izabranog motora i motor kontrolera. Izabrani motor EMMS-AS može da dostigne brzinu od 3900 o/min, radi na naponu od 565 V DC, dok potrošnja struje u radu iznosi 5.2 A, i dr. Izabrani motor kontroler koristi napajanje od 400 V AC za rad motora, a napon od 24 V DC služi za rad kontrolera. Obzirom na potrebu za zadovoljenjem vremena trajanja ciklusa proizvodnje, neophodno je koristiti eksterni otpornik za zaustavljanje motora, odnosno klizne ploče električne ose manipulatora u željenim pozicijama, da ne bi došlo do pregrevanja internog otpornika unutar motor kontrolera.

Details

| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
|-----|------------|----------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| 1 | Tooth belt | DGE-40-2000-ZR-RF-GK | 40 | Servo motor AC | EMMS-AS-140-S-HV-Rx | 400 VAC |

Results diagrams | Dynamic data | Product data Axis | **Product data Motor**

| Motor | EMMS-AS-140-S-HV-Rx | Controller | CMMP-AS-C10-11A-P3-Mx |
|-------------------------------|-------------------------|---|--------------------------|
| Rated speed (Voltage = 565 V) | 3900 rpm | Supply voltage | |
| Rated torque | 7.70 Nm | Logic section | 24 VDC |
| Rated current | 5.2 A | Power section | 400 VAC |
| Rated voltage | 565 V | Intermediate circuit voltage | 560 VDC |
| Peak torque | 27.00 Nm | Rated current | 10.0 A |
| Peak current | 24.4 A | Peak current | 20.0 A |
| Mass moment of inertia | 8.000 kgcm ² | Braking resistance, integrated | 68 Ohm |
| | | Braking resistance, Root mean square of power | 110.0 W |
| | | External brake resistance | CACR-KL2-67-W1800 |
| | | Maximum brake resistance | 67 Ohm |
| | | Braking resistance, Root mean square of power | 720 W |

Slika 4.62 Prikaz karakteristika izabranog motora i motor kontrolera za datu aplikaciju

Nakon analiza dobijenih rezultata, projektant je zaključio da izabrane komponente: električna osa, motor, motor kontroler, spojnica i eksterni otpornik, prikazane na Slici 4.63, ispunjavaju definisane zahteve i mogu da se koriste za datu aplikaciju.

Parts list

| Part No. | Amount | Unit | Order code 1 | Item name | Stroke in addition | PDF |
|-----------|--------|------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 534392 | 1 | PCS | DGE-40-2000-ZR-RF-GK | Linear drive | 2 * 100.0 mm | PDF |
| 2 550950 | 1 | PCS | EAMM-A-F47-140A | Axial kit | | PDF |
| 3 ... | 1 | PCS | EMMS-AS-140-S-HV-Rx | Servo motor AC | | PDF |
| 4 ... | 1 | PCS | CMMP-AS-C10-11A-P3-Mx | Controller | | PDF |
| 5 1336617 | 1 | PCS | CACR-KL2-67-W1800 | Braking resistance | | PDF |

Modify order length

Effective stroke mm

Stroke, in addition both sides mm

Total stroke (Axis) mm

[Export Parts list \(csv file\)](#) [Export Festo Online Basket](#)

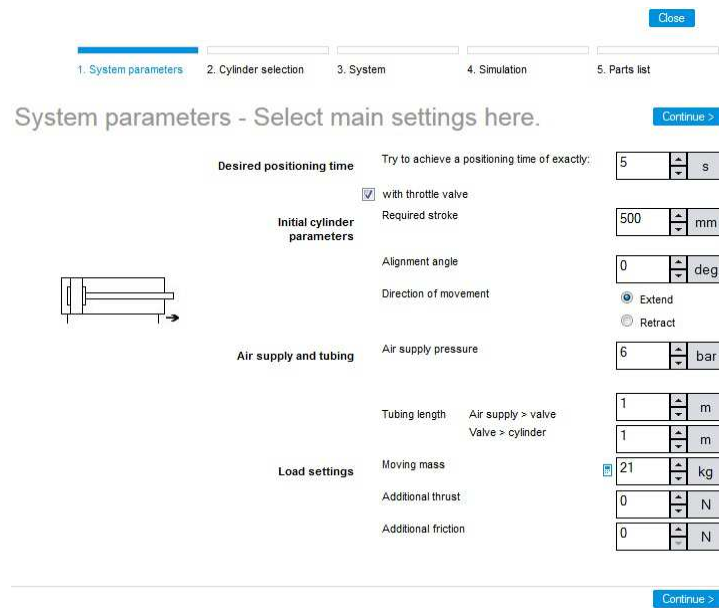
Slika 4.63 Prikaz komponenti izabranog sistema za dati manipulator

Obzirom na to da su plastične posude raspoređene horizontalno na pokretnoj traci, aktuator koji nosi hvataljku manipulatora mora da ostvari vertikalno kretanje radi izuzimanja upijača iz magacina manipulatora i njihovog ostavljanja unutar plastičnih posuda na pokretnoj traci. Hvataljka ovog manipulatora je identična hvataljci manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine, pa je za vertikalno kretanje pomenute hvataljke izabran identičan cilindar tipa DNC-40-250-PPV-A firme FESTO, kao kod manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine.

Dizajn manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude u velikoj meri utiče na izbor aktuatora za pomeranje magacina manipulatora. Prema dizajnu projektanta magacini treba da imaju mogućnost da ostvare i horizontalno i vertikalno kretanje.

Zahtevi koju utiču na izbor aktuatora za vertikalno kretanje oba magacina manipulatora su: jednostavna konstrukcija manipulatora i mogućnost zaustavljanja aktuatora u više različitih pozicija. Masa radnog predmeta koju svaki od dva aktuatora treba da podiže i spušta iznosi 21 kg (proračun izvršen od strane projektanta upotrebom softvera SolidWorks), a obzirom na to da ovi aktuatori ne treba da ostvare zahtev koji se odnosi na tačnost pozicioniranja, projektant je izabrao klasične pneumatske cilindre dvosmernog dejstva (izbor se vrši upotrebom online kataloga proizvođača).

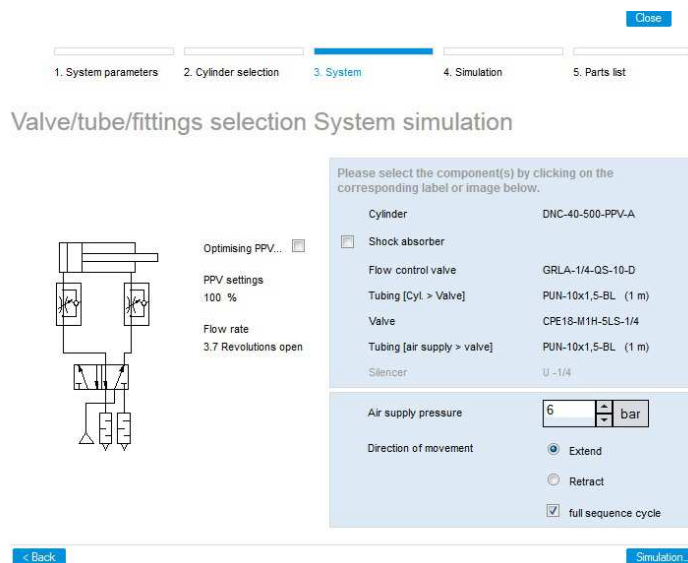
Nakon izbora tipa cilindra potrebno je uneti sistemske parametre aktuatora (Slika 4.64). Vreme potrebno za pozicioniranje svakog od ova dva cilindra iznosi 5 s, jer se magacini u potpunosti izvlače samo pri inicijalnom pokretanju manipulatora i nakon punjenja jednog magacina u toku rada manipulatora (za to vreme manipulator koristi drugi magacin). Maksimalan efektivni hod svakog od ovih cilindra treba da iznosi 500 mm i zavisi od maksimalnog broja upijača koji se postavljaju svaki magacin (maksimalan broj upijača je jednak maksimalnoj visini do koje se upijači postavljaju u magacin i iznosi 450 komada). Klipnjača cilindra koji nosi vakuum hvataljku je uvučena u početnom položaju. Masa radnog predmeta koju cilindar treba da nosi se odnosi na noseću ploču, vertikalne stubiće magacina i maksimalan broj upijača u magacinu i iznosi 21 kg.



Slika 4.64 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Na izbor jednog od ponuđenih pneumatskih cilindara utiču dodatni parametri: cilindar mora da ima prigušenje na krajevima hoda i efektivni hod cilindra mora da iznosi tačno 500 mm. Od ponuđenih pneumatskih cilindara koji zadovoljavaju zahteve, nije izabran DNC-32-500-PPV-A kao ponuđeni cilindar najmanjeg prečnika koji odgovara za datu aplikaciju, već je izabran cilindar tipa DNC-40-500-PPV-A zbog toga što postoji mogućnost da se promenom vrste plastičnih posuda koje se proizvode na mašini promeni i izgled magacina kao i masa radnog predmeta koju vertikalni cilindar treba da podiže i spušta.

Izbor komponenti pneumatskog sistema se vrši radi simulacije rada izabranog pneumatskog cilindra. Za izabrani pneumatski cilindar se biraju: amortizeri, upravljački razvodnik, stepen prigušenja, vrsta i prečnik pneumatskih creva između razvodnika i cilindra, prigušnice, i dr (Slika 4.65).



Slika 4.65 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada izabranog cilindra

Kod izbora upravljačkog razvodnika ovog cilindra potrebno je ispuniti sledeće zahteve: razvodnik mora da bude bistabilni i da bude 5/3 razvodnik sa srednjim blokiranim položajem, jer cilindar za koji će se koristiti sa ovim razvodnikom treba da ostvari više različitih pozicija.

Na kraju se vrši simulacija rada izabranih komponenti pneumatskog sistema radi utvrđivanja da li su zadovoljeni svi zahtevi vezani za rad izabranog aktuatora i njegovih komponenti. Sa Slike 4.66 se vidi da je brzina manja od zahtevane, ali pošto brzina kretanja ovog cilindra ne utiče na ukupno vreme trajanja ciklusa, izabrane pneumatske komponente zadovoljavaju zahteve projektanta.

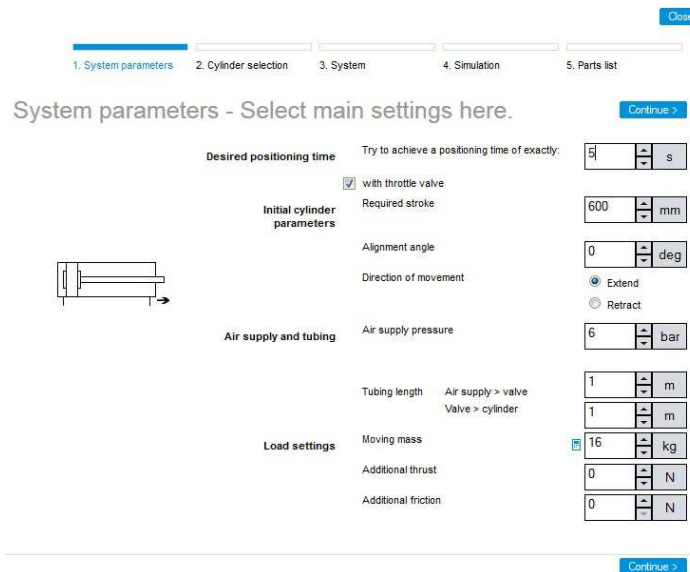


Slika 4.66 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu prethodno urađenih analiza projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za vertikalno kretanje svakog od dva magacina manipulatora i izabrani su cilindri tipa DNC-40-500-PPV-A firme FESTO.

Obzirom na dizajn konstrukcije, potrebno je ostvariti i horizontalno kretanje magacina manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude. Zahtevi koju utiču na izbor aktuatora za horizontalno kretanje oba magacina su: jednostavna konstrukcija manipulatora i dimenzije alata mašine za termoformiranje. Masa radnog predmeta koju svaki od dva aktuatora treba da pomera napred-nazad iznosi 16 kg (proračun izvršen od strane projektanta upotrebom softvera SolidWorks). Na osnovu zadatih zahteva, projektant je izabrao klasične pneumatske cilindre dvosmernog dejstva (hidraulika u ovom slučaju nije uzeta u obzir jer je sila koju aktuator treba da ostvari mala).

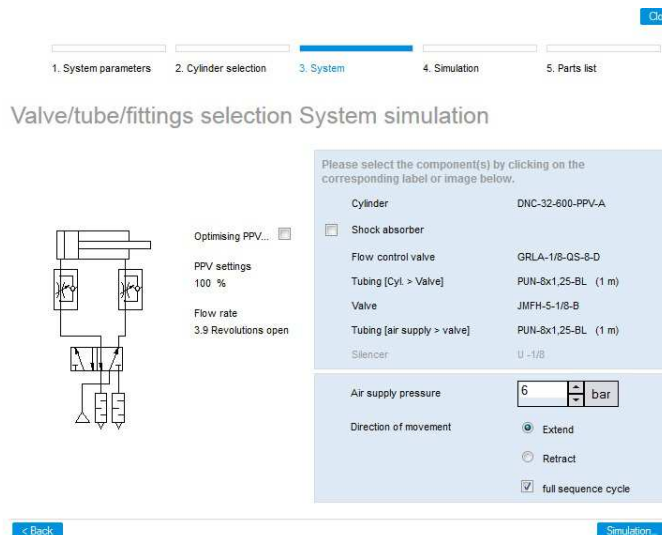
Nakon izbora vrste cilindra se potrebno je izabrati sledeće sistemske parametre: vreme pozicioniranja cilindra treba da iznosi maksimalno 5 s, maksimalan efektivni hod cilindra treba da bude 600 mm, klipnjača cilindra mora biti uvučena u početnom položaju i masa radnog predmeta koju svaki od dva cilindra treba da pomera iznosi maksimalno 16kg (Slika 4.67).



Slika 4.67 Unos parametara izabranog horizontalnog pneumatskog cilindra

Nakon podešavanja sistemskih parametara, vrši se izbor jednog od ponuđenih pneumatskih cilindara. Suženje izbora omogućavaju dodatni zahtevi kao što su: cilindar mora da ima prigušenje na krajevima hoda i efektivni hod cilindra mora da iznosi tačno 600 mm. Od ponuđenih cilindara, za aktuator koji treba da ostvari horizontalno kretanje svakog od dva magacina, izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-32-600-PPV-A.

Za izabrani tip pneumatskog cilindra potrebno je odrediti komponente koje su neophodne za njegovo funkcionisanje: upravljački razvodnik, pneumatska creva, prigušnice, pritisak vazduha i smer kretanja klipnjače (Slika 4.68).



Slika 4.68 Pneumatske komponente neophodne za simulaciju rada izabranog cilindra

Kod izbora upravljačkog razvodnika ovog cilindra potrebno je ispuniti sledeće zahteve: razvodnik mora da bude bistabilni i da bude 5/2 razvodnik i zbog načina montaže treba da bude ISO tip razvodnika.

Nakon izbora svih komponenti pneumatskog sistema, vrši se simulacija rada tog sistema. Simulacijom brzine, potrošnje vazduha pod pritiskom, vremena pozicioniranja, i dr, moguće je utvrditi da li izabrane komponente zadovoljavaju zahteve projektanta (Slika 4.69).



Slika 4.69 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu izvršenih analiza projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za horizontalno kretanje svakog od dva magacina manipulatora i za oba magacina je izabran pneumatski cilindar tipa DNC-32-600-PPV-A, firme FESTO.

Električna osa manipulatora

Električna osa koja se koristi za horizontalno kretanje hvataljke manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude je osa tipa DGE 63-2000-ZR-RF sa EMMS-AS-140 servo motorom i CMMP kontrolerom, firme FESTO. Izabrana električna osa ima prečnik od 63 mm i ima efektivni hod od 2000 mm. Električna osa je montirana na noseću konstrukciju manipulatora na način prikazan na Slici 4.52. Na kliznoj ploči električne ose manipulatora je montiran DNC 40-250 pneumatski cilindar sa hvataljkom. EMMS-AS-140 servo motor preko prenosnog mehanizma pokreće zupčasti kaiš električne ose čija su oba kraja povezana kliznom pločom električne ose manipulatora. Pokretanjem motora klizna ploča električne ose manipulatora se pomera zajedno sa hvataljkom manipulatora. Izabrana električna osa teoretski može da ostvari maksimalnu brzinu do 10 m/s i ubrzanje do 50 m/s², ali za izabran efektivni hod maksimalna brzina koju ova električna osa može da ostvari je 7 m/s, sa ubrzanjem od 40 m/s². Upravljanje radom električne ose manipulatora i servo motora je ostvareno upotrebom CMMP kontrolera, na osnovu parametara brzina, ubrzanja i usporenja za svaku od pozicija u koju treba dovesti kliznu ploče elektro ose manipulatora, definisanih putem FCT softvera i povratnih informacija koje kontroler dobija od enkodera (detaljniji opis načina funkcionisanja i podešavanja parametara električne ose manipulatora i motora je dat u drugom odeljku ovog poglavlja).

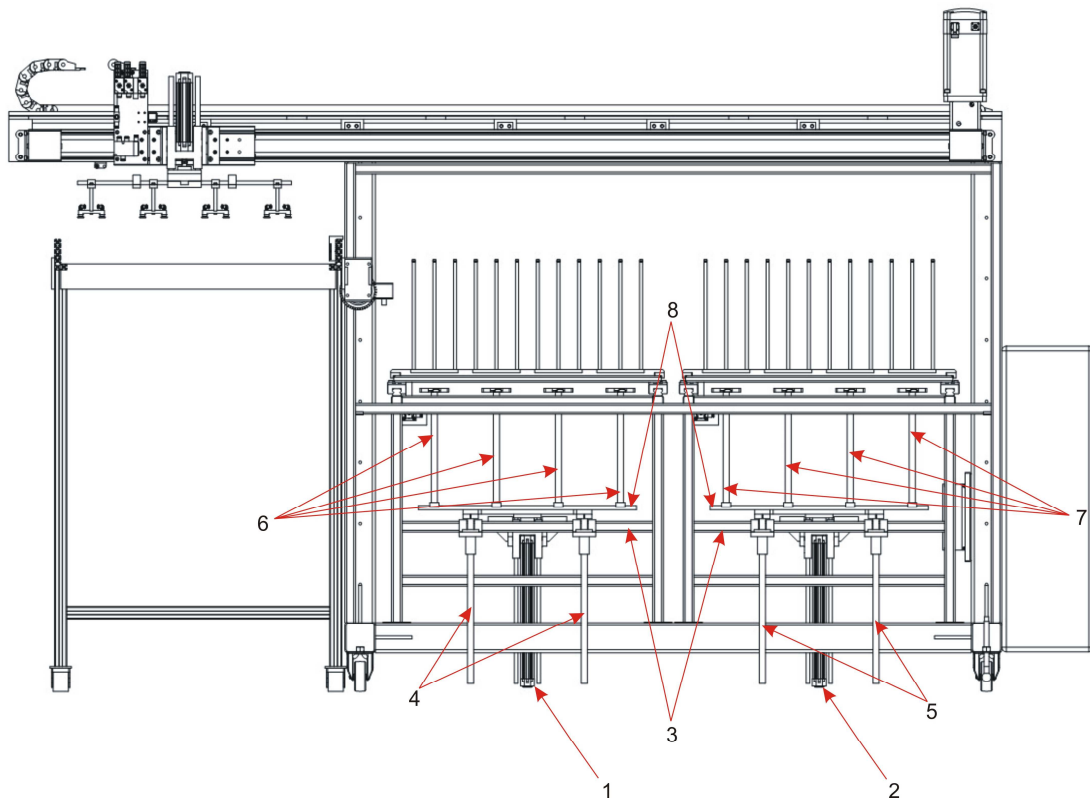
Vertikalno kretanje magacina manipulatora

Vertikalno kretanje magacina manipulatora (Slika 4.70) je omogućeno upotrebom DNC 40-500 pneumatskih cilindara (delovi 1 i 2 na Slici 4.70). Ovi cilindri su montirani na pomoćnu konstrukciju manipulatora (deo 3 na Slici 4.70). Za upravljanje radom DNC 40-500 pneumatskih cilindara, upotrebljeni su elektro upravljani 5/3 pneumatski razvodnici sa srednjim blokiranim položajem. Svaki od dva razvodnika je montiran pored pneumatskog cilindra čijim radom treba da upravlja, jer je neophodno da se ovaj tip razvodnika nalazi što bliže pneumatskom cilindru kojim upravlja, kao i da rastojanje oba pneumatska creva od priključaka na razvodniku do priključaka na cilindru bude jednako. Svi ovi navedeni uslovi se moraju zadovoljiti u cilju zaustavljanja pneumatskog cilindra u željenom među-položaju (npr. klipnjača cilindra treba da bude izvučena 300 mm), odnosno da se zaustavljaju u više različitih pozicija.

Na ploči (deo 8 na Slici 4.70) koju nosi DNC 40-500 cilindar su montirani aluminijumski profili (delovi 6 i 7 na Slici 4.70) na čijim se krajevima nalaze teflonske pločice koje podižu/spuštaju upijače u magacinu. Ti profili zajedno sa teflonskim pločicama prolaze kroz odgovarajuće otvore na kolicima magacina (delovi 3 i 6 na Slici 4.70) i podižu upijače u krajnji gornji položaj u magacinu radi lakšeg izuzimanja upijača, iz magacina, od strane hvataljke manipulatora.

Broj aluminijumskih profila sa teflonskim pločicama odgovara broju upijača koji se istovremeno izuzimaju iz jednog magacina, odnosno broju plastičnih posuda na pokretnoj traci u koje je potrebno istovremeno postaviti upijače (npr. za 4 x 4 matrični raspored plastični posuda, broj teflonskih pločica iznosi 16).

Broj upijača koji mogu da se postave u jedan magacin zavisi od hoda DNC 40-500 cilindra, koji je izabran sa efektivnim hodom od 500 mm, da bi visina na kojoj se nalaze upijači kada su u krajnjem gornjem položaju magacina (DNC 40-500 izvučen), bila jednaka visini na kojoj se nalaze plastične posude na pokretnoj traci. U tom slučaju, klipnjača cilindra koji nosi hvataljku manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude je uvek krajnjem položaju (izvučena do kraja) kada preuzima upijače iz magacina i kada ih ostavlja u plastične posude na pokretnoj traci.

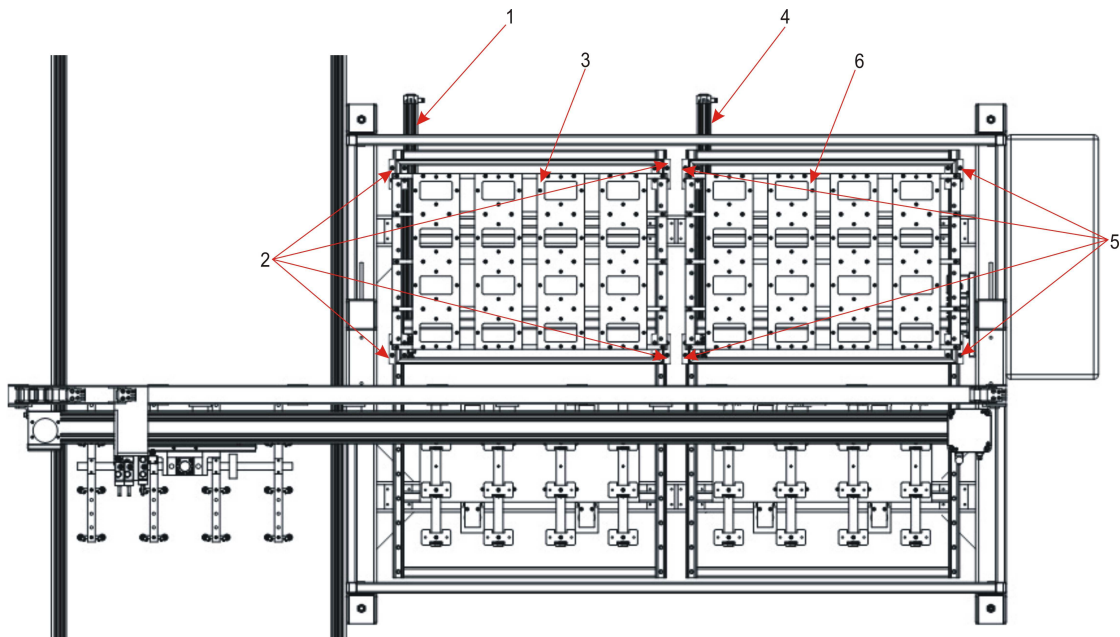


Slika 4.70 Komponente vertikalnog kretanja magacina manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Horizontalno kretanje magacina manipulatora

Horizontalno kretanje magacina manipulatora (Slika 4.71) je omogućeno upotrebom DNC 32-600 pneumatskih cilindara (delovi 1 i 4 na Slici 4.71). Pneumatski cilindri su montirani ispod kolica magacina (delovi 3 i 6 na Slici 4.71) u pravcu njihovog kretanja. DNC 32-600 cilindar je u svakom od magacina vezan krutom vezom za okvir kolica tog magacina. Delovi koji čine jedna kolica su: dve čelične šine, četiri klizne vođice, okvir kolica od čeličnih profila, aluminijumske ploče, poprečni aluminijumski profili i 64 aluminijumska graničnika (šipke). Čelične šine su montirane na pomoćnu konstrukciju manipulatora, odnosno na čelične profile koji nose pokretne delove magacina. Na svakoj od šina se nalaze po dve klizne vođice koje nose okvir kolica. Na okvir se postavljaju poprečni aluminijumski profili koji nose aluminijumske ploče. Te ploče predstavljaju dno svakog od dva magacina i na njih se slažu upijači. Ukupan broj otvora na svim pločama odgovara broju upijača koje treba istovremeno izuzeti iz magacina. Aluminijumski graničnici centriraju upijače u sredinu otvora na pločama, a samim tim i u sredinu plastičnih posuda koje se kreću po pokretnoj traci. Maksimalan broj upijača koji u visinu može da stane u jedan magacin je 450 komada. Što znači da maksimalan ukupan broj upijača u magacinu za matricu 4×4 iznosi 7200 komada, odnosno 450 ciklusa za 7200 upijača postavljenih u posude, kojih manipulator može da ostvari sa jednim punjenjem jednog magacina. Postojanje dva magacina koji nezavisno mogu da se pune, i u toku rada manipulatora, omogućava automatski rad sistema bez prekida zbog dopunjavanja magacina.

Aktiviranjem upravljačkih razvodnika DNC 32-600 pneumatskih cilindara kolica magacina se dovode u zadnji položaj odnosno u radni položaj. U početnoj poziciji cilindri su uvučeni i kolica magacina se nalaze u prednjem položaju, odnosno položaju za punjenje magacina.



Slika 4.71 Komponente horizontalnog kretanja magacina manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Hvataljka manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Hvataljka manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude se sastoji od DNC 40-250 pneumatskog cilindra sa vođicama, aluminijumskih profila, razvoda za vakuum i vakuum sisaljki. Pneumatski razvodnik sa elektro upravljanjem, koji se koristi za upravljanje radom DNC 40-250 cilindra, se nalazi unutar upravljačkog ormara manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude. Na krajevima hoda DNC 40-250 cilindra se nalaze reed kontakti za detekciju položaja klipnjače cilindra.

DNC 40-250 pneumatski cilindar sa vođicama nosi centralni alumunijumski profil hvataljke manipulatora na kom su montirani poprečni aluminijumski profili. Poprečni profili mogu da se pomeraju duž centralnog profila po x i y osi (Dekartovog koordinatnog sistema). Aluminijumski stubići sa vakuum sisaljkama mogu da se pomeraju unutar žljebova poprečnih profila. Obzirom na to da su svi delovi hvataljke manipulatora projektovani na način da mogu da se podešavaju, ista hvataljka može koristiti za više dimenzija upijača.

Noseća ploča DNC 40-250 cilindra je montirana na kliznu ploču DGE 63-2000-ZR-RF električne ose manipulatora. Cilindar DNC 40-250 sa hvataljkom se kreće zajedno sa kliznom pločom električne ose manipulatora pravcu y ose (Dekartovog koordinatnog sistema). Radi tačnijeg pozicioniranja centra hvataljke u odnosi na centar magacina manipulatora, noseća ploča DNC 40-250 cilindra može da se pomera po kliznoj ploči električne ose manipulatora u pravcu y ose (Dekartovog koordinatnog sistema), dok se pozicioniranje DNC 40-250 cilindra po x osi (Dekartovog koordinatnog sistema) vrši pomeranjem DNC 40-250 cilindra duž žljebova njegove noseće ploče.

Napojni, signalni kablovi i pneumatska creva, koja se koriste na električnoj osi manipulatora i hvataljci, su sprovedeni od hvataljke ka upravljačkom ormanu manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude, upotrebom energetskog lanca čije su dimenzije određene količinom i dužinom kablova koji se postavljaju u energetski lanac. Energetski lanac se kreće po y osi (Dekartovog koordinatnog sistema) zajedno sa hvataljkom manipulatora.

Broj upijača koje hvataljka manipulatora istovremeno izuzima iz magacina i postavlja u plastične posude je jednak broju posuda. Iz toga sledi da je hvataljka manipulatora za postavljanje upijača iste konstrukcije kao hvataljka manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda.

Vakuum na hvataljci se ostvaruje upotrebom vakuum pumpe koja se koristi i za vakuum na manipulatoru za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje. Vakuum hvataljka je projektovana tako da uvek hvata upijače u njihovom centralnom delu (bez obzira na dimenzije upijača) radi bolje manipulacije njima.

Upravljački orman manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Upravljački orman manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude se nalazi na prednjoj strani čelične konstrukcije manipulatora i čine ga: elektro orman, CPX kontroler, CMMP servo motor kontroler, transformator 220 V AC/24 V DC, redne stezaljke, relei, osigurači, ventilator sa termostatom, EUROMAP konektori i pneumatski razvodnici.

Za ovaj manipulator je izabran elektro orman koji ima IP65 zaštitu i montiran je na prednju stranu manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude.

Upravljački pult manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje se koristi i za podešavanje parametara i pokretanje manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude. Opis načina funkcionisanja tastera i prekidača koji se nalaze na upravljačkom pultu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda se odnosi i na manipulator za postavljanje upijača u plastične posude.

Displej osetljiv na dodir, koji je ugrađen na upravljački pult manipulatora za izuzimanje plastičnih proizvoda iz mašine, se koristi i za podešavanje parametara manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude. Pri izboru režima rada sistema (Slika 4.72) su na ekranu displeja ispisani mogući režimi rada manipulatora. Za rad sa manipulatorom za postavljanje upijača u posude, potrebno je izabrati režim rada "SLAGANJE SA UPIJAČIMA" pritiskom na dugme na ekranu.



Slika 4.72 Izgled dipleja pri izboru režima rada sistema

Nakon izbora režima rada se na sledećem ekranu bira način rada manipulatora pritiskom na jedan od dva ponuđena načina: "RUČNI RAD" i "AUTOMATSKI RAD". Pritiskom na dugme "RUČNI RAD", otvara se novi ekran displeja (Slika 4.73).



Slika 4.73 Izgled ekrana dipleja manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude u ručnom radu

U gornjem delu ovog ekrana je prikazan izabrani način rada manipulatora: "RUČNI RAD UPIJAČI". U gornjoj levoj polovini ovog ekrana se nalaze dugmići koji služe za ručno aktiviranje DGE 63-2000-ZR-RF električne ose manipulatora i pomeranje njene klizne ploče, koja nosi DNC 40-250 cilindar i hvataljku manipulatora, pritiskom na dugmiće: "Na traku", "Šarzer 2" ili "Šarzer 1". Pritiskom na dugme "Na traku" se vrši dovođenje hvataljke manipulatora u poziciju iznad pokretne trake radi centriranja hvataljke u odnosu na traku i testiranja rada senzora koji utiču na funkcionisanje hvataljke. Pritiskom na dugme "Šarzer 2" se vrši dovođenje hvataljke manipulatora u poziciju iznad magacina 2 manipulatora zbog centriranja hvataljke u odnosu na magacin 2, u cilju preciznijeg preuzimanja upijača iz magacina. Pritiskom na dugme "Šarzer 1" se vrši dovođenje hvataljke manipulatora u poziciju iznad magacina 1 manipulatora takođe, radi preciznog centriranja hvataljke u odnosu na magacin 1, u cilju preciznijeg preuzimanja upijača iz magacina. Ispod dugmića za podešavanje linearne električne ose se nalaze dugmići za ručno upravljanje radom DNC 40-250 cilindra za vertikalno kretanje hvataljke manipulatora. Pritiskom na dugmiće "Uvuci" i

"Izvuci" se vrši uvlačenje ili izvlačenje klipnjače DNC 40-250 cilindra. Ručni rad može da posluži za ispitivanje funkcionisanja tog cilindra i njegovih reed kontakata. Ispod dugmića za podešavanje hvataljke manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude, se nalaze dugmići za podešavanje kretanja magacina manipulatora: Šaržer 1 i Šaržer 2. Obzirom na to da su magacini identični tako i dugmići za upravljanje radom ovih magacina imaju istu funkciju bez obzira na izabrani magacin. Pritiskom na dugme "Gore", na ekranu displeja manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude u ručnom radu, aktivira se razvodnik cilindra DNC 40-500 koji služi za vertikalno kretanje magacina manipulatora i izabrani magacin počinje da se podiže u krajnji gornji položaj. Dugme "OFF" koje se nalazi pored služi za zaustavljanje podizanja ili spuštanja magacina manipulatora (izvlačenja ili uvlačenja klipnjače cilindra) u položaju u kom se magacin nađe u trenutku aktiviranja tog dugmeta. Pritiskom na dugme "Dole", aktivira se razvodnik cilindra DNC 40-500 koji služi za vertikalno kretanje magacina manipulatora i izabrani magacin počinje da se spušta u krajnji gornji položaj. Dugme "Napred" služi za aktiviranje razvodnika cilindra DNC 32-600 koji služi za horizontalno kretanje magacina manipulatora i izabrani magacin se pomera u prednji položaj, odnosno položaj za izuzimanje upijača iz magacina. Pritiskom na dugme "Nazad" takođe se aktivira razvodnik cilindra DNC 32-600 i izabrani magacin se pomera u zadnji položaj, odnosno položaj za dopunjavanje upijača u magacin manipulatora. U gornjoj desnoj polovini ekrana za ručni rad se nalaze dugmići za aktiviranje "ON" i deaktiviranje "OFF" vakuuma i duvanja.

Aktiviranjem navedenih dugmića, ekrana za ručni rad manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude, unapred definisanim redosledom, moguće je testirati funkcionisanje manipulatora simulacijom jednog ciklusa rada.

Pritiskom na dugme "AUTOMATSKI RAD" otvara se novi ekran displeja (prikazano na Slici 4.50). U gornjem delu ovog ekrana je prikazan izabrani režim rada manipulatora: "SLAGANJE SA UPIJAČIMA", kao i trenutno stanje sistema: "SISTEM SPREMAN čeka se START". Da bi manipulator započeo automatski način rada potrebno je pritisnuti taster START, koji se nalazi na upravljačkom pultu manipulatora.

Transformator 220 V AC/24 V DC se koristi i za napajanje elektronskih komponenti manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude, jer su sve upravljačke elektro komponente i ovog manipulatora izabrane tako da rade na napon od 24 V DC.

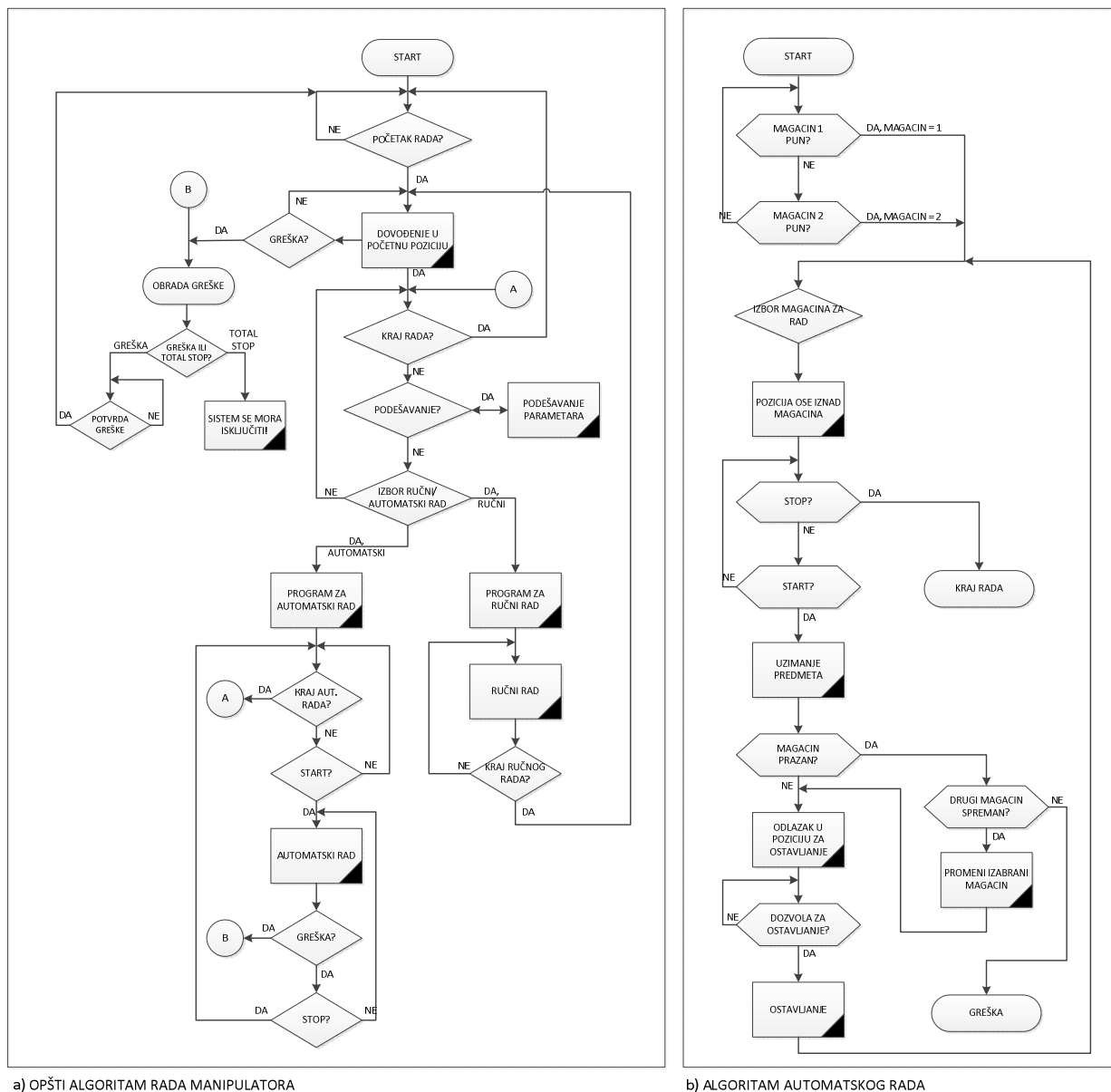
Elektro deo i ovog upravljačkog ormana čini CPX kontroler firme FESTO koji se sastoji od više međusobno povezanih modula. Kod manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude upotrebljeni su sledeći moduli: procesorski modul, moduli sa digitalnim ulazima i moduli sa digitalnim ulazima i izlazima. Komunikacija sa kontrolerima drugih manipulatora se odvija putem mreže (TCP/IP). Procesorski modul prikuplja informacije sa uređaja, senzora ili putem mrežne komunikacije i na osnovu softvera koji se nalazi u njemu šalje signale na izlazne module koji služe za aktiviranje elektromagneta pneumatskih razvodnika ili signalnih sijalica i sirene.

Program za manipulator za postavljanje upijača u plastične posude je urađen u vidu liste rečenica. Opšti algoritam funkcionisanja manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude je prikazan na Slici 4.74a. Nakon izbora režima rada, sistem se dovodi

u početnu poziciju i pokreće se program za nadzor svih grešaka koje se mogu javiti u sistemu u izabranom režimu rada. Ukoliko dođe do greške, sistem odmah prestaje sa radom i vrši se obrada greške, odnosno sistem se dovodi u bezbedan položaj (iznad pokretne trake). Ukoliko je TOTAL STOP taster aktiviran, mora se isključiti napajanje električnom energijom i tek nakon ponovnog aktiviranja napajanja može se ponovo početi sa radom. U slučaju da se javi greška u radu sistema, sistem može da nastavi sa radom nakon potvrde na displeju da je greška otklonjena. Sve greške u bilo kom koraku algoritma se obrađuju na navedeni način.

Nakon dostizanja početne pozicije, korisniku je na raspolaganju izbor načina rada: ručni ili automatski rad, dok je na istom ekranu moguće izabrati i podešavanje parametara neophodnih za rad sistema. U ručnom radu sistema, korisniku su na raspolaganju komande za upravljanje radom manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude. Ručni rad se može koristiti za podešavanje pozicija manipulatora i proveru da li su uslovi za kretanje svih komponenti manipulatora zadovoljeni. U automatskom radu (Slika 4.74b) se prvo vrši provera da li su magacin 1 i magacin 2 napunjeni upijačima, odnosno da li su spremni za rad. Ako nisu, potrebno ih je napuniti. Ako jesu, bira se magacin manipulatora iz kojeg će se prvo započeti sa izuzimanjem upijača. Nakon izbora magacina manipulatora, hvataljka manipulatora se pozicionira iznad izabranog magacina. Pritiskom na taster START, na upravljačkom pultu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iznad mašine, manipulator za postavljanje upijača u plastične posude započinje radni ciklus i kreće da izuzima upijače iz izabranog magacina manipulatora. Nakon izuzimanja upijača iz magacina hvataljka manipulatora se pozicionira iznad pokretne trake i čeka da se ispod nje nađu posude u koje će ostaviti upijače. U slučaju da je izabrani magacin manipulatora prazan, hvataljka manipulatora se pozicionira iznad drugog magacina i kreće da izuzima upijače iz njega. Ako ni drugi magacin nije spreman, manipulator prekida rad.

U toku automatskog rada neprestano se nadzire da li je došlo do neke greške u radu sistema. Ukoliko je došlo do greške, sistem odmah prestaje sa radom i greška se obrađuje na ranije pomenut način.



Slika 4.74 Algoritmi rada manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

Pripremna grupa koja se koristi za manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine se koristi i za manipulator za postavljanje upijača u plastične posude.

4.2.4 Sistem za doziranje lepka u plastične posude

Sistem za doziranje lepka u plastične posude dozira unapred definisanu količinu lepka u plastične posude koje se kreću po pokretnoj traci. U posude sa lepkom se dalje postavljaju upijači, koji se na taj način trajno zalepe za dno plastičnih posuda. Sistem za doziranje lepka u plastične posude se sastoji od: uređaja za doziranje lepka, četiri glave sa diznama za lepak i upravljačkog panela.

Uređaj za doziranje lepka je uređaj firme Robatech, modularne strukture, projektovan za topljenje i doziranje termoplastičnih lepka čiji se sastav bazira na EVA (etilen vinil acetat) komponenti. Zapremina rezervoara u kom se nalazi lepak u vidu granula, za uređaj koji je izabran u proizvodno-montažnom sistemu o kom je reč u ovom radu,

iznosi 5 l. Maksimalan broj dizni koje mogu da se povežu na ovaj uređaj za doziranje lepka je četiri. Za doziranje lepka se koristi zupčasta pumpa koja se nalazi unutar kućišta uređaja. Zupčasta pumpa omogućava neprekidno i precizno doziranje materijala.

Speedstar Diamond glava za doziranje lepka je izabrana za ovu aplikaciju jer je karakterišu brzo i precizno doziranje lepka, što je ovde potrebno, jer ciklus rada proizvodno-montažnog sistem iznosi između dve i tri sekunde. Glava za doziranje lepka se aktivira elektromehaničkim putem i može da propušta lepak male ili srednje viskoznosti. Na glavu za doziranje lepka je priključeno pneumatsko crevo za dovod vazduha pod pritiskom sa pripremljene grupe koja se nalazi u okviru sistema za doziranje lepka. Vazduh pod pritiskom omogućava da se lepak brže dozira, i omogućava rasipanje lepka na većoj površini ako je to neophodno. Istopljeni lepak se, kroz termootporna creva, dovodi od uređaja za doziranje lepka do dizni. Na svakoj glavi za doziranje se nalazi infracrveni senzor koji služi za proveru da li je lepak doziran u svaku plastičnu posudu. Ispred svake glave za doziranje se nalazi po jedan optički senzor koji detektuje prvu ivicu plastične posude radi preciznog i tačnog doziranja lepka na željeno mesto, u plastičnoj posudi.

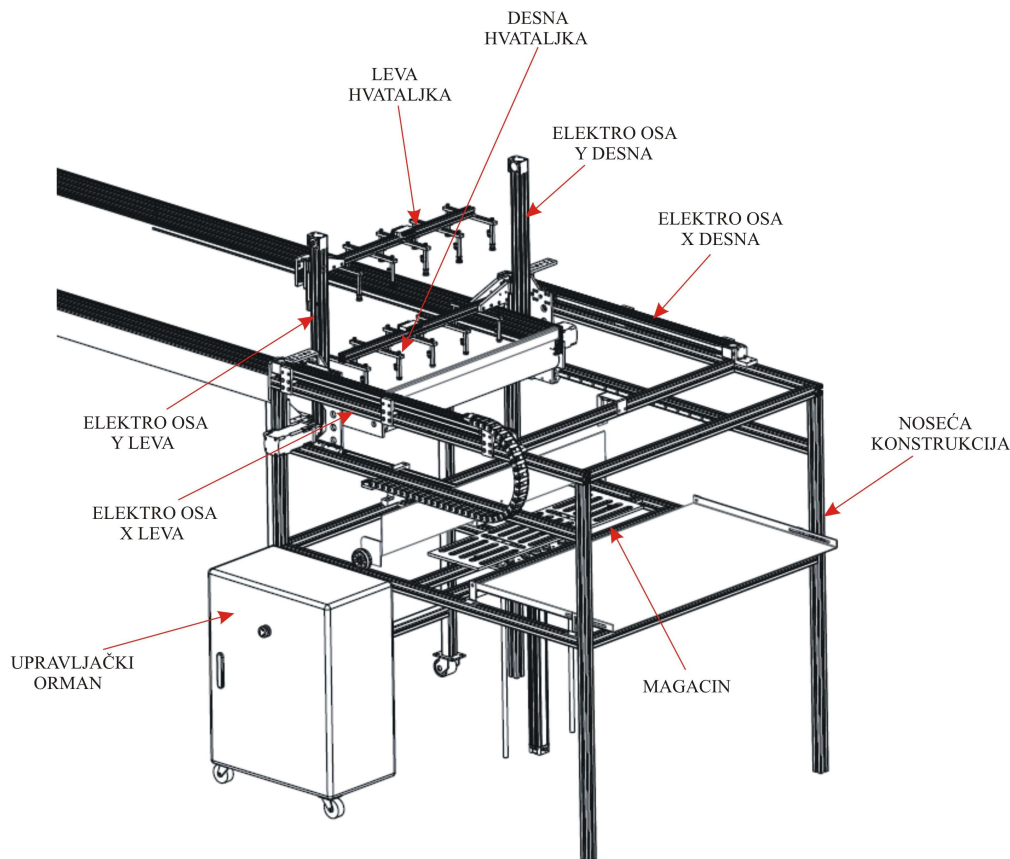
Upravljački panel sistema za doziranje lepka je putem mrežne komunikacije povezan sa uređajem za doziranje lepka. Na njemu može da se vrši podešavanje parametara kao što su: temperature, upravljanje radom pumpe, formiranje različitih šara i oblika od lepka, podešavanje dimenzija predmeta na koji treba da se dozira lepak, blokada rada glava za doziranje, podešavanje pritiska lepka, i dr.

4.2.5 Manipulator za slaganje plastičnih posuda u magacin

Manipulator za slaganje plastičnih posuda je pozicioniran na kraju pokretne trake i služi za izuzimanje plastičnih posuda sa ili bez upijača, sa pokretne trake i slaganje tih plastičnih posuda u magacin manipulatora radi daljeg pakovanja posuda u kartonske kutije i na palete.

Izgled i delovi manipulatora za slaganje plastičnih posuda u magacin

Osnovni delovi manipulatora za slaganje plastičnih posuda u magacin (Slika 4.75) su: noseća konstrukcija, električne ose sa servo motorima, hvataljke, magacin i upravljački orman.



Slika 4.75 Manipulator za slaganje plastičnih posuda u magacin

Noseća konstrukcija manipulatora

Noseća konstrukcija manipulatora se sastoji od Bosch-ovih aluminijumskih profila 40 mm x 40 mm koji su međusobno vezani čeličnim ugaonicima, koji se na profile povezuju upotrebom t-navrtke (slot-nut) i specijalnim brzim spojnicama koje se montiraju u prethodno izbušene rupe u profilima. Konstrukcija se sastoji od osnove (horizontalno postavljene profile povezane u oblik kvadra) koja je pričvršćena na vertikalne profile koji nose konstrukciju. Na donjem kraju vertikalnih profila se nalaze točkovi koji omogućavaju dovođenje manipulatora u željeni položaj. Poprečni horizontalni profili nose magacin i pneumatske cilindre koji služe za kretanje magacina. Osnova noseće konstrukcije nosi četiri električne ose koje nose dve hvataljke manipulatora. Na levoj strani noseće konstrukcije se nalazi upravljački orman manipulatora.

Noseća konstrukcija se sastoji od aluminijumskih profila, jer je jedan od zahteva postavljenih pred projektanta bio i mogućnost pomeranja svih delova manipulatora za slaganje radi njegovog prilagođavanja različitim proizvodno-montažnim sistemima.

Izbor aktuatora za manipulator za slaganje plastičnih posuda

U cilju ispunjenja zahteva postavljenih pred projektanta potrebno je izvršiti odgovarajuće analize vezane za izbor aktuatora za dati manipulator.

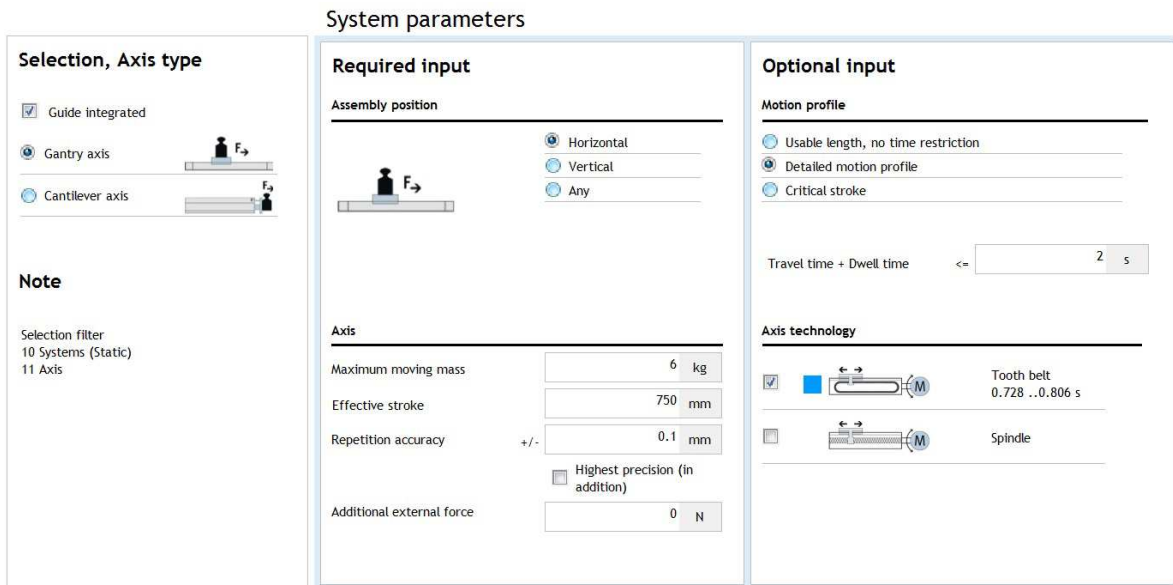
Dizajn konstrukcije manipulatora za slaganje plastičnih posuda utiče na izbor tipova aktuatora (linearni ili rotacioni), dužine hoda i načina montaže aktuatora.

Manipulator za slaganje plastičnih posuda je dizajniran tako da sadrži šest aktuatora. Obzirom na orijentaciju plastičnih posuda koje se kreću po pokretnoj traci, kao i činjenicu da se ovaj manipulator nalazi na kraju pokretne trake i treba da preuzima, definisanim redosledom, više redova plastičnih posuda sa pokretne trake odjednom, projektant je odlučio da manipulator za slaganje ima dve identične hvataljke koji rade naizmenično i postavljene su jedna naspram druge (kao u ogledalu). Svaka od hvataljki manipulatora treba da ostvari horizontalno (dve x ose) i vertikalno kretanje (dve y ose). Maksimalni efektivni hod horizontalnih aktuatora manipulatora je određen rastojanjem između pozicije na pokretnoj traci sa koje se izuzimaju plastične posude i centra magacina manipulatora, koje u ovom slučaju iznosi 750 mm. Maksimalni efektivni hod vertikalnih aktuatora manipulatora je jednak visini koja je potrebna za mimoilaženje dve hvataljke koje nose plastične posude, koja u ovom slučaju iznosi 350 mm.

Na izbor vrste aktuatora (pneumatski, hidraulični, električni) za ovaj manipulator utiču sledeći zahtevi: vreme trajanja ciklusa proizvodnje (koje treba da bude maksimalno 3 s) i preciznost i tačnost pozicioniranja manipulatora u odnosu na centar plastičnih posuda koje se kreću po pokretnoj traci (0,1 mm). Električni aktuatori su jedina vrsta aktuatora koji mogu da zadovolje pomenute zahteve postavljene pred projektanta, pa je potrebno izvršiti izbor najpogodnijeg tipa električnog aktuatora, motora i upravljačkog kontrolera za izabrani aktuator.

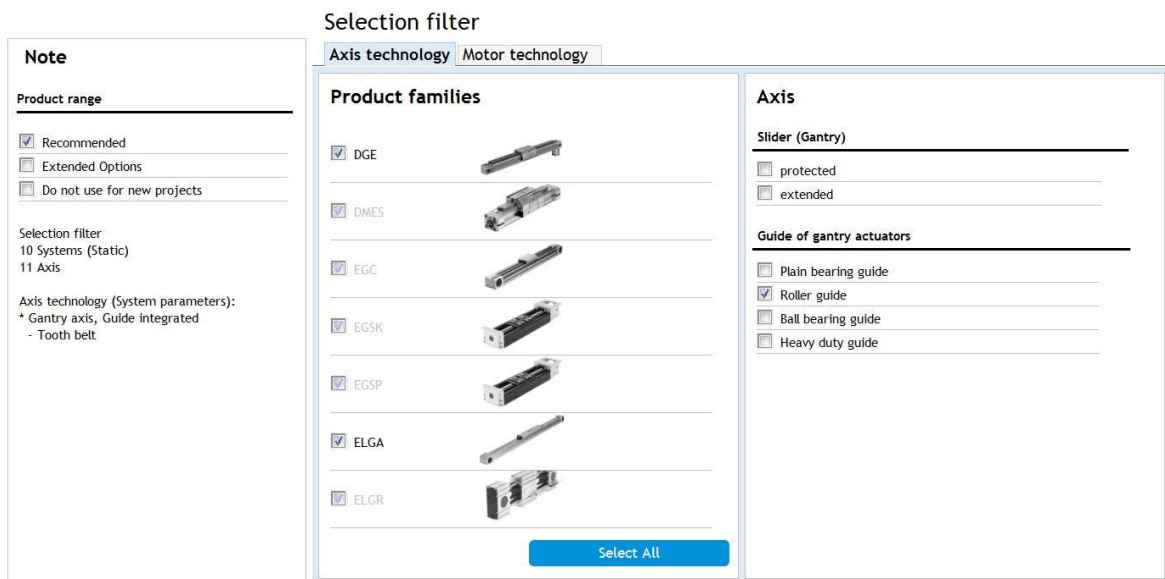
Izbor električnih aktuatora se vrši iz kataloga proizvođača upotrebom softvera predviđenog za to ili na osnovu karakteristika aktuatora datih u katalogu proizvođača.

Za obe x ose (Slika 4.76) manipulatora za slaganje plastičnih posuda izabran je linearni tip električnog aktuatora. X osa manipulatora za datu aplikaciju treba da nosi radni predmet mase 6 kg i kao što je ranije pomenuto da ima efektivni hod 750 mm i ponovljivost pozicioniranja 0,1 mm, jer je neophodno da hvataljka uhvati plastične posude tačno u njihovom centralnom delu. Obzirom na to da ovaj manipulator mora da prati brzinu rada druga dva manipulatora, kao i mašine za termoformiranje, zahtev koji se odnosi na vreme trajanja ciklusa mora da se ispuni (vreme pozicioniranja svake hvataljke mora biti manje od 2 s) pa je za x ose manipulatora potrebno izabrati najbrže električne ose, a to su električne ose sa zupčastim kaišem.



Slika 4.76 Izbor sistemskih parametara električnog aktuatora

Izbor vrste prenosnog mehanizma za električnu osu sa zupčastim kaišem je prikazan na Slici 4.77. Od ponuđenih prenosnih mehanizama (klizni ležaj, cilindrični ležaj, kuglični ležaj i ležaj za velika opterećenja), za vođenje klizne ploče x ose manipulatora izabran je cilindrični ležaj jer može da izdrži potrebna opterećenja, a ima manju cenu od kugličnog i ležaja za velika opterećenja koji takođe ispunjavaju zahteve projektanta.




Slika 4.77 Izbor parametara koji se odnose na prenosni mehanizam električne ose

Izbor vrste motora koji će predstavljati pogonski element električne ose manipulatora zavisi od brzine koju električna osa treba da ostvari i tačnosti pozicioniranja, koja zavisi od karakteristika motor kontrolera. Za ovu aplikaciju motor ne treba da ima mehaničku kočnicu jer se električna x osa manipulatora montira horizontalno, a motor može da se zaustavi upotrebom motor kontrolera (kočenje otpornikom). Za x osu manipulatora za slaganje izabran je servo motor bez kočnice, bez reduktora i motor kontroler sa napajanjem motora od 220 V AC.

Prema dizajnu projektanta x osa manipulatora treba da nosi vertikalnu osu (y osu) manipulatora sa hvataljkom. Vertikalna y osa manipulatora se pomoću noseće ploče montira na kliznu vođicu x ose manipulatora, pa je način montaže radnog predmeta na kliznu ploču x ose manipulatora izabran gore ili dole (Slika 4.78). U srednjem delu slike su prikazana dva tipa električnih osa koje ispunjavaju zadate uslove: DGE i ELGA, odnosno samo deset sistema (koji čine električna osa, motor i motor kontroler) ispunjavaju sve, do sada, postavljene zahteve.

Guide

Note



Selection filter
10 Systems (Static)
11 Axis

Available Systems
 Suitable systems
Static (Acceleration = 0.010 m/s²)

Axis technology

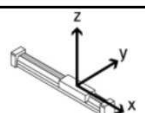
Details

| Product families | Guide |
|------------------|-------------------------------|
| DGE | Ball bearing guide |
| DGE | Ball bearing guide, extended |
| DGE | Roller guide |
| DGE | Roller guide, extended |
| DGE | Heavy duty guide |
| DMES | Ball bearing guide |
| DMES | Ball bearing guide, extended |
| DMES | Plain bearing guide |
| DMES | Plain-bearing guide, extended |
| EGC | Ball bearing guide |
| EGC | Ball bearing guide, extended |
| EGC | Heavy duty guide |
| EGSK | Ball bearing guide |
| EGSK | Ball bearing guide, short |
| EGSP | Ball bearing guide |
| EGSP | Ball bearing guide, short |
| ELGA | Roller guide |
| ELGA | Roller guide, extended |
| ELGR | Ball bearing guide |
| ELGR | Ball bearing guide, extended |
| ELGR | Plain bearing guide |
| ELGR | Plain-bearing guide, extended |

Load arrangement

Assembly position

Up or down
 Sideways

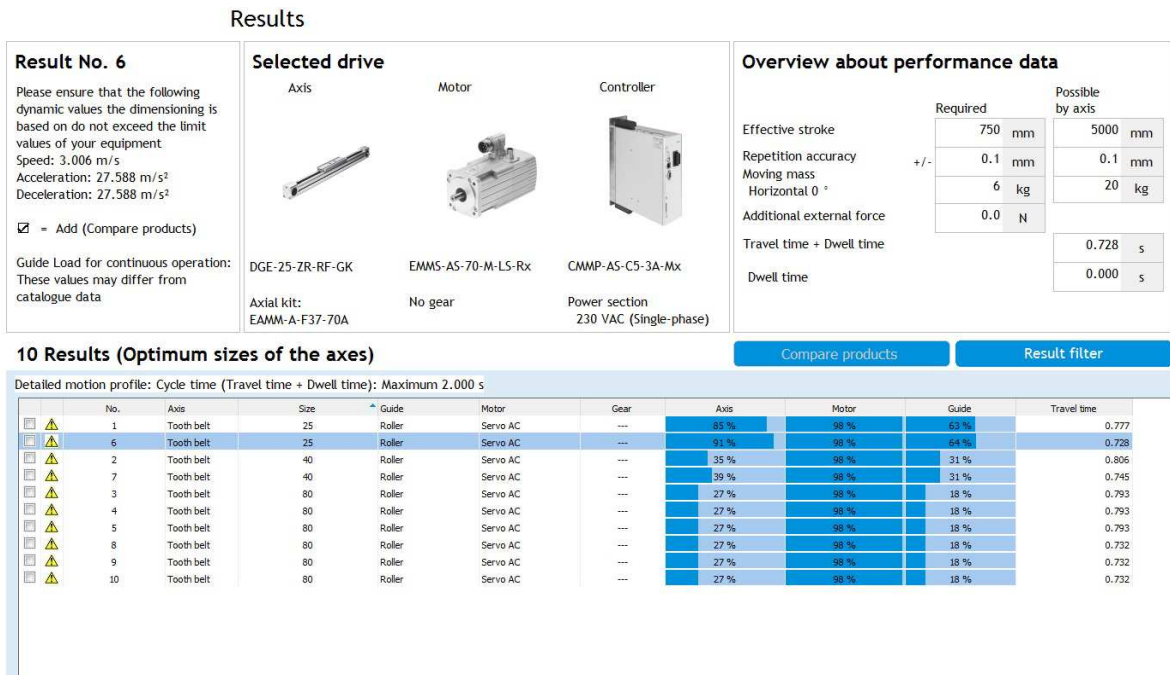


Mass distance

| | |
|---------------------|----------|
| Maximum moving mass | 6.000 kg |
| X- Direction | 0 mm |
| Y- Direction | 0 mm |
| Z- Direction | 0 mm |

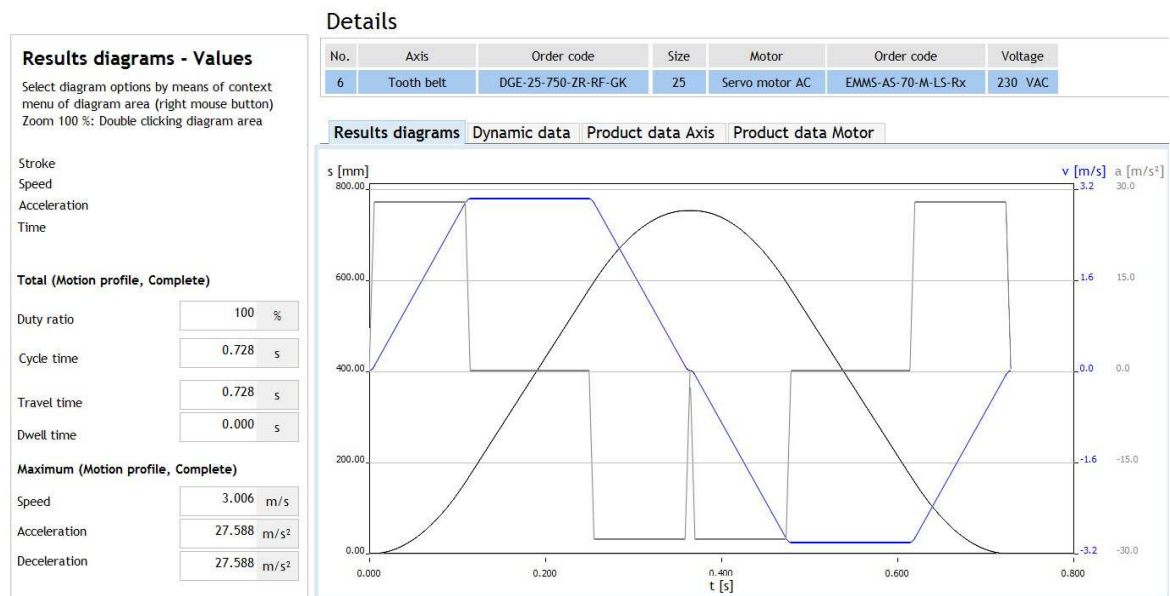
Slika 4.78 Izbor parametara koji se odnose na orijentaciju klizne ploče električne ose

U tabeli na Slici 4.79 je prikazano 10 različitih sistema koji mogu da zadovolje zahtevane parametre. Najbolje karakteristike ima sistem pod rednim brojem 6. kojeg čine komponente prikazane u srednjem delu slike. Ove komponente ispunjavaju zahtevanu brzinu, ponovljivost pozicioniranja i vreme trajanja ciklusa za zadatu masu radnog predmeta od 6 kg.



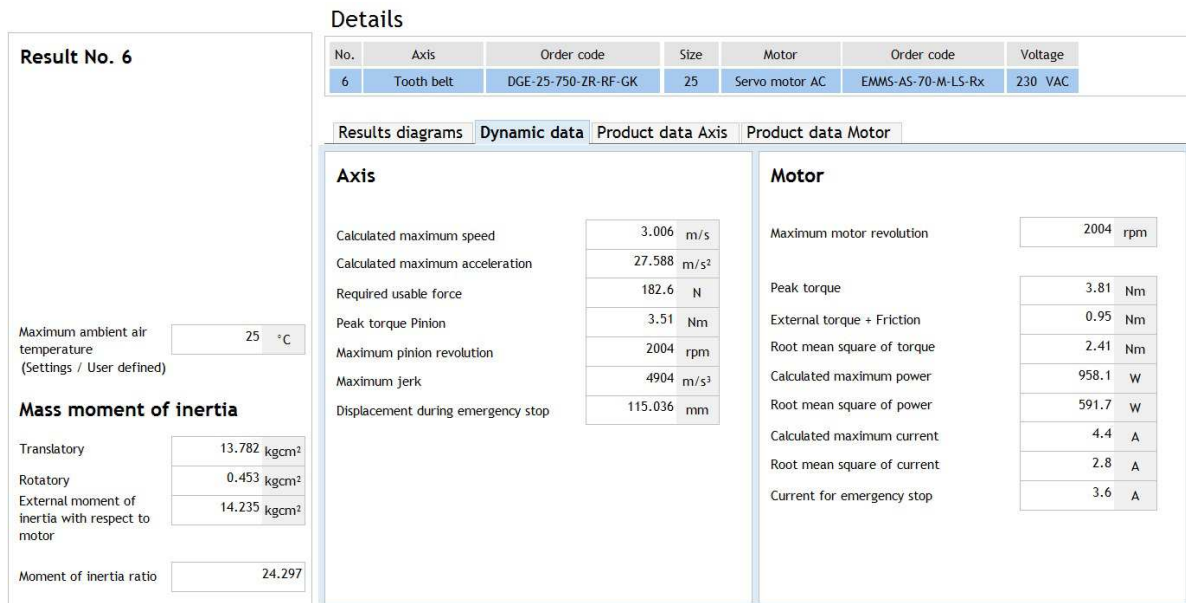
Slika 4.79 Prikaz mogućih električnih osa, motora i motor kontrolera za zahtevane parametre

Na Slici 4.80 su prikazani dijagrami brzine, ubrzanja, usporenja u vremenu, za izabranu električnu osu i motor. Maksimalna brzina koju izabrana električna osa može da ostvari za dati efektivni hod iznosi 3,006 m/s, pri maksimalnom ubrzanju od 27,588 m/s² i maksimalnom usporenju od 27,588 m/s².



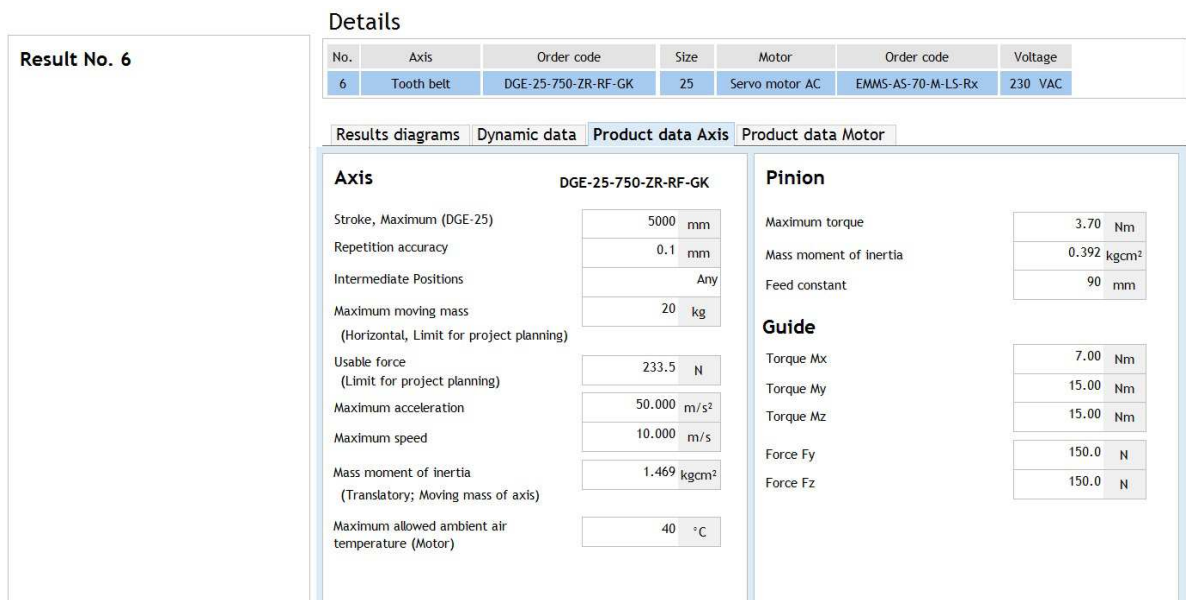
Slika 4.80 Prikaz grafika brzine, ubrzanja i vremena ciklusa izabrane električne ose

Karakteristike izabrane električne ose, motora i motor kontrolera su date na Slici 4.81. Maksimalna brzina koju izabrana električna osa može da ostvari je, za dati hod, ograničena na 3 m/s sa maksimalnim ubrzanjem od 27,588 m/s². Maksimalan broj obrtaja koje izabrani motor može da ostvari iznosi 2004 o/min, dok maksimalna snaga izbranog motora iznosi malo manje od 1 kW.



Slika 4.81 Prikaz dinamičkih podataka za izabranu električnu osu, motor i motor kontroler

Na Slici 4.82 se nalaze osnovni podaci o izabranoj vrsti električne ose: maksimalan efektivni hod, ponovljivost pozicioniranja, mogućnost pozicioniranja u bilo koju međupoziciju (broj pozicija zavisi od rezolucije enkodera), maksimalna sila, maksimalno ubrzanje, maksimalna brzina, moment inercije, maksimalna dozvoljena temperatura okruženja i podaci o silama i obrtnim momentima koji se odnose na prenosni mehanizam i vođicu.



Slika 4.82 Prikaz karakteristika izabrane električne ose

Izabrani motor kontroler koristi napajanje od 220 V AC za rad motora, dok za svoj rad koristi napajanje 24 V DC. Nominalna struja kontrolera pri pokretanju motora iznosi 5 A, a maksimalna struja 10 A. Otpor kočenja internog otpornika je dovoljan za date uslove funkcionisanja sistema i nije potreban eksterni otpornik (Slika 4.83).

Details

| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
|-----|------------|---------------------|------|----------------|--------------------|---------|
| 6 | Tooth belt | DGE-25-750-ZR-RF-GK | 25 | Servo motor AC | EMMS-AS-70-M-LS-Rx | 230 VAC |

Results diagrams | Dynamic data | Product data Axis | **Product data Motor**

| Motor | EMMS-AS-70-M-LS-Rx | Controller | CMMP-AS-C5-3A-Mx |
|-------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|
| Rated speed (Voltage = 360 V) | 4100 rpm | Supply voltage | |
| Rated torque | 2.29 Nm | Logic section | 24 VDC |
| Rated current | 2.6 A | Power section | 230 VAC |
| Rated voltage | 360 V | Intermediate circuit voltage | 380 VDC |
| Peak torque | 7.75 Nm | Rated current | 5.0 A |
| Peak current | 10.0 A | Peak current | 10.0 A |
| Mass moment of inertia | 0.611 kgcm ² | Braking resistance, integrated | 60 Ohm |
| | | Braking resistance, Root mean square of power | 20.0 W |
| | | External brake resistance | CACR-LE2-72-W500 |
| | | Maximum brake resistance | 72 Ohm |
| | | Braking resistance, Root mean square of power | 200 W |

Slika 4.83 Prikaz karakteristika izabranog motora i motor kontrolera

Nakon analiza dobijenih rezultata, projektant je zaključio da izabrane komponente x ose manipulatora za slaganje plastičnih posuda (Slika 4.84), ispunjavaju definisane zahteve i mogu da se koriste za datu aplikaciju.

Parts list

| Part No. | Amount | Unit | Order code 1 | Item name | Stroke in addition | PDF |
|-----------|--------|------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 534391 | 1 | PCS | DGE-25-750-ZR-RF-GK | Linear drive | 2 * 63.0 mm | PDF |
| 2 550945 | 1 | PCS | EAMM-A-F37-70A | Axial kit | | PDF |
| 3 ... | 1 | PCS | EMMS-AS-70-M-LS-Rx | Servo motor AC | | PDF |
| 4 ... | 1 | PCS | CMMP-AS-C5-3A-Mx | Controller | | PDF |
| 5 1336611 | 1 | PCS | CACR-LE2-72-W500 | Braking resistance | | PDF |

Modify order length

Effective stroke mm

Stroke, in addition both sides

Total stroke (Axis) mm

[Export Parts list \(csv file\)](#) [Export Festo Online Basket](#)


Slika 4.84 Prikaz komponenti izabranog sistema


Za obe y ose (vidi Sliku 4.85) manipulatora za slaganje plastičnih posuda izabran je linearni tip električnog aktuatora. Masa hvataljke koju svaka od dve y ose manipulatora treba da nosi iznosi 2 kg. Kao što je ranije pomenuto svaka od ove dve električne ose treba da ostvari efektivni hod od 350 mm i ponovljivost pozicioniranja 0,1 mm. Kao i kod x osa manipulatora vreme pozicioniranja je najznačajniji faktor koji utiče na izbor y osa manipulatora (vreme pozicioniranja mora biti manje od 1 s) pa je i za y ose manipulatora potrebno izabrati najbrže električne ose, a to su električne ose sa zupčastim kaišem.

System parameters

Selection, Axis type

Guide integrated

Gantry axis 

Cantilever axis 

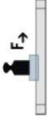
Note

Selection filter
32 Systems (Static)
11 Axis

The axes are operated as gantry or cantilever axis.
Axes with slide are cantilever axes with enhanced mounting possibilities.

Required input

Assembly position



Horizontal

Vertical

Any

Axis

Maximum moving mass kg

Effective stroke mm

Repetition accuracy +/- mm

Highest precision (in addition)

Additional external force N

Optional input

Motion profile


Usable length, no time restriction

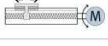
Detailed motion profile

Critical stroke

Travel time + Dwell time <= s

Axis technology

 Tooth belt
0.355 ..0.392 s

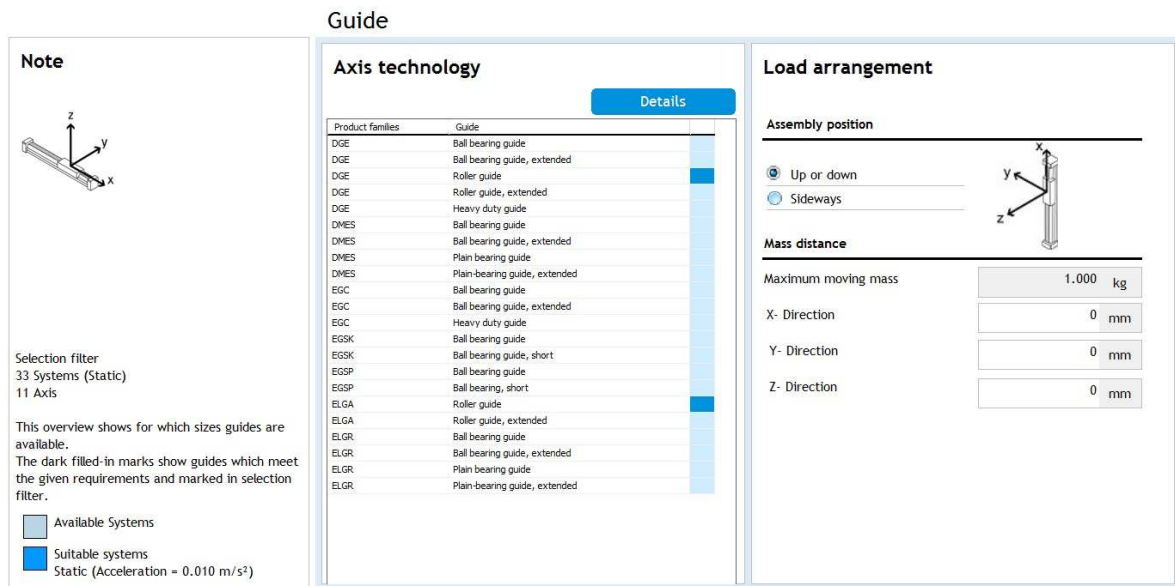
 Spindle

Slika 4.85 Izbor sistemskih parametara električnog akuatora

Kao kod x osa manipulatora, i u slučaju y osa manipulatora je iz istih razloga (zahtevi koji se odnose na masu radnog predmeta i cenu) izabran cilindrični ležaj u okviru prenosnog mehanizma. Izborom ove vrste prenosnog mehanizma i električne ose sa zupčastim kaišem, broj električnih osa koje zadovoljavaju zahteve je sa sedam vrsta smanjen na dve vrste: DGE i ELGA.

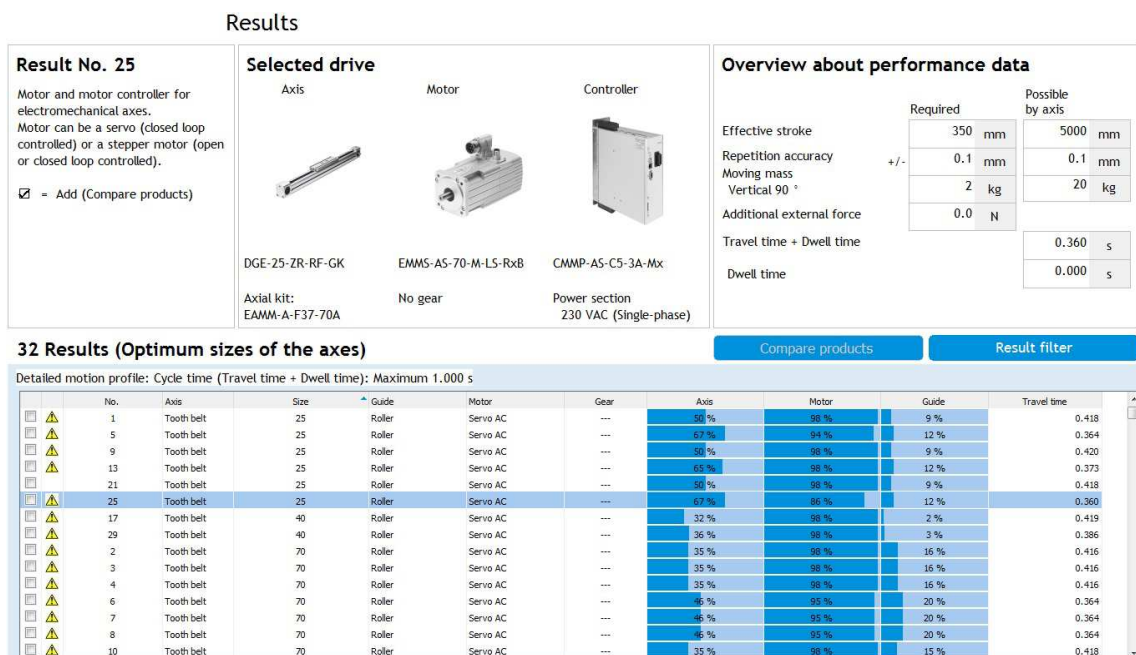
Za y električne ose manipulatora, za datu aplikaciju, su izabrani servo motori zbog zahteva vezanih za vreme trajanja ciklusa proizvodnje. Motori za y ose manipulatora moraju imati ugrađenu mehaničku kočnicu radi održanja električne ose u željenoj poziciji. Prenosni odnos je 1:1 u cilju ostvarenja što veće brzine rada komponenti. U ovom slučaju je izabran isti tip motor kontrolera kao za x ose manipulatora.

Maksimalna masa hvataljke koju y osa treba da pomera u željene pozicije iznosi 2 kg. Hvataljka se montira direktno na kliznu ploču električne y ose manipulatora. Sa Slike 4.86 se vidi da postoji 33 vrste sistema koji ispunjavaju zahteve koji se odnose na željene parametre sistema.



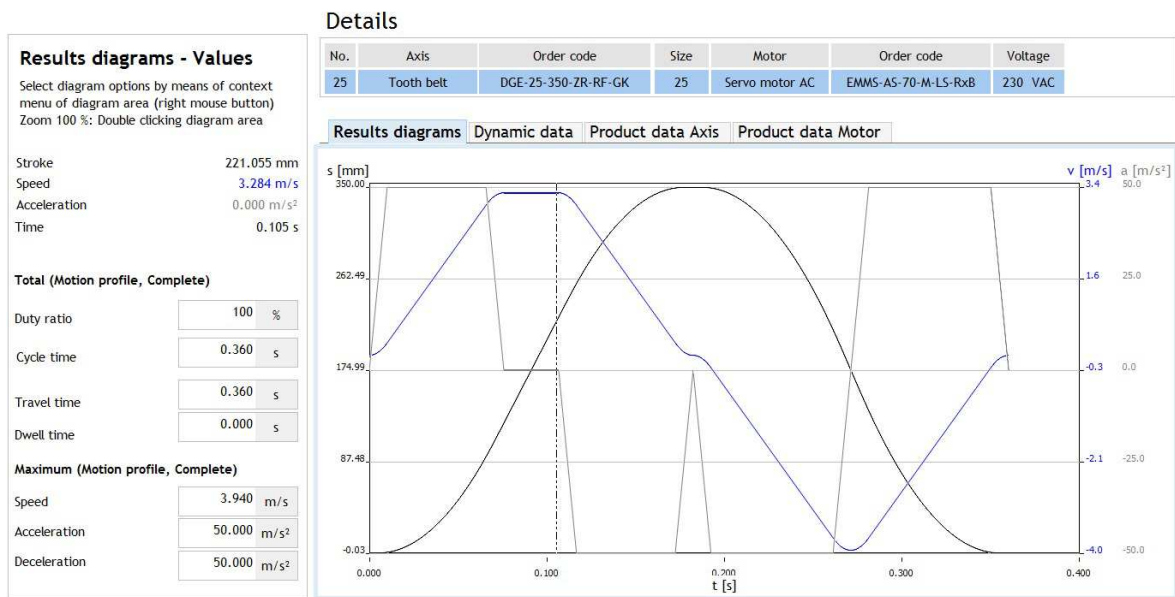
Slika 4.86 Izbor parametara koji se odnose na orijentaciju klizne ploče električne ose

Nakon unosa svih parametara, na Slici 4.87 može da se vidi spisak različitih sistema koji ispunjavaju sve zahteve projektanta. Sistem pod rednim brojem 25., koji je prikazan u srednjem delu slike, ima najkraće vreme pozicioniranja, od ponuđenih sistema, a obzirom da zadovoljava ostale zahteve, taj sistem je izabran za upravljanje radom y ose manipulatora.



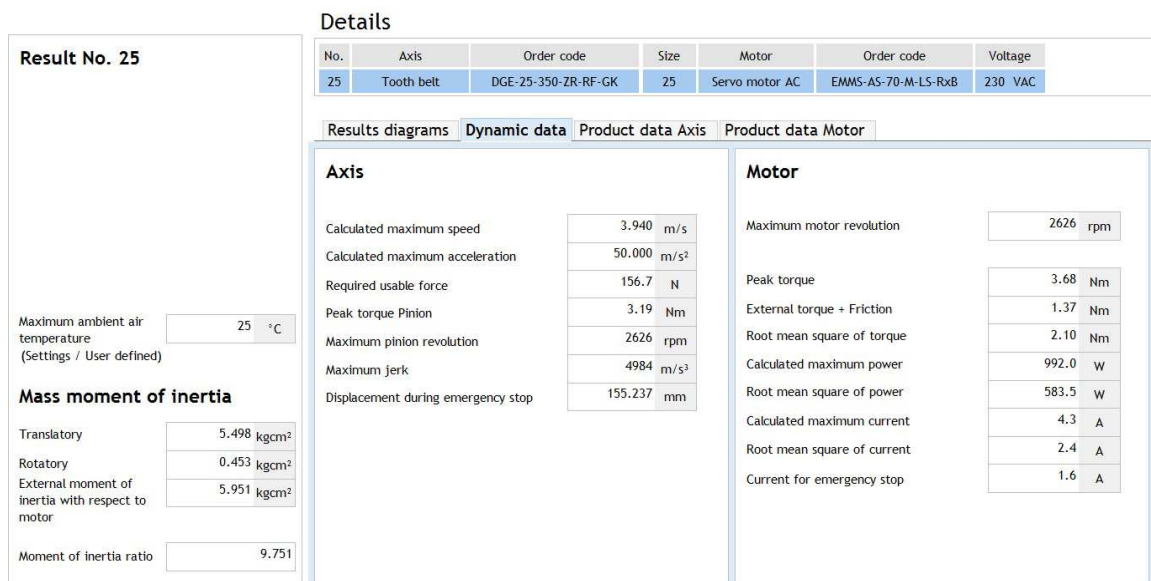
Slika 4.87 Prikaz mogućih električnih osa, motora i motor kontrolera za definisane parametre.

Rezultati analize podataka koji se odnose na brzinu, ubrzanje, usporenje i vreme trajanja ciklusa, za izabrani sistem (električnu osu, motor i motor kontroler), za y ose manipulatora za slaganje plastičnih posuda u magacin, su prikazani na Slici 4.88. Pomeranjem kursora miša po dijagramu na slici, mogu se videti promene parametara brzine, ubrzanja i usporenja u vremenu, za efektivni hod električne ose od 350 mm.



Slika 4.88 Prikaz vrednosti brzine, ubrzanja, vremena ciklusa izabranog električne ose

Dinamički podaci o izabranoj električnoj osi i motoru su prikazani na Slici 4.89. Maksimalna brzina za izabrani efektivni hod ove električne ose iznosi 3.940 m/s pri maksimalnom ubrzanju od 50 m/s². Maksimalna snaga izabranog motora iznosi 0,992 kW, ali je za datu aplikaciju koristi samo deo te snage, koja iznosi 0,5935 kW.



Slika 4.89 Prikaz dinamičkih podataka za izabranu električnu osu, motor i motor kontroler

Podaci koji se odnose na karakteristike izabrane električne ose i prenosni mehanizam su prikazani na Slici 4.90. Kao što može da se vidi iz podataka sa slike, koji se odnose na DGE-ZR-RF tip električne ose, maksimalan efektivni hod ovih električnih osa može biti 5000 mm i za taj hod mogu da ostvare maksimalnu brzinu od 10 m/s i maksimalno ubrzanje od 50 m/s² za maksimalnu masu radnog predmeta od 20 kg. Naravno, nijednu mehaničku komponentu, pa ne električnu osu ne treba forsirati da radi maksimalnom brzinom, jer se tako skraćuje njen životni vek.

| Details | | | | | | |
|---------|------------|---------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
| 25 | Tooth belt | DGE-25-350-ZR-RF-GK | 25 | Servo motor AC | EMMS-AS-70-M-LS-RxB | 230 VAC |

| Results diagrams | | Dynamic data | | Product data Axis | | Product data Motor | |
|---|--|--------------|-------------------|------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Axis | | | | DGE-25-350-ZR-RF-GK | | Pinion | |
| Stroke, Maximum (DGE-25) | | 5000 | mm | Maximum torque | | 3.70 | Nm |
| Repetition accuracy | | 0.1 | mm | Mass moment of inertia | | 0.392 | kgcm ² |
| Intermediate Positions | | Any | | Feed constant | | 90 | mm |
| Maximum moving mass (Vertical, Limit for project planning) | | 20 | kg | Guide | | | |
| Usable force (Limit for project planning) | | 233.5 | N | Torque Mx | | 7.00 | Nm |
| Maximum acceleration | | 50.000 | m/s ² | Torque My | | 15.00 | Nm |
| Maximum speed | | 10.000 | m/s | Torque Mz | | 15.00 | Nm |
| Mass moment of inertia (Translatory; Moving mass of axis) | | 1.394 | kgcm ² | Force Fy | | 150.0 | N |
| Maximum allowed ambient air temperature (Motor) | | 40 | °C | Force Fz | | 150.0 | N |

Slika 4.90 Prikaz karakteristika izabrane električne ose

Podaci koji se odnose na karakteristike motora i motor kontrolera su prikazani na Slici 4.91. Izabrani motor ima brzinu od 4100 o/min i radi na naponu od 360 V DC. Ovaj motor je isti tip servo motora kao što je motor izabran za x ose manipulatora, osim što ovaj motor ima ugrađenu mehaničku kočnicu, jer se y ose manipulatora montiraju vertikalno pa je neophodna kočnica da drži kliznu ploču električne ose u željenoj poziciji i nakon isključenja električne energije.

| Details | | | | | | |
|---------|------------|---------------------|------|----------------|---------------------|---------|
| No. | Axis | Order code | Size | Motor | Order code | Voltage |
| 25 | Tooth belt | DGE-25-350-ZR-RF-GK | 25 | Servo motor AC | EMMS-AS-70-M-LS-RxB | 230 VAC |

| Results diagrams | | Dynamic data | | Product data Axis | | Product data Motor | |
|-------------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|--------------------|-----|
| Motor | | | | EMMS-AS-70-M-LS-RxB | | Controller | |
| Rated speed (Voltage = 360 V) | | 4100 | rpm | Supply voltage | | | |
| Rated torque | | 2.29 | Nm | Logic section | | 24 | VDC |
| Rated current | | 2.6 | A | Power section | | 230 | VAC |
| Rated voltage | | 360 | V | Intermediate circuit voltage | | 380 | VDC |
| Peak torque | | 7.75 | Nm | Rated current | | 5.0 | A |
| Peak current | | 10.0 | A | Peak current | | 10.0 | A |
| Mass moment of inertia | | 0.680 | kgcm ² | Braking resistance, integrated | | 60 | Ohm |
| Holding torque (Brake) | | 2.00 | Nm | Braking resistance, Root mean square of power | | 20.0 | W |
| | | | | External brake resistance | | CACR-LE2-72-W500 | |
| | | | | Maximum brake resistance | | 72 | Ohm |
| | | | | Braking resistance, Root mean square of power | | 200 | W |

Slika 4.91 Prikaz karakteristika izabranog motora i motor kontrolera

Nakon analiza dobijenih rezultata, projektant je zaključio da izabrani motor i motor kontroler za električne y ose manipulatora (Slika 4.92), koje nose hvataljke manipulatora za slaganje plastičnih posuda, ispunjavaju definisane zahteve i mogu da se koriste za datu aplikaciju.

Parts list

Note

Parts list Accessories Axis Accessories Motor Controller System data

| Part No. | Amount | Unit | Order code 1 | Item name | Stroke in addition | PDF |
|-----------|--------|------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1 534391 | 1 | PCS | DGE-25-350-ZR-RF-GK | Linear drive | 2 * 63.0 mm | PDF |
| 2 550945 | 1 | PCS | EAMM-A-F37-70A | Axial kit | | PDF |
| 3 ... | 1 | PCS | EMMS-AS-70-M-LS-RxB | Servo motor AC | | PDF |
| 4 ... | 1 | PCS | CMMP-AS-C5-3A-Mx | Controller | | PDF |
| 5 1336611 | 1 | PCS | CACR-LE2-72-W500 | Braking resistance | | PDF |

Modify order length

Effective stroke mm

Stroke, in addition both sides mm

Total stroke (Axis) mm

Export Parts list (csv file) Export Festo Online Basket

Slika 4.92 Prikaz komponenti izabranog sistema

Prema dizajnu konstrukcije i načinu funkcionisanja, definisanim od strane projektanta, magacin manipulatora za slaganje plastičnih posuda mora da ostvari vertikalno kretanje. Zahtevi koji utiču na izbor vrste ovog aktuatora su: vreme trajanja ciklusa proizvodnje, jednostavnost konstrukcije, niska cena i fleksibilnost u radu sa različitim proizvodima. U ovom slučaju projektant je izabrao klasični pneumatski cilindar kao aktuator jer je sila koju ovaj aktuator treba da ostvari mala, aktuator ove vrste ima nisku cenu i ispunjava zahtev vezan za veoma kratko vreme trajanja ciklusa proizvodnje.

Sistemske parametri cilindra za podizanje i spuštanje magacina su definisani na sledeći način: vreme potrebno za pozicioniranje je podešeno na 0,7 s, jer je neophodno ostvariti traženo vreme trajanja ciklusa proizvodnje plastičnih posuda na mašini. Maksimalan efektivni hod ovog cilindra treba da iznosi 600 mm i zavisi od broja plastičnih posuda koje će se slagati jedna u drugu, radi daljeg pakovanja u kartonske kutije. Klipnjača cilindra mora biti uvučena u početnom položaju. Masa koju cilindar treba da nosi je jednaka ukupnoj masi noseće ploče magacina i iznosi 7 kg (ukupna masa plastičnih posuda je zanemarljivo mala). Izbor sistemskih parametara je prikazan na Slici 4.93.

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

System parameters - Select main settings here. Continue >

Desired positioning time Try to achieve a positioning time of exactly: 0,7 s

with throttle valve

Initial cylinder parameters
Required stroke 600 mm
Alignment angle 0 deg
Direction of movement
 Extend
 Retract

Air supply and tubing
Air supply pressure 6 bar
Tubing length Air supply > valve 1 m
Valve > cylinder 1 m

Load settings
Moving mass 7 kg
Additional thrust 0 N
Additional friction 0 N

Continue >

Slika 4.93 Podešavanje parametara izabranog tipa pneumatskog cilindra

Jednostavniji izbor tipa cilindra omogućava dodatni parametar: cilindar mora da ima prigušenja na krajevima hoda. Od ponuđenih cilindara izabran je pneumatski cilindar dvosmernog dejstva sa klipnjačom, tipa DNC-40-600-PPV-A, koji zadovoljava zahteve.

Izbor komponenti koje utiču na rad izabranog pneumatskog cilindra je neophodan da bi sistem funkcionisao što pouzdanije i efikasnije (Slika 4.94). Izbor odgovarajućeg amortizera, upravljačkog razvodnika, stepena prigušenja i dr. može značajno da utiče i na životni vek pneumatskog cilindra, pa je neophodno izvršiti simulaciju rada izabranih komponenti pneumatskog sistema.

Close

1. System parameters 2. Cylinder selection 3. System 4. Simulation 5. Parts list

Valve/tube/fittings selection System simulation

Please select the component(s) by clicking on the corresponding label or image below.

Cylinder DNC-40-600-PPV-A

Shock absorber

Flow control valve GRLA-1/4-B

Tubing [Cyl. > Valve] PAN-V0-8x1-BL (1 m)

Valve CPE18-M1H-SLS-1/4

Tubing [air supply > valve] PAN-V0-8x1-BL (1 m)

Silencer U -1/4

Air supply pressure 6 bar

Direction of movement
 Extend
 Retract

full sequence cycle

Optimising PPV...

PPV settings
100 %

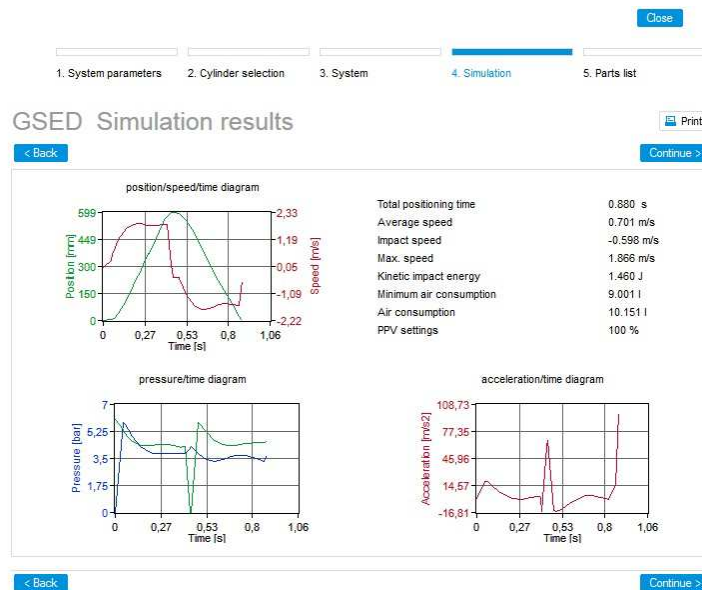
Flow rate
7 Revolutions open

< Back Simulation...

Slika 4.94 Komponente neophodne za simulaciju rada izabranog cilindra

Pneumatski cilindar koji treba da pomera magacin gore-dole mora da ima mogućnost da ostvari više različitih pozicija jer se za svaki red plastičnih posuda koji se složi u magacin, magacin spušta za 10 mm (ova veličina zavisi od rastojanja dna dve posude koje su složene jedna u drugu). U cilju ispunjenja tog zahteva projektant je, za dati cilindar, izabrao bistabilni 5/3 upravljački razvodnik sa električnim aktiviranjem i srednjim blokiranim položajem.

Rezultati simulacije rada komponenti sistema su potvrdili da izabrane komponente pneumatskog sistema zadovoljavaju zahteve projektanta (Slika 4.95).

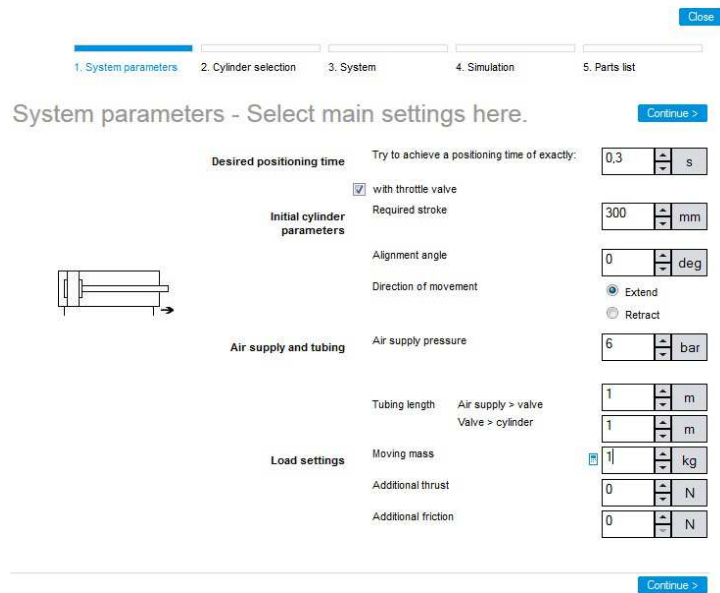


Slika 4.95 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Na osnovu izvršenih analiza, projektant je izvršio konačan izbor aktuatora za vertikalno kretanje magacina manipulatora i izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-40-600-PPV-A firme FESTO, za koji je i urađena simulacija.

Prema dizajnu konstrukcije i načinu funkcionisanja, definisanim od strane projektanta, aktuator za pražnjenje magacina manipulatora za slaganje plastičnih posuda mora da ostvari horizontalno kretanje. Zahtevi koji utiču na izbor vrste ovog aktuatora su: vreme trajanja ciklusa proizvodnje, jednostavnost konstrukcije i niska cena. U ovom slučaju projektant je izabrao klasični pneumatski cilindar kao aktuator jer aktuator ove vrste ima najmanju cenu, zauzima malo prostora i ispunjava zahtev vezan za veoma kratko vreme trajanja ciklusa proizvodnje.

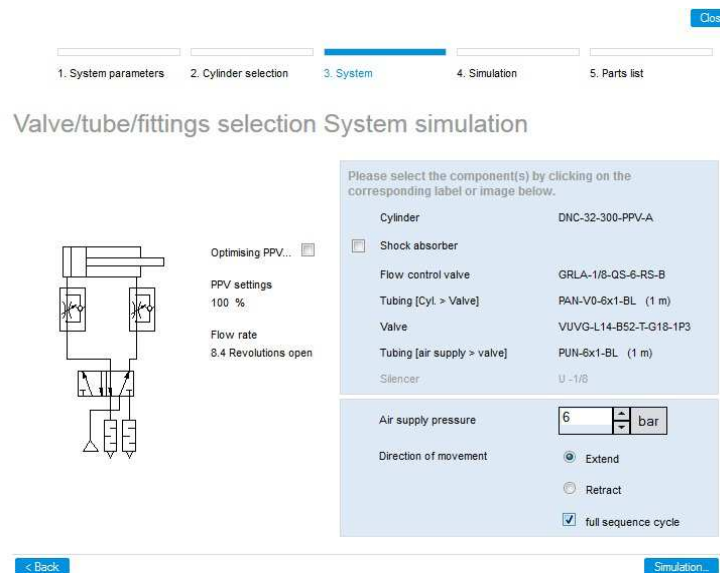
Nakon izbora tipa cilindra potrebno je podesiti systemske parametre koji omogućavaju suženje izbora ponuđenih aktuatora za datu aplikaciju. Zahtevano vreme pozicioniranja iznosi 0,3 s, maksimalan efektivni hod ovog cilindra treba da iznosi 300 mm i zavisi od širine magacina manipulatora, klipnjača cilindra mora biti uvučena u početnom položaju, a masa koju cilindar treba da pomera je jednaka masi čeličnog lima koju gura i iznosi 1 kg (Slika 4.96). Iako širina čeličnog lima iznosi 900 mm, vođice za ovaj cilindar nisu potrebne jer se na oba kraja lima nalaze točkići (koje se kreću unutar žljebova) koji nose krajeve lima, dok je klipnjača cilindra pričvršćena u centru lima.



Slika 4.96 Parametri izabranog tipa pneumatskog cilindra

Izborom dodatnih parametara: cilindar mora da ima prigušenje na krajevima hoda i zahtevani hod cilindra mora biti tačno 300 mm, lista ponuđenih cilindara za datu aplikaciju je smanjena. Od ponuđenih cilindara izabran je pneumatski cilindar tipa DNC-32-300-PPV-A koji zadovoljava systemske i dodatne parametre.

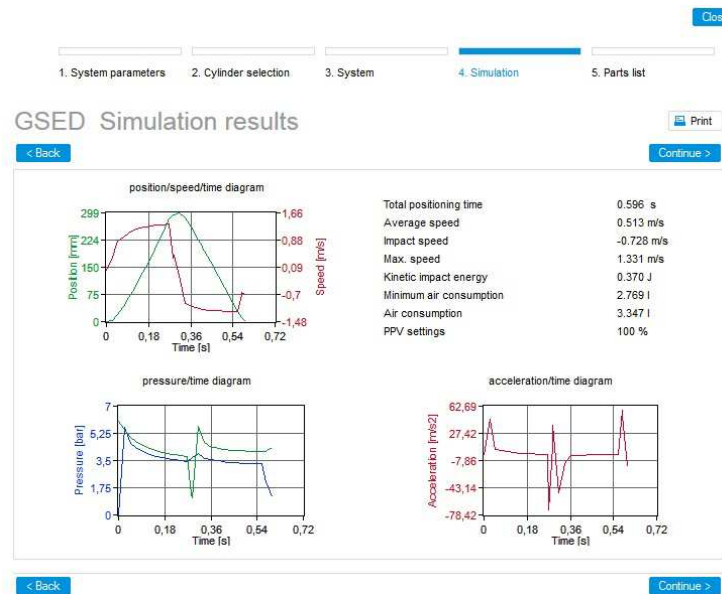
Izbor odgovarajućih komponenti pneumatskog sistema utiče na funkcionalnost i efikasnost tog sistema. U cilju izbora odgovarajućeg upravljačkog razvodnika, stepena prigušenja i dužine pneumtskih creva potrebno je izvršiti simulaciju rada izabranih komponenti pneumatskog sistema (Slika 4.97).



Slika 4.97 Izbor pneumatskih komponenti neophodnih za simulaciju rada sistema

Simulacija rada izabranih komponenti prikazanih na Slici 4.98 prikazuje da su vrednosti brzine i vremena pozicioniranja izabranog cilindra u okviru dozvoljenih odstupanja (podešavanje brzine pa samim tim i vremena pozicioniranja se vrši regulacijom stepena

prigušenja ili postavljanjem pneumatskih creva većeg prečnika i odgovarajućeg konektora), pa izabrani cilindar zadovoljava zahtevima projektanta.



Slika 4.98 Rezultati simulacije rada izabranih pneumatskih komponenti

Leva X električna osa manipulatora, desna X električna osa manipulatora

Manipulator za slaganje plastičnih posuda ima dve električne x ose (Dekartovog koordinatnog sistema) istog tipa koje se razlikuju samo u poziciji montaže servo motora na osu. Motor na levoj x osi manipulatora je montiran na levom kraju električne ose, dok je na desnoj x osi manipulatora montiran na desnom kraju električne ose. U pitanju su električne ose tipa DGE 25-750-ZR-RF firme FESTO. Kao što je ranije objašnjeno DGE osa je električna osa sa zupčastim kaišem koja može da ostvari maksimalnu brzinu do 10 m/s sa ubrzanjem do 50 m/s². Ove električne ose su izabrane da budu istog tipa kao električna osa na manipulatoru za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine i električna osa na manipulatoru za postavljanje upijača u plastične posude, jer i ovaj manipulator mora da prati brzinu rada prethodna dva da bi se ostvarilo željeno vreme rada proizvodno-montažnog sistema (sva tri manipulatora moraju da rade istovremeno i sinhronizovano, odnosno duže vreme trajanja ciklusa jednog od manipulatora bi dovelo do čekanja u radu drugih manipulatora i sporijeg ciklusa rada mašine). Električne ose manipulatora pokreću servo motori tipa EMMS firme FESTO, čijim radom upravljaju CMMP kontroleri firme FESTO, koji su takođe opisani u ranijim poglavljima.

Električne x ose manipulatora služe za ostvarivanje horizontalnog kretanja hvataljki manipulatora. Svaka električna x osa nosi po jednu električnu y osu sa hvataljkom. Električne x ose imaju dve definisane pozicije u koje treba da pozicioniraju električnu y osu sa hvataljkom: pozicija iznad pokretne trake i pozicija magacina manipulatora. Pozicija iznad trake služi za preuzimanje plastičnih posuda sa ili bez upijača (zavisi od načina rada izabranog na upravljačkom displeju manipulatora) sa pokretne trake, dok pozicija iznad magacina služi za ostavljanje odnosno slaganje plastičnih posuda u magacin manipulatora.

Leva Y električna osa manipulatora, desna Y električna osa manipulatora

Manipulator za slaganje plastičnih posuda ima dve iste električne y ose, koje se kao i x ose manipulatora razlikuju samo u načinu montaže servo motora na električnu osu. Prethodno izabrane električne y ose koje se koriste na ovom manipulatoru su tipa: DGE 25-350-ZR-RF, firme FESTO. Njih pogone servo motori tipa EMMS firme FESTO, kojima upravljaju CMMP kontroleri firme FESTO. Tip y električnih osa manipulatora, kao i x osa manipulatora, je izabran zbog velikih brzina i ubrzanja koje mogu da ostvare, kao i zbog njihove tačnosti i preciznosti pozicioniranja. Tačnost i preciznost pozicioniranja su karakteristike koje su veoma važne za funkcionisanje ovog manipulatora, jer je površina dna jedne plastične posude koju hvataljka manipulatora treba da uhvati 10 mm veća od prečnika jedne vakuum sisaljke hvataljke.

Električne Y ose manipulatora su montirane na klizne ploče električnih x osa manipulatora, normalno u odnosu na električne x ose manipulatora, i služe za vertikalno kretanje hvataljki manipulatora za slaganje plastičnih posuda. Y električne ose manipulatora takođe imaju dve definisane pozicije: donja i gornja. Donja pozicija y električne ose manipulatora služi za preuzimanje plastičnih posuda sa pokretne trake ili za ostavljanje plastičnih posuda u magacin, što zavisi od pozicije x električne ose manipulatora koja nosi y električnu osu. Gornja pozicija y električne ose manipulatora predstavlja sigurnu poziciju za horizontalno kretanje x električne ose manipulatora iz jedne pozicije u drugu.

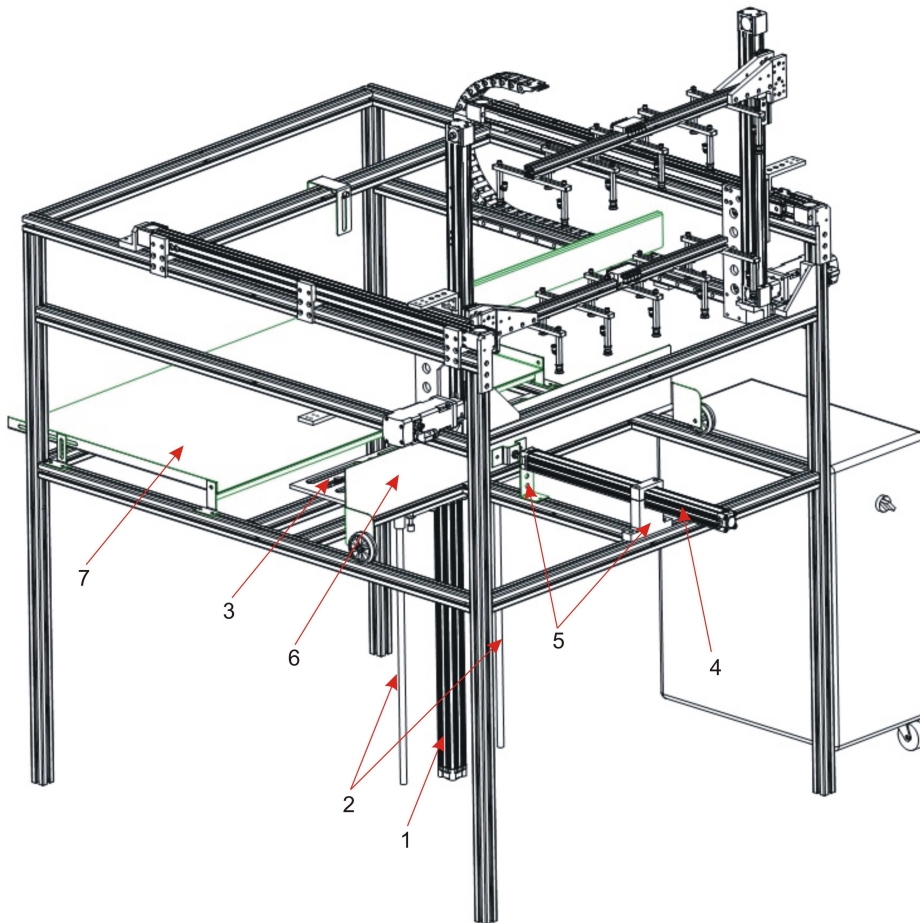
Vertikalno kretanje magacina manipulatora za slaganje plastičnih posuda

Vertikalno kretanje magacina manipulatora za slaganje plastičnih posuda je ostvareno upotrebom DNC 40-600 pneumatskog cilindra (deo 1 na Slici 4.99) sa pasivnim vođicama (deo 2 na Slici 4.99), aktiviranjem njegovog upravljačkog razvodnika. Pomenuti razvodnik ima tri moguća položaja, od kojih je srednji položaj blokiran, radi mogućeg pozicioniranja cilindra, odnosno magacina manipulatora, u više različitih međupozicija. Ploča sa prorezima (deo 3 na Slici 4.99) koju ovaj cilindar nosi, predstavlja dno magacina. U prorezima ploče su postavljene vakuum sisaljke radi prihvatanja plastičnih posuda koje se slažu u magacin, da ne bi došlo do prevrtanja naslaganih posuda usled spuštanja magacina za zadati korak.

Početni položaj magacina (kada manipulator nije pušten u rad) je jednak krajnjem donjem položaju DNC 40-600 cilindra (klipnjača cilindra uvučena). Nakon aktiviranja automatskog rada manipulatora za slaganje plastičnih posuda, na upravljačkom displeju, magacin čeka signal da je prva hvataljka prihvatila posude sa pokretne trake, nakon čega se podiže u gornji položaj koji je jednak visini pokretne trake (nije krajnji gornji položaj cilindra). Nakon ostavljanja posuda u magacin, on se spušta za jedan korak (prethodno definisan), čeka sledeći red posuda i svaki put se polako spušta dok se magacin u potpunosti ne popuni plastičnim posudama ili dok se ne dostigne broj posuda definisan na upravljačkom displeju.

Visina do koje je moguće slagati plastične posude u magacin zavisi od efektivnog hoda DNC 40-600 cilindra koji iznosi 600 mm, što znači da se u magacin, u visinu, može maksimalno složiti 50 plastičnih posuda (maksimalne dubine 90 mm). Maksimalan broj redova koji se mogu složiti u magacin iznosi 5 redova, što znači da ukupan maksimalan

broj posuda koje je moguće složiti u magacin, pre pražnjenja magacina, iznosi 250 posuda.



Slika 4.99 Komponente horizontalnog i vertikalnog kretanja magacina manipulatora

Horizontalno kretanje magacina manipulatora za slaganje plastičnih posuda

Horizontalno kretanje magacina manipulatora za slaganje plastičnih posuda je ostvareno upotrebom DNC 32-300 pneumatskog cilindra (deo 4 na Slici 4.99). Cilindar je montiran na noseću konstrukciju manipulatora pomoću aluminijumskih nosača (deo 5 na Slici 4.99). Na klipčaču cilindra je pričvršćena ploča (deo 6 na Slici 4.99), koja se na obe strane pomoću točkova oslanja na noseću konstrukciju manipulatora, i kreće se napred-nazad aktiviranjem upravljačkog razvodnika DNC 32-300 pneumatskog cilindra. Za detekciju krajnjih položaja cilindra se koriste reed kontakti.

Nakon što se magacin manipulatora napuni unapred definisanim brojem plastičnih posuda, magacin se spušta u krajnju donju poziciju (ili je već u donjoj poziciji ako je izabrano slaganje 50 plastičnih posuda) i DNC 32-300 pločom gura plastične posude u među-magacin (deo 7 na Slici 4.99), gde se posude privremeno skladište pre njihovog pakovanja u kartonske kutije.

Hvataljke manipulatora za slaganje plastičnih posuda

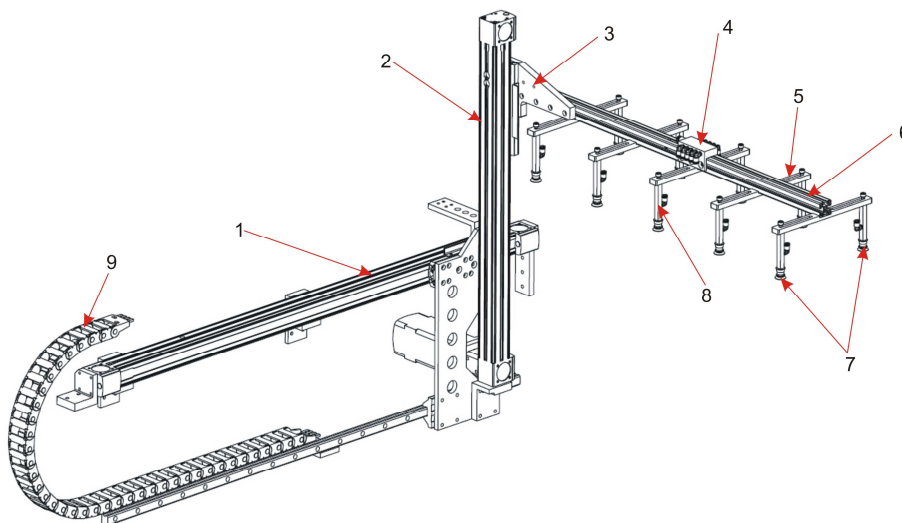
Manipulator za slaganje plastičnih posuda ima dve hvataljke koje naizmenično preuzimaju i slažu plastične posude u magacin manipulatora (Slika 4.100). Hvataljke su identične i svaku od hvataljki nosi po jedna x i y električna osa manipulatora koje

omogućavaju njihovo kretanje po x i y osi (Dekartovog koordinatnog sistema). Električna x osa manipulatora (deo 1 na Slici 4.100) nosi električnu y osu manipulatora (deo 2 na Slici 4.100) na kojoj je montiran nosač hvataljke (deo 3 na Slici 4.100) sa hvataljkom. Pomeranjem klizne ploče električne x ose manipulatora iz jedne pozicije u drugu omogućava se horizontalno kretanje hvataljke, dok se pomeranjem klizne ploče električne y ose manipulatora iz jedne pozicije u drugu omogućava vertikalno kretanje hvataljke manipulatora. Hvataljka se sastoji od nosećeg aluminijumskog profila 30 mm x 30 mm (deo 6 na Slici 4.100) koji je montiran na nosač hvataljke. Noseći aluminijumski profil nosi poprečne profile (deo 5 na Slici 4.100) na kojima se nalaze stubići (deo 8 na Slici 4.100) sa vakuum sisaljkama (deo 7 na Slici 4.100). Na gornjoj strani nosećeg aluminijumskog aluminijumskog profila se nalazi razvod za vakuum (deo 4 na Slici 4.100).

Kablovi i pneumatska creva svake hvataljke manipulatora za slaganje plastičnih posuda se sprovedeni kroz energetske lance (deo 9 na Slici 4.100).

Leva i desna hvataljka manipulatora za slaganje plastičnih posuda sa električnim osama su montirane na konstrukciju manipulatora jedna nasram druge, kao u ogledalu. Hvataljke se kreću naizmenično i jedna je uvek ispod druge, dok je druga iznad, tako da se međusobno mimoilaze. Takođe, svaka električna osa manipulatora kontroleru šalje informaciju o svom trenutnom položaju i uz uslov da jedna električna osa manipulatora ne može da se pomeri u zadatu poziciju dok ne dobije informaciju o trenutnom položaju druge električne ose manipulatora, ne postoji mogućnost da se električne ose manipulatora sudare. Vakuum na hvataljkama je ostvaren korišćenjem razvoda koji je spojen na istu vakuum pumpu kao kod preostala dva manipulatora. U slučaju da se neki od manipulatora ne koristi vakuum, razvod prema tom manipulatoru se zatvara ventilom da vakuum ne bi radio tamo gde to nije potrebno.

Vakuum hvataljke preuzimaju posude sa ili bez upijača (zavisi od izabranog režima rada manipulatora) sa pokretne trake, prenose ih do magacina manipulatora za slaganje i gde ih slažu. Posude se u magacinu slažu jedna u drugu do visine koja je prethodno definisana podešavanjem parametara na displeju, koji se nalazi na upravljačkom pultu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine.



Slika 4.100 Hvataljka manipulatora za slaganje plastičnih posuda sa x i y električnim osama

Upravljački orman manipulatora za slaganje plastičnih posuda

Upravljački orman manipulatora za slaganje plastičnih posuda čine: elektro orman, CPX kontroler, četiri CMMF servo motor kontrolera, transformator 220 V AC/24 V DC, redne stezaljke, relei, osigurači, ventilator sa termostatom, EUROMAP konektori i pneumatski razvodnici.

Elektro orman koji je izabran za manipulator za slaganje plastičnih posuda ima IP65 zaštitu i montiran je sa leve strane manipulatora.

Pripremna grupa koja se nalazi na upravljačkom ormanu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine se koristi i za manipulator za slaganje plastičnih posuda.

Za napajanje elektronskih komponenti manipulatora za slaganje plastičnih posuda se koristi transformator 220 V AC/24 V DC.

Upravljački pult koji je deo upravljačkog ormana manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje se koristi i za automatski i ručni rad manipulatora. Način funkcionisanja tastera i prekidača na upravljačkom pultu je objašnjen u ranijem tekstu ovog poglavlja.

Displej koji se takođe nalazi na upravljačkom pultu manipulatora za izuzimanje plastičnih proizvoda iz mašine se koristi i za podešavanje parametara manipulatora za slaganje plastičnih posuda. Pri izboru režima rada sistema, na ekranu displeja su ispisani mogući režimi rada manipulatora. Za rad sa manipulatorom za slaganje plastičnih posuda moguće je izabrati bilo koji od sledeća dva režima rada: "SLAGANJE BEZ UPIJAČA" ili "SLAGANJE SA UPIJAČIMA", pritiskom na odgovarajuće dugme na ekranu.

Nakon izbora režima rada se, na sledećem ekranu, bira način rada manipulatora pritiskom na jedan od dva ponuđena načina: "RUČNI RAD" i "AUTOMATSKI RAD". Pritiskom na dugme "RUČNI RAD" otvara se novi ekran displeja (Slika 4.101). U gornjem delu ekrana je prikazan izabrani način rada: "RUČNI RAD SLAGANJE". Upravljanje radom električne x ose leve hvataljke manipulatora ("X osa 1" na Slici 4.101) se vrši pritiskom na jedno od dva ponuđena dugmeta: "Na traku" ili "Na šaržer". Pritiskom na dugme "Na traku", električna x osa leve hvataljke se pozicionira u položaj iznad pokretne trake, odnosno položaj za preuzimanje plastičnih posuda, sa ili bez upijača, sa trake. Pritiskom na dugme "Na šaržer", električna x osa leve hvataljke se pozicionira iznad magacina manipulatora, odnosno u poziciju za ostavljanje plastičnih posuda u magacin manipulatora. Upravljanje radom električne y ose leve hvataljke manipulatora ("Y osa 1" na Slici 4.101) se vrši pritiskom na jedno od dva ponuđena dugmeta: "Gore" ili "Dole". Pritiskom na dugme "Gore", električna y osa leve hvataljke se pomera u gornju poziciju, odnosno u poziciju u kojoj se električna x osa i električna y osa leve hvataljke mogu slobodno kretati od pokretne trake do magacina radi prenošenja preuzetih posuda do magacina i nazad ka pokretnoj traci nakon ostavljanja posuda u magacin manipulatora. Pritiskom na dugme "Dole", električna y osa leve hvataljke se pomera u donju poziciju, odnosno poziciju za preuzimanje posuda (aktiviranjem vakuuma) ili poziciju za ostavljanje posuda (deaktiviranjem vakuuma) u magacin. Upravljanje radom električne x ose i električne y ose desne hvataljke se vrši na

isti način kao kod leve hvataljke, ali upotrebom polja na desnoj polovini ekrana displeja ("X osa 2" i "Y osa 2" na Slici 4.101).

Aktiviranje i deaktiviranje vakuuma i duvanja na levoj hvataljci manipulatora se vrši pritiskom na dugmiće "ON" i "OFF" u poljima označenim kao Vakuum 1 i Duvanje 1 na Slici 4.101. Aktiviranje i deaktiviranje vakuuma i duvanja na desnoj hvataljci manipulatora se vrši pritiskom na dugmiće "ON" i "OFF" u poljima označenim kao Vakuum 2 i Duvanje 2 na Slici 4.101.



Slika 4.101 Izgled ekrana displeja manipulatora za slaganje plastičnih posuda u ručnom radu

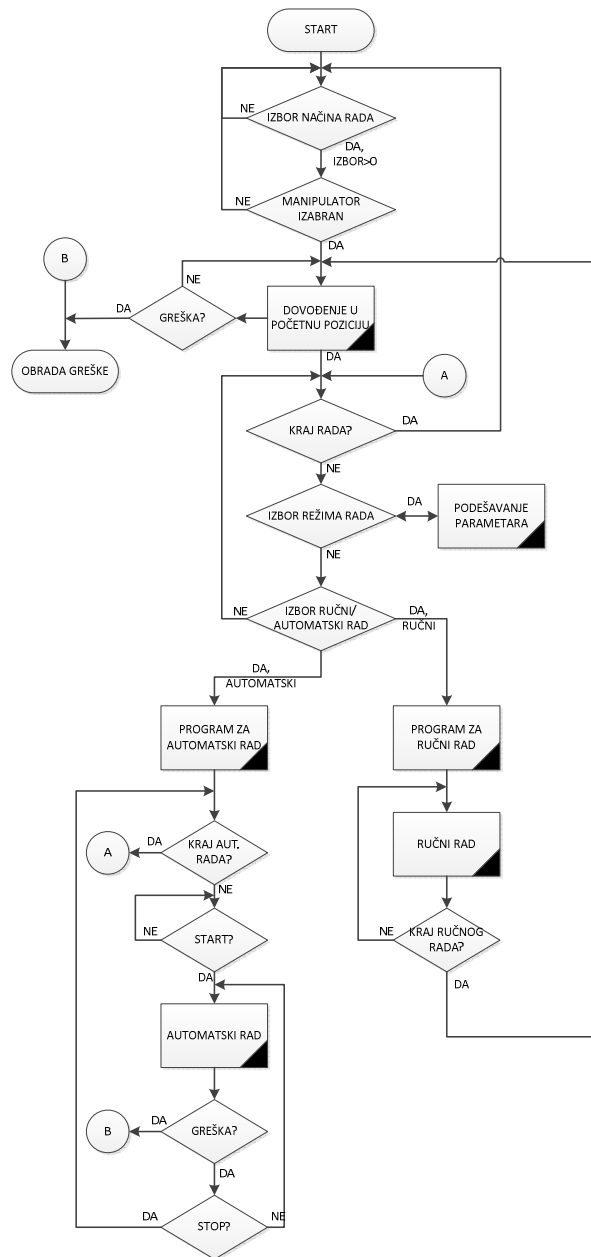
Pritiskom na dugme "AUTOMATSKI RAD", u zavisnosti od izabranog režima rada, otvara se novi ekran displeja. U gornjem delu ovog ekrana je prikazan izabrani režim rada manipulatora: "SLAGANJE BEZ UPIJAČA" ili "SLAGANJE SA UPIJAČIMA", kao i trenutno stanje sistema: "SISTEM SPREMAN čeka se START". Da bi manipulator započeo automatski način rada, potrebno je pritisnuti taster START koji se nalazi na upravljačkom pultu manipulatora.

Elektro deo upravljačkog ormana manipulatora za slaganje plastičnih posuda čini CPX kontroler firme FESTO koji se sastoji od više međusobno povezanih modula. Kod manipulatora za slaganje plastičnih posuda upotrebljeni su sledeći moduli: procesorski modul i moduli sa digitalnim ulazima i izlazima. Komunikacija sa kontrolerima drugih manipulatora i FED displejem se odvija putem mreže (TCP/IP). Procesorski modul prikuplja informacije uređaja senzora ili putem mrežne komunikacije i na osnovu softvera koji se nalazi u njemu šalje signale na izlazne module koji služe za aktiviranje elektromagneta pneumatskih razvodnika i kretanje električnih osa manipulatora aktiviranjem ulaza na odgovarajućem motor kontroleru.

Program za manipulator za slaganje plastičnih posuda je, takođe, urađen u vidu liste rečenica. Opšti algoritam funkcionisanja manipulatora za slaganje plastičnih posuda je prikazan na Slici 4.102. Nakon izbora režima slaganja, sistem se dovodi u početnu poziciju. Ukoliko je izabran jedan od dva režima rada manipulatora: "SLAGANJE BEZ UPIJAČA" ili "SLAGANJE SA UPIJAČIMA", manipulator započinje dovođenje u početnu poziciju i nadzor svih grešaka koje se mogu javiti u izabranom režimu rada. Ukoliko dođe do greške, sistem odmah prestaje sa radom, vrši se obrada nastale greške i sistem se dovodi u bezbedan položaj (obe x ose manipulatora su u poziciji iznad

magacina, leva y osa manipulatora je u donjem položaju, desna y osa manipulatora je u gornjem položaju).

Nakon dostizanja početne pozicije, korisniku je na raspolaganju dat izbor jednog od dva ponuđena načina rada: ručni ili automatski rad. Osim izbora načina rada u ovom koraku je moguće izabrati podešavanje parametara sistema, gde se mogu podesiti svi parametri neophodni za rad sistema. U ručnom radu sistema korisniku su na raspolaganju komande za ručno upravljanje radom manipulatora za slaganje plastičnih posuda. Iako se u ručnom radu ne nadziru greške, uslovi za aktiviranje svih komponenti manipulatora moraju biti zadovoljeni (da ne bi usled greške rukovaoca sistema došlo do sudara električnih osa). U automatskom radu dozvoljeno je, putem displeja, podešavanje nekoliko najosnovnijih parametara (broj redova, brzina trake) koji su značajni za korisnika, ali ne utiču na rad sistema. U toku automatskog rada se stalno vrši nadzor grešaka koji mogu da se pojave u radu sistema. Ukoliko je došlo do greške, sistem odmah prestaje sa radom. Nakon otklanjanja greške potrebno je resetovati sistem pritiskom na taster STOP na upravljačkom pultu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine.



Slika 4.102 Algoritam rada manipulatora za slaganje plastičnih posuda u magacin

4.2.6 Pokretna traka

Pokretna traka je postavljena paralelno sa mašinom i aluminijumskim profilima je povezana sa manipulatorom za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine, manipulatorom za postavljanje upijača u plastične posude i manipulatorom za slaganje plastičnih posuda. Ona predstavlja međuskladište za plastične posude u ovom proizvodno-montažnom sistemu. Unapred definisan broj plastičnih posuda se slaže na pokretnu traku koja se zatim pomera za unapred definisan korak.

Pokretna traka se sastoji od aluminijumskog okvira, poliuretanske trake i sistema za upravljanje radom trake. Nosači pokretne trake su perforirani aluminijumski profili dizajnirani tako da može da se podešava visina trake. Na kraju tih profila su montirani točkovi sa kočnicama radi jednostavnijeg pomeranja trake u željenu poziciju, a zatim

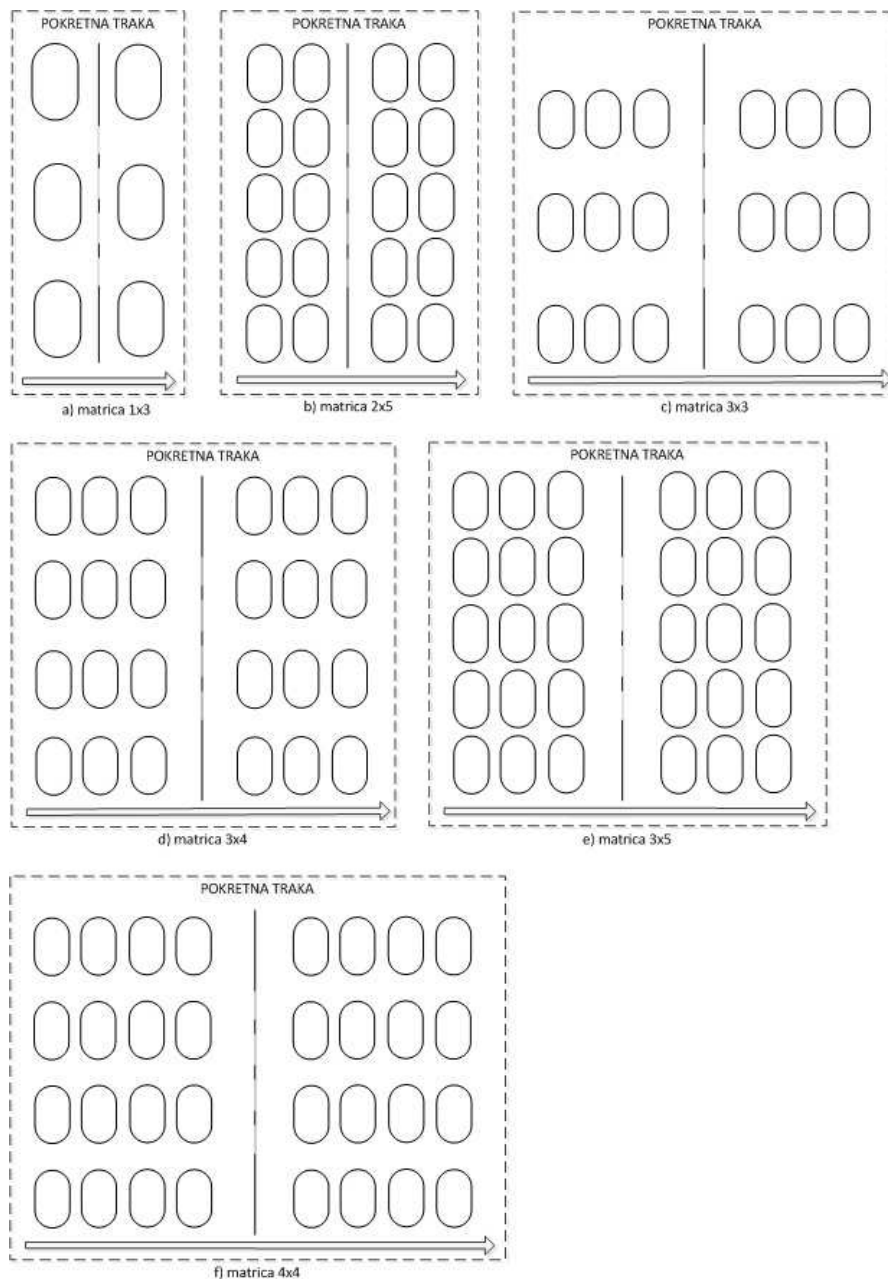
blokiranja točkova u toj poziciji. Širina trake je unapred definisana i ne može da se menja. Fabrički asinhroni motor sa reduktorom je zamenjen AC servo motorom sa enkoderom i reduktorom radi preciznijeg dovođenja trake u željenu poziciju. AC servo motor sa enkoderom je EMMS motor firme FESTO. Upravljanje radom pokretne trake se vrši putem CMMP motor kontrolera firme FESTO koji se nalazi u upravljačkom ormanu manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine.

Podešavanja parametara pokretne trake (Slika 4.103) se vrši na displeju upravljačkog pulta manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine i to samo u slučaju kada je izabran ručni način rada pokretne trake. Parametri koji mogu da se podešavaju su brzina trake, ubrzanje trake i usporenje trake. Pritiskom na dugme "+", parametar ispod čije oznake je pritisnuto dugme, se povećava za jediničnu vrednost, dok se pritiskom na dugme "-" parametar ispod čije oznake je pritisnuto dugme, umanjuje za jediničnu vrednost. Podešavanje ovih parametara zavisi od vrste i broja plastičnih posuda koje manipulator istovremeno izuzima iz mašine.



Slika 4.103 Izgled ekrana displeja za podešavanje pozicija pokretne trake u ručnom radu

Posude koje se kreću po pokretnoj traci su grupisane u vidu sledećih matrica: 1 x 3, 2 x 5, 3 x 3, 3 x 4, 3 x 5 ili 4 x 4 (Slika 4.104). Kao što je pomenuto na početku ovog poglavlja, postoje različiti oblici matrica kalupa za izradu plastičnih posuda, čije dimenzije moraju da odgovaraju maksimalnoj veličini kalupa koji može da se koristi u mašini za termoformiranje ovog tipa (870 mm x 670 mm), a koje zavise od dimenzija i oblika plastičnih posuda koje se proizvode na pomenutoj mašini.



Slika 4.104 Tipovi matričnog rasporeda plastičnih posuda na pokretnoj traci

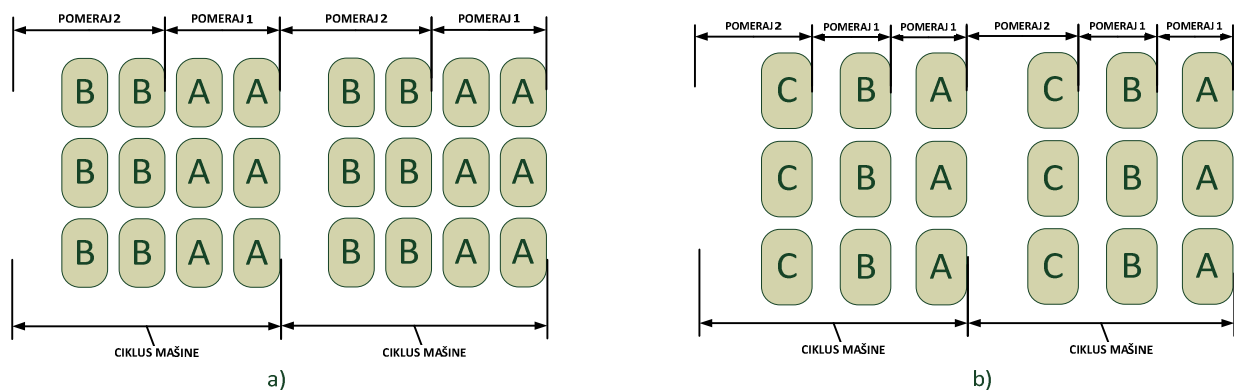
Navedeni podaci o matričnom rasporedu posuda na pokretnoj traci su ključni za usklađivanje ciklusa manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine, kao i podešavanja parametara vezanih za ciklus rada pokretne trake, sa narednim procesima montaže upijača u plastične posude i/ili slaganja plastičnih posuda radi njihovog pakovanja u kutije. Promena parametara trake: "POMERAJ 1" i "POMERAJ 2", se vrši putem ekrana displeja prikazanog na Slici 4.105.



Slika 4.105 Izgled ekrana dipleja za podešavanje koraka pokretne trake u ručnom radu

"POMERAJ 1" i "POMERAJ 2" predstavljaju rastojanja koja zavise od tipa i dimenzija plastičnih posuda koje se proizvode na mašini za termoformiranje. Postoji tri tipa plastičnih posuda: tip AA, tip AB i tip ABC, koje se proizvode u ovom slučaju, a koje mogu biti različitih dimenzija. Ovo se prvenstveno odnosi na slaganje plastičnih posuda u magacin manipulatora za slaganje. Slaganje plastičnih posuda AA tipa predstavlja slaganje identičnih posuda jednu u drugu, pri čemu se one idealno uklapaju. Slaganje plastičnih posuda AB tipa predstavlja slaganje plastičnih posuda jednu u drugu, pri čemu se u uglovima posuda nalaze zarezi koji omogućavaju uklapanje B tipa posuda u A tip posuda sa odstojanjem jednog dna od drugog što omogućavaju pomenuti zarezi. Ako bi se pokušalo sa slaganjem A tipa u A tip ili B tipa u B tip (ovo se odnosi samo na posude AB i ABC tipa), posude bi se teško uklopile, ali bi se, takođe, stvorio vakuum između tih plastičnih posuda i što bi onemogućilo razdvajanje posuda bez njihovog oštećenja. Slaganje ABC tipa funkcioniše na istom principu kao AB, samo što postoji još jedna posuda sa zarezom drugačijim od prethodna dva (C tip).

Kod AA tipa su sve plastične posude jednake, pa je pomeraj jednak ciklusu mašine. Kod AB i ABC tipa plastičnih posuda, parametri pomeraja se moraju podešiti, a njihovo određivanje se vrši merenjem potrebnih rastojanja na način prikazan na Slici 4.106.



Slika 4.106 Način određivanja parametara za podešavanje koraka pokretne trake za: a) AB način slaganja posuda i b) ABC način slaganja posuda

4.2.7 Način funkcionisanja proizvodno-montažnog sistema: manipulatora i mašine

Kao što je već pomenuto proizvodno-montažni sistem o kom je reč u ovom radu se sastoji od: mašine za termoformiranje, manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine, uređaja za lepljenje, manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude, manipulatora za slaganje plastičnih posuda i pokretne trake. Svaki pojedinačni deo ovog sistema je objašnjen u odeljku 4.2, ovog rada.

Pre puštanja mašine i manipulatora u rad, potrebno je izvršiti izbor proizvoda koji će se proizvoditi na mašini za termoformiranje (npr. plastične posude za meso ABC tipa raspoređenih u vidu 3 x 3 matrice). Sledeći korak predstavlja montaža odgovarajućih kalupa za termoformiranje na svim stanicama mašine (na stanicama za formiranje, sečenje i izbijanje plastičnih posuda). Nakon montaže kalupa mašine, materijal za proizvodnju plastičnih posuda (PET folija) se postavlja na valjke i lancima se uvlači u mašinu. Dalje se vrši podešavanje parametara mašine za termoformiranje, koji takođe zavise od izabranog tipa proizvoda. Nakon podešavanja parametara mašine, potrebno je izvršiti sledeće korake: montaža odgovarajućih hvataljki na sva tri manipulatora, montaža odgovarajućih magacina za upijače, potrebno je izvršiti punjenje magacina upijačima, pomeranje svih manipulatora, pokretne trake i stanice za izbijanje mašine u odgovarajuću poziciju koja zavisi od izabranog proizvoda koji se proizvodi na mašini.

Sledeći korak je uključivanje napajanja električnom energijom i vazduhom pod pritiskom za sva tri manipulatora, uključivanje vakuum pumpe i uređaja za lepljenje. Kontroleri sva tri manipulatora tada izvršavaju program za "Homing", odnosno dovođenje svih aktuatora u početnu poziciju, što se radniku na mašini signalizira putem zvučne i svetlosne signalizacije. Nakon toga, potrebno je na displeju upravljačkog ormana manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda, izabrati manipulatore koji će se koristiti (u ovom slučaju sva tri manipulatora) u proizvodno-montažnom sistemu za prethodno izabrani proizvod. Zatim je potrebno proveriti, na displeju, da li su svi parametri manipulatora, kao i pokretne trake tačno podešeni za izabrani proizvod. U slučaju da nisu potrebno ih je podesiti (moguće samo u ručnom režimu rada) da ne bi došlo do pojave greške u toku rada sistema. Kada se podese svi parametri na displeju upravljačkog pulta manipulatora, menja se režim rada sa ručnog na automatski. Sledeći korak predstavlja aktiviranje ROBOT ON/OFF prekidača, na upravljačkom pultu, manipulatora okretanjem na ON.

Pritiskom na taster START, na upravljačkom pultu manipulatora, oni se dovode u poziciju čekanja na mašinu za termoformiranje (manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine se pozicionira iznad kalupa stanice za izbijanje, manipulator za postavljanje upijača izuzima iz magacina koji je spreman devet upijača istovremeno i prenosi ih iznad pokretne trake gde čeka plastične posude, dok manipulator za slaganje ostaje u poziciji gde su obe hvataljke iznad pokretne trake).

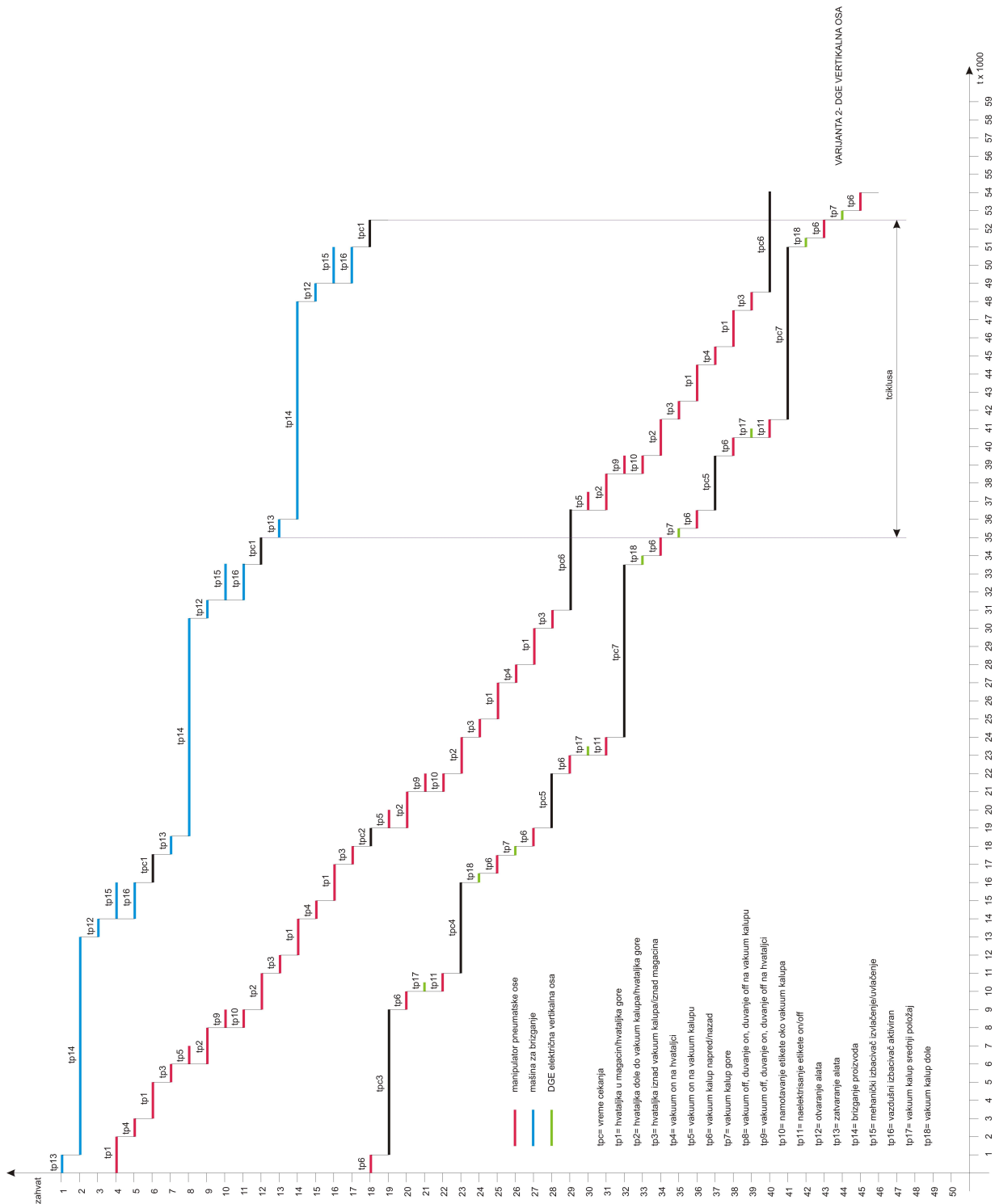
Ako su svi parametri mašine podešeni, mašina počinje sa radom i radnik pušta nekoliko probnih ciklusa dok se ne podese temperature na stanici za formiranje, pozicija i temperatura noževa za sečenje folije i dok se ne dobije proizvod zahtevanog kvaliteta. Ako je potrebno dodatno podešavanje parametara mašine, ono vrši se u tim probnim ciklusima rada mašine.

Kada je željeni kvalitet proizvoda ostvaren, pokreće se automatski režim rada mašine za termoformiranje. U prvom ciklusu mašine radi samo stanica za formiranje plastičnih posuda, u drugom ciklusu se aktivira sečenje, a u trećem izbijaње plastičnih posuda. Manipulator za izuzimanje kreće sa radom u trećem ciklusu rada mašine za termoformiranje, odnosno nakon podizanja kalupa stanice za izbijaње u krajnju gornju poziciju. Manipulator tada izuzima devet posuda istovremeno, prenosi ih do pokretne trake i ostavlja na nju. Pokretna traka se zatim pomera za jedan takt (pomeraj 1), pa ponovo za jedan takt (pomeraj 1) i zatim za još jedan takt (pomeraj 2). Za to je vreme manipulator za izuzimanje ponovo preuzeo devet plastičnih posuda iz mašine i preneo ih na pokretnu traku tačno nakon trećeg takta (pomeraj 2). Uređaj za lepak je za to vreme aktivan i čeka da se posude koje se kreću po pokretnoj traci nađu ispod dizni. Kada se detektuje prisustvo plastičnih posuda ispod svake glave za brizganje, dizne se otvaraju i u centar svake posude se dozira tačno definisana količina lepka. Nakon tri ciklusa mašine (manipulator za izuzimanje posuda i pokretna traka za to vreme rade bez prekida), manipulator za postavljanje upijača postavlja upijače u plastične posude koje se kreću na pokretnoj traci. Tada manipulator za postavljanje upijača kreće da radi sinhronizovano sa manipulatorom za izuzimanje i pokretnom trakom. Plastične posude sa upijačima se dalje kreću po pokretnoj traci i nakon dva ciklusa dolaze u poziciju za slaganje. Prva hvataljka manipulatora za slaganje (leva hvataljka) uzima samo prvi red posuda (tri posude A tipa), jer je u pitanju ABC tip slaganja posuda. Ova hvataljka prenosi posude u magacin i ostavlja ih tamo, dok druga hvataljka (desna hvataljka) preuzima drugi red posuda sa pokretne trake (tri posude B tipa), prenosi ih do magacina i slaže u posude A tipa. Za to vreme se prva hvataljka (leva hvataljka) vratila do pokretne trake i preuzela treći red posuda (tri posude C tipa), prenela ih do magacina i složila u posude B tipa. Nakon toga druga hvataljka (desna hvataljka) ponovo preuzima prvi red posuda (posude A tipa) sa pokretne trake. Sada već sva tri manipulatora i pokretna traka rade sinhronizovano sa mašinom i prate brzinu rada mašine, odnosno vreme ciklusa proizvodnje plastičnih posuda. Manipulatori rade dok radnik ne zaustavi mašinu i/ili manipulatore ili dok ne dođe do greške u radu sistema.

4.3 Analiza dobijenih rezultata

U odeljku 1 poglavlja 4, prikazan je izbor aktuatora manipulatora za mašinu za brizganje plastičnih proizvoda. Parametri koji su uticali na izbor aktuatora pomenutog manipulatora su: manipulator mora da se montira sa gornje strane mašine za brizganje, rad sa etiketama za proizvode zapremine do 2 l, cena, fleksibilnost kad je reč o radu sa različitim proizvodima, preciznost i tačnost pri pozicioniranju manipulatora u odnosu na alat mašine, vreme trajanja ciklusa proizvodnje, dimenzije aktuatora i jednostavnost konstrukcije.

U cilju izbora vrsta aktuatora koji zadovoljavaju zahteve, postavljene pred projektanta sistema, bilo je potrebno je izvršiti analize podataka i potrebne proračune za svaki od aktuatora za dati manipulator. Obzirom na to da najvažniju ulogu u ovom proizvodno-montažnom sistemu ima vertikalna osa manipulatora koja nosi vakuum kalup, izvršena je dodatna analiza uticaja servo-pneumatskog (Slika 4.107) i električnog aktuatora (Slici 4.108) na vreme trajanja ciklusa proizvodnje proizvoda brizganjem.



Slika 4.108 Uticaj električne vertikalne ose koja nosi vakuum kalup na vreme trajanja ciklusa proizvodnje proizvoda putem brizganja

Na izbor aktuatora, servo-pneumatskog ili električnog, za vertikalnu osu koja nosi vakuum kalup manipulatora za mašinu za brizganje, presudno je uticao zahtev kupca koji se odnosi na cenu manipulatora. Uzimajući u obzir da je razlika u vremenu trajanja ciklusa proizvodnje, upotrebom ove dve vrste aktuatora, veoma mala (0,5 s/ciklusu) i da cena električne ose efektivnog hoda 650 mm sa motorom i njegovim kontrolerom, kablovima za motor i enkoder iznosi približno 1,3 % više od cene pneumatskog cilindra

sa enkoderom efektivnog hoda 650 mm, proporcionalnim razvodnikom i kontrolerom sa kablovima za komunikaciju koji bi se koristili za vertikalnu osu koja nosi vakuum kalup, izabran je servo-pneumatski aktuator.

Na osnovu analiza parametara (opisano u odeljaku 4.1.2), koji utiču na ispunjenje prethodno navedenih zahteva koji se odnose na manipulator za postavljanje etiketa u ženski deo alata mašine za brizganje, izvršen je konačan izbor sledećih aktuatora:

- servo-pneumatski cilindar (DGPIL cilindar firme FESTO) koji služi za vertikalno kretanje vakuum kalupa,
- pneumatski cilindar koji nosi vertikalnu osu i omogućava njeno horizontalno kretanje (DNC 40 pneumatski cilindar firme FESTO),
- pneumatski cilindar koji služi za vertikalno kretanje vakuum hvataljke (DFM pneumatski cilindar firme FESTO),
- pneumatski cilindar koji nosi vertikalni cilindar sa vakuum hvataljkom i omogućava njeno horizontalno kretanje (DNC 32 pneumatski cilindar firme FESTO) i
- cilindri za namotavanje etikete oko vakuum kalupa (ADN pneumatski cilindri firme FESTO).

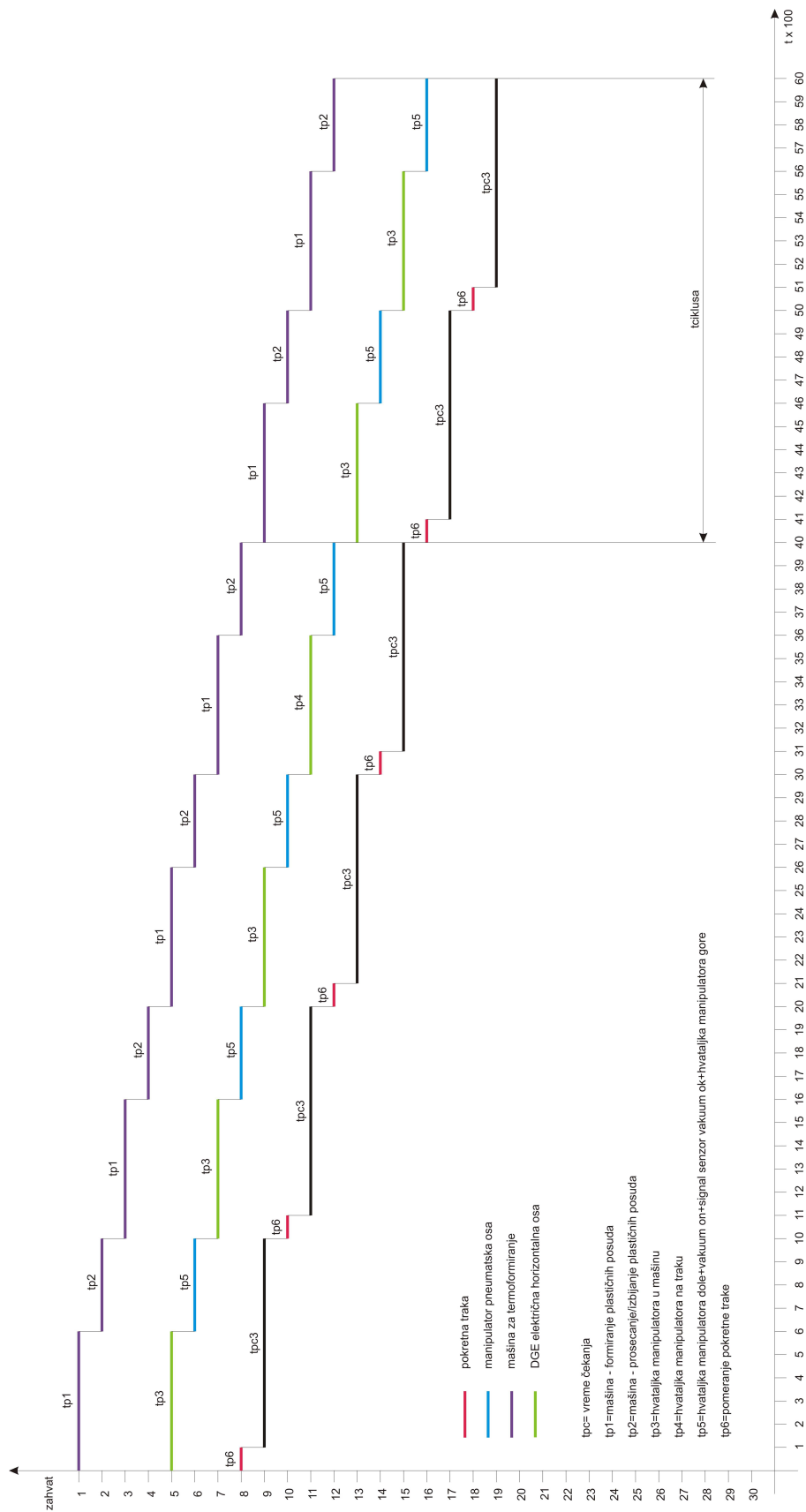
U odeljku 2 poglavlja 4, prikazan je izbor aktuatora manipulatora za mašinu za termoformiranje, koji se sastoji od tri dela: manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude i manipulatora za slaganje plastičnih posuda.

Parametri koji su uticali na izbor aktuatora manipulatora za mašinu za termoformiranje su: vreme ciklusa proizvodnje, fleksibilnost kad je reč o različitim proizvodima, masovna proizvodnja-minimalno održavanje, jednostavna konstrukcija, manipulatori moraju da se montiraju pored mašine za termoformiranje, jednostavno rukovanje manipulatorima.

U cilju izbora vrsta aktuatora, za manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, koji zadovoljavaju zahteve postavljene pred projektanta sistema bilo je potrebno je izvršiti analize podataka i potrebne proračune za svaki od aktuatora za dati manipulator (opisano u odeljaku 4.2.2). Poslednji korak pre konačnog izbora svih aktuatora za manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, predstavlja analiza odnosa vremena trajanja ciklusa mašine i vremena trajanja ciklusa manipulatora, za izabrane aktuatore (Slika 4.109). Sa slike se vidi da je rad manipulatora usklađen sa radom mašine, jer je vreme čekanja mašine jednako nuli. Takođe se vidi da ukupno vreme ciklusa iznosi 2 s što zadovoljava zahteve postavljene pred projektanta.

Na osnovu urađenih analiza vezanih za ispunjenje prethodno navedenih zahteva koji se odnose na manipulator za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine za termoformiranje, izvršen je konačan izbor sledećih aktuatora:

- električna osa koji služi za horizontalno kretanje (DGE 40-2500 osa sa kaišem firme FESTO) i
- cilindar koji služi za vertikalno kretanje hvataljke manipulatora (DNC 40-250 pneumatski cilindar firme FESTO).

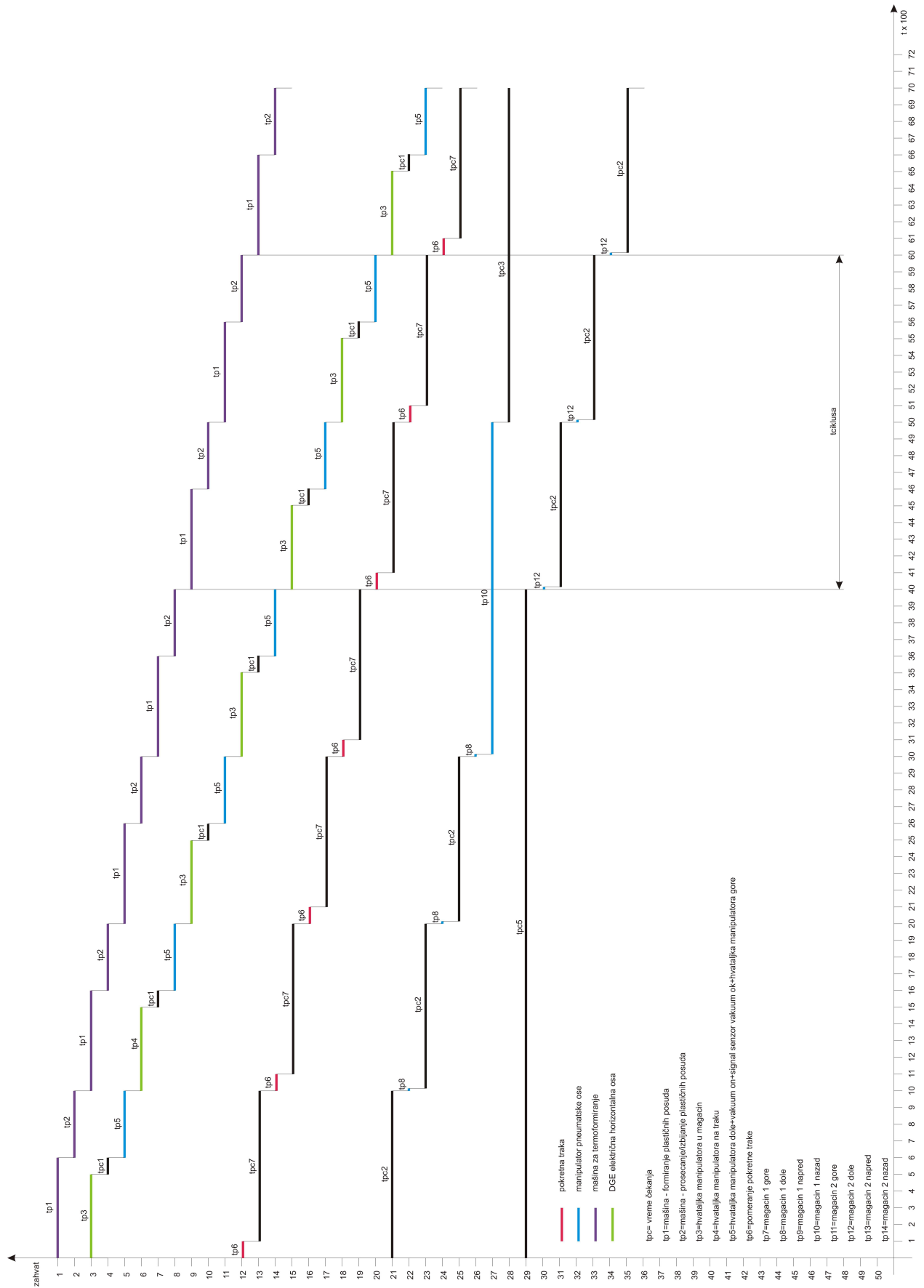


Slika 4.109 Poređenje vremena trajanja ciklusa mašine i vremena trajanja ciklusa manipulatora za izuzimanje plastičnih posuda iz mašine

U cilju izbora vrsta aktuatora, za manipulator za izuzimanje i postavljanje upijača u plastične posude, koji zadovoljavaju zahteve koji su dati projektantu sistema, bilo je potrebno izvršiti analizu podataka i potrebne proračune za svaki od aktuatora za dati manipulator (opisano u odeljaku 4.2.3). Poslednji korak pre konačnog izbora aktuatora za manipulator za postavljanje upijača u plastične posude je analiza vremena trajanja ciklusa mašine i vremena trajanja ciklusa manipulatora za postavljanje upijača (Slika 4.110). Sa slike se vidi da je rad manipulatora, sa izabranim aktuatorima, usklađen sa radom mašine jer je vreme čekanja mašine jednako nuli, a takođe se vidi da ukupno vreme ciklusa iznosi 2 s što zadovoljava zahteve postavljene pred projektanta.

Na osnovu urađenih analiza vezanih za ispunjenje prethodno navedenih zahteva za manipulator za postavljanje upijača u plastične posude, izabrani su sledeći aktuatori:

- električna osa koji služi za horizontalno kretanje (DGE 63-2000 osa sa kaišem firme FESTO),
- pneumatski cilindar koji služi za vertikalno kretanje hvataljke manipulatora (DNC 40-250 pneumatski cilindar firme FESTO),
- cilindri koji služe za vertikalno kretanje magacina manipulatora (DNC 40-500 pneumatski cilindri firme FESTO) i
- cilindri koji služe za horizontalno kretanje magacina manipulatora (DNC 32-600 pneumatski cilindri firme FESTO).



Slika 4.110 Poređenje vremena trajanja ciklusa mašine i vremena trajanja ciklusa manipulatora za postavljanje upijača u plastične posude

U cilju izbora vrsta aktuatora, za manipulator za slaganje plastičnih posuda, koji zadovoljavaju zahteve postavljene pred projektanta sistema, bilo je potrebno je izvršiti analize podataka i potrebne proračune za svaki od aktuatora za dati manipulator (opisano u odeljku 4.2.5). Analiza vremena trajanja ciklusa mašine i vremena trajanja ciklusa manipulatora za slaganje plastičnih posuda (Slika 4.111) je izvršena u cilju konačne provere da li izabrani aktuatori zadovoljavaju najvažniji zahtev kupca, a to je da vreme ciklusa mašine mora biti manje od 3 s. Sa slike se vidi da je vreme čekanja mašine jednako nuli i da je rad manipulatora, sa izabranim aktuatorima, usklađen sa radom mašine. Ukupno vreme trajanja ciklusa koje iznosi 2 s, takođe, zadovoljava zahteve postavljene pred projektanta.

Na osnovu svih prethodno urađenih analiza prvenstveno vezanih za vreme trajanja proizvodnog ciklusa za dati manipulator izabrani su sledeći aktuatori:

- dve DGE 25-750-ZR-RF električne ose firme FESTO koje služe za horizontalno kretanje vertikalnih osa sa hvataljkama manipulatora,
- dve DGE 25-350-ZR-RF električne ose firme FESTO koje služe za vertikalno kretanje hvataljki manipulatora,
- DNC 32-300 pneumatski cilindar firme FESTO za horizontalno kretanje magacina manipulatora i
- DNC 40-600 pneumatski cilindar firme FESTO za vertikalno kretanje magacina manipulatora.

prilikom izbora aktuatora uzme u obzir samo određene tehničke karakteristike, na taj način zanemari ekonomsku opravdanosti datog izbora. Pored toga, u obzir se ne uzima i procenjeni životni vek samog aktuatora, uslovi rada, održavanja i niz drugih parametara koji su od ključne važnosti za celokupan rada sistema u koju su oni ugradjeni. Upravo zbog toga, projektant prilikom izbora aktuatora uvek mora da ima u vidu parametare korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje.

5 ZAKLJUČAK

U cilju izbora aktuatora za proizvodni ili montažni proces, potrebno je definisati koji od dostupnih aktuatora je najpogodniji za njihovu realizaciju. Pri izboru aktuatora treba uzeti u obzir veći broj parametara, pri čemu se kao najvažniji mogu izdvojiti: vreme trajanja ciklusa proizvodnje/montaže, tačnost pozicioniranja, pouzdanost, brzinu kretanja i cenu aktuatora. Pored ovih parametara, pri izboru aktuatora treba izabrati i komponente sistema bez kojih aktuator ne može da ostvari željeno kretanje, a to su: upravljački sistem (kontroler), senzori pozicije, i prenosni mehanizam. Najveći uticaj na vrednosti navedenih parametara i karakteristike kontrolera i senzora ima maksimalno opterećenje aktuatora za vreme njegovog rada. Pored toga, treba uzeti u obzir i dodatne parametre kao što su inercija, spoljna opterećenja i trenje, koji mogu da variraju u funkciji vremena.

Ključne faze koje projektant sistema treba da prođe pri izboru adekvatnog aktuatora za dati proizvodni ili montažni sistem su: prikupljanje podataka, dimenzionisanje sistema, identifikacija sistema koji će se koristiti, izbor komponenti sistema, verifikacija i testiranje.

Prikupljanje podataka o sistemu obuhvata zahteve kupca koji su postavljeni pred projektanta sistema koji se odnose na način funkcionisanja, vreme trajanja ciklusa koje sistem treba da ostvari, troškove, dimenzije radnog prostora, dizajn, komunikaciju sa nekim drugim sistemima, obradu grešaka, tehnološki postupak i dr.

Dimenzionisanje sistema zavisi od: dimenzija radnog prostora koji sistem treba da zauzima, mase radnog predmeta koji aktuatori treba da pomeraju, načina montaže aktuatora i dimenzija drugih sistema (npr. mašina) za koji se manipulatori projektuju.

Identifikacija sistema se odnosi na zahteve koje treba razmotriti pre izbora vrste aktuatora, kontrolera, senzora i prenosnog mehanizma koji će se koristiti za dati sistem. Ovde je potrebno uzeti u obzir sledeće parametre: masu radnog predmeta, maksimalnu brzinu, ubrzanje i usporenje, profil kretanja, dejstvo spoljnih sila, faktore okruženja (temperatura, bezbednost i rizik), zahteve koji se odnose na snabdevanje električnom energijom ili vazduhom pod pritiskom, troškove rada i održavanja sistema i kompatibilnost sa postojećim sistemima.

Izbor komponenti sistema se vrši uz pomoć ranije prikupljenih podataka i izvršenih proračuna koji se odnose na masu radnih predmeta koje aktuatori treba da pomeraju. Pri izboru komponenti treba obratiti pažnju na karakteristike aktuatora koji mogu da se koriste u datom sistemu. Električni motori ne zagađuju okolinu i mogu da ostvare veliku tačnost pozicioniranja sa odgovarajućim upravljanjem (enkoder i upravljački kontroler za motor). Suprotno od električnih aktuatora, pneumatski sistemi ne mogu da ostvare veliku tačnost pozicioniranja za operacije sa kontinualnim kretanjem. Problem kod hidrauličnih sistema je upotreba ulja pod visokim pritiskom, što dovodi do prljanja komponenti i okoline hidrauličnog sistema, a takođe osoblje mora biti posebno obučeno za rad sa održavanjem ovih sistema, jer u slučaju nestručnog rukovanja može doći do težih povreda radnika. Hidraulični sistemi mogu da ostvare veću snagu, od električnih aktuatora, na maloj površini. Za upravljanje radom hidrauličnog sistema je potrebna hidraulična pumpa pogonjena elektromotorom. Klasični hidraulični aktuatori

nemaju veliku preciznost kao ni pneumatski aktuatori, ali upotrebom proporcionalne pneumatike i hidraulike može da se ostvari bolja preciznost pozicioniranja. Problem je u tome što su ova rešenja skuplja i manje pouzdana od električnih pojačavača i kontrolera. (S. K. Saha, 2008)

Pre nabavke komponenti sistema potrebno je izvršiti proveru da li se izabrani aktuatori i njihove komponente uklapaju u definisanom prostoru, što se može jednostavno uraditi izradom 3D modela celokupnog sistema.

Testiranje sistema treba da je poslednji korak pri izboru aktuatora i upravljačkih komponenti sistema, ali u nekim slučajevima mogu da se jave nepredviđene situacije, pa je potrebno izvršiti dodatne modifikacije pre konačnog puštanja sistema u rad.

U ovom radu su prikazane dve studije slučaja koje služe za proveru predložene metode za izbor aktuatora, za dva različita proizvodno-montažna procesa: manipulator za mašinu za brizganje plastičnih proizvoda i manipulatori za mašinu za termoformiranje. Nakon izvršenih analiza, proračuna i upotrebe dostupnih softverskih alata za izbor aktuatora i njihovog upravljanja, potvrđene su sve hipoteze koje se postavljene na početku istraživanja.

Upotrebom softvera koji postoje na tržištu, izbor vrste i tipa aktuatora i upravljanja za te aktuatore, je u velikoj meri pojednostavljen. Projektant i dalje mora da poznaje proizvodni program svakog proizvođača, da bi znao kog proizvođača opreme uopšte može da izabere za datu aplikaciju (da li taj proizvođač ima u proizvodnom programu npr. AC motore bez četkica i koje su njihove karakteristike). Takođe, baze podataka se obnavljaju na npr. godišnjem nivou, pa se sve nove komponente koje proizvođač nudi na tržištu ne nalaze u bazi podataka datog softvera. Najveći problem je tome što nijedan proizvođač nema jedinstven softver za izbor vrste aktuatora iz svog proizvodnog programa, već postoji jedan softver za izbor pneumatskih aktuatora, drugi za izbor servo pneumatskih aktuatora, treći za hidraulične aktuatore, četvrti za električne, itd.

Najvažnji doprinosi ove disertacije su:

- Određeni su parametri korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa proizvodnje, koji omogućavaju jednostavan izbor odgovarajućeg aktuatora za određeni proizvodni/montažni sistem.
- Određeni su parametri aktuatora, koji zavise od zahteva sistema u koji se ugrađuju. Ti parametri se odnose na dizajn, performanse i način funkcionisanja sistema i ključni su za izbor odgovarajućeg aktuatora za određeni proizvodni/montažni sistem.
- Urađene su dve studije slučajeva u kojima je potvrđena metoda (postupak) za određivanje korelacije izbora aktuatora i vremena ciklusa i određivanje parametara aktuatora, koji zavise od zahteva sistema u koji se ugrađuju.

Dalji pravac istraživanja bi bio izrada jedinstvenog softvera koji bi obuhvatao sve parametre (navedene u poglavljima 3, 4 i 5 ovog rada) potrebne za izbor vrste i tipa aktuatora za proizvoljnu aplikaciju. Baza podataka za dati softver bi za početak trebalo da se formira od podataka najznačajnijih svetskih proizvođača aktuatora i druge opreme koja je bitna za funkcionisanje izabranih aktuatora. Osvežavanje podataka bi automatski vršili proizvođači opreme u slučajevima izmena karakteristika postojećeg

opreme i u slučajevima novih proizvoda. Naravno, softver bi omogućavao i dodavanje drugih proizvođača, kao i brisanje onih proizvoda koji se više ne proizvode. Pored toga, softver bi imao i bazu studije slučajeva, koja bi dodatno olakšavala donošenje odluka projektantima. Primenom različitih tehnika veštačke inteligencije (ekspertni sistemi, fazi logika, neuronske mreže, genetski algoritmi, ...) softver bi služio kao kvalitetna podrška odlučivanju projektantima sistema.

6 LITERATURA

1. H. Meixner, R. Kobler, "Uvod u Pneumatiku", FTN, Novi Sad, 1972.
2. Radoslav Korbar, "Pneumatika i hidraulika", Veleučilište u Karlovcu, 2007.
3. Elena Ponomareva, "Hydraulic and pneumatic actuators and their application areas", Course 5 Mechatronics: Foundations and applications, 2006.
4. Elisabeth Eitel, "Pneumatic actuation basics", Mechatronic-Design, 2007.
5. W. Backé, "The application of servo-pneumatic drives for flexible mechanical handling techniques", R&D in the F.R.G., Vol. 2, Izdanje 1, str. 45–56, 1986.
6. Andrew Parr, "Hydraulics and pneumatics: A technician's and engineer's guide", Elsevier Ltd., 2006.
7. Tan Kok Kiong, Andi Sudjana Putra, "Drives and control for industrial automation", Springer, Singapore, 2011.
8. Eugeny Pashkov, Yuriy Osinskiy, Alexandr Chetviorkin, "Electropneumatics in manufacturing processes", SevNTU, Sevastopol, 2004.
9. F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, "Fundamentals of automation technology: Technical book", Festo Didactic GmbH & Co. KG, Germany, 2008.
10. Peng Zhang, "Industrial control technology: A handbook for engineers and researchers", William Andrew Inc., Norwich, NY, 2008.
11. Brian Nesbitt, "Valves manual international: Handbook of valves and actuators", Elsevier Science, 2007.
12. S. Ilango, V. Soundararajan, "Introduction to hydraulics and pneumatics", Prentice - Hall, New Delhi, 2007.
13. Dr. Njerš Jožef, "Pneumatika", Viša tehnička škola, Subotica, 2004.
14. J. Petrić, Ž. Šitum, M. Cipek, "Uvod u pneumatiku i hidrauliku", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
15. Antony Barber, "Pneumatic Handbook", Elsevier Science and Technology Books, 8'th Edition, 1997.
16. David W. Pessen, "Industrial automation circuit design and components", Wiley-Interscience, 1989.
17. Jasmin Velagić, "Osnove aktuatora", Elektrotehnički fakultet, Sarajevo, 2012.
18. H. Funacubo, "Actuators for Control (Precision Machinery and Robotics)", CRC Press, 1991.
19. H. Janosha, "Actuators: Basics and Applications", Springer, Verlag, 2004.
20. Jihong Wang, Junsheng Pu, Philip Moore, "A practical control strategy for servo-pneumatic actuator systems", Control Engineering Practice 7 (1999) 1483-1488, Elsevier Science Ltd, 1999.

21. Michael Brian Thomas M.S., "Advanced servo control of a pneumatic actuator", Dissertation, The Ohio State University, 2003.
22. Peter Beater, "Pneumatic drives: System design, Modelling and Control", Springer, Berlin Heidelberg New York, 2007.
23. Škrinjar D., Baranovski I., Dragičević D., Stankovski S., Ostojić G., Miladinović LJ., "Development of a didactic set of pneumatics and servo pneumatics in engineering education", Transactions of FAMENA XXXVI-3 (2012), ISSN 1333-1124, str. 69-78.
24. Škrinjar D., Dragičević D., Stankovski S., Ostojić G., Sabolč H., "Didactic model of servo pneumatic system", XV Scientific conference on industrial systems, Novi Sad, 14 - 16 september, 2011, str. 156-159.
25. Stankovski S., Tarjan L., Škrinjar D., Ostojić G., Šenk I., "Using a Didactic Manipulator in Mechatronics and Industrial Engineering Courses", IEEE Transactions on education, 2010, Broj X, ISSN 0018-9359.
26. Stankovski S., Ostojić G., Tarjan L., Škrinjar D., Lazarević M.: IML robot grasping process improvement, Irenian Journal of Science & Technology, Transaction b, 2010, ISSN 1028-6284.
27. V. Savić, "Osnovi uljne hidraulike", IKOS, Zenica, 1991.
28. Vasilije N. Kelić, "Hidroprenosnici", Naučna Knjiga, Beograd, 1989.
29. T. J. E. Miller, "Brushless permanent - magnet and reluctance motor drives", Oxford science publications, 1989.
30. Calin Rusu, Szabo Eniko, "PMSM axis drive controller for the robotic applications", Technical University of Cluj, Faculty of Electrical Engineering, Sixth International conference of electromechanical and power systems, Moldova, 2007.
31. T. Sebastian, G. Slemon, M. Rahman, "Modeling of permanent magnet synchronous motors", Magnetics, IEEE Transactions on, vol.22, pp.1069-1071, 1986.
32. Riazollah Firoozian, "Servo motors and industrial control theory", Springer, 2009.
33. S. R. Deb, Sankha Deb, "Robotics Technology and Flexible Automation", 2009.
34. Baldeo electric company, "Baldor motors and drives", Arkansas, 1994.
35. Slobodan N. Vukosavić, "Digital Control of Electrical Drives", Springer, 2007.
36. S.K.Saha, "Introduction to robotics", Tata McGraw-Hill, 2008.
37. Neven Srb, "Elektromotori i elektromotorni pogoni", Graphis Zagreb, 2007.
38. T. Bajd, M. Mihelj, J. Lenarčič, A. Stanovnik, M. Munih, "Robotics", Springer, 2010.
39. Enrique L. Carrillo Arroyo, "Modeling and simulation of permanent magnet synchronous motor drive system", University of Puerto Rico, 2006.
40. Jacek F. Gieras, Mitchell Wing, "Permanent magnet motor technology: Design and applications", Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker Inc., 2002.
41. Godfrey Onwubolu, "Mechatronics: Principles and Applications", Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005.

42. Miller, T. J. E., "Brushless permanent-magnet and reluctance motor drives", Oxford Science Publications, Oxford, UK, 1989.
43. Richard Crowder, "Electric Drives and Electromechanical Systems", Elsevier Ltd, Oxford, UK, 2006.
44. Wilfred Voss, "A Comperhensible Guide To Servo Motor Sizing", Coperhill Technologies Corporation, Greenfield, Massachusetts USA, 2007.
45. Mark Štulrajter, Valeria Hrabovcova, Marek Franko, "Permanent magnets synchronous motor control theory", Journal of Electrical Engineering, Vol.58, NO.2, 79-84, 2007.
46. Joaquin Ocampo, "Selecting A Motor and Drive Architecture", Journal Design News, 2010.
47. Ritchy Ye, "Industrial Motor Control Part 2: Introduction to ACIM and PMSM Motor Control", Freescale Semiconductor Inc., 2009
48. Matt Pelletier, "Servo Motor Sizing Concepts", Journal Design News, 2009.
49. Mitchell Wing, Jacek F. Gieras, "Permanent Magnet Motor Technology: Design and Applications", Second Edition Revised and Expanded, Marcel Dekker Inc., New York, 2002.
50. H. Harry Asada, "Introduction to robotics: Lecture Notes", Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
51. Rochdi Merzouki, Arun Kumar Samantaray, Pushparaj Mani Pathak, Belkacem Ould Bouamama, "Intelligent Mechatronic Systems: Modeling, Control and Diagnosis", Springer, London, 2013.
52. El-Kébir Boukas, Fouad M. Al-Sunni, "Mechatronic Systems: Analysis, Design and Implementation", Springer, Berlin, 2011.
53. D. Zelenović, I. Ćosić, "Montažni sistemi", IP Nauka, Beograd, 1991.
54. D. Zelenović, I.Ćosić, R.Maksimović, "Projektovanje proizvodnih sistema: Tokovi materijala", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.
55. D. Zelenović, "Projektovanje proizvodnih sistema (The Design of Production Systems)", Četvrto prerađeno i dopunjeno izdanje, Naučna Knjiga, Beograd, 1987.
56. Austin Hughes, "Electric Motor and Drives: Fundamentals, Types and Applications", Elsevier Ltd, Third Edition, Oxford, 2006.
57. Ramu Krishnan, "Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives", CRC Press, Boca Raton, Florida, 2010.
58. Rick Howe, "Selecting a Pneumatic Cylinder – 5 tips Maximize Perfomance", The Knotts Company, 2012.
59. Matt Pelletier, " Servo Motor Sizing Concepts", Design News, 2009.

60. Sheila Campbell, "Guidelines for selecting pneumatic cylinders", Penton Media Inc, 2011.