

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Marko Miroslav Bača

Ispitni uređaj umaralice s pneumatskim
pogonom

Zagreb, 2021.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za strojarsku automatiku, Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava i u Laboratoriju za ispitivanje mehaničkih svojstava, Katedre za materijale i tribologiju, Zavoda za materijale, pod vodstvom prof. dr. sc. Željka Šituma i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2020./2021.

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje
A/D	Analogno digitalni pretvornik
PID	Proporcionalno-integracijsko-derivacijski regulator
PWM	Pulsno širinska modulacija (<i>engl. Pulse-width modulation</i>)
UART	Elektronički uređaj koji oblikuje i nadzire podatke (<i>engl. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>)

SADRŽAJ

POPIS KRATICA	I
SADRŽAJ	II
POPIS SLIKA	IV
POPIS OZNAKA	V
1. UVOD	1
2. OSNOVE MEHANIČKIH SVOJSTAVA MATERIJALA	2
2.1. Ispitivanje umora materijala	3
2.2. Osnovne karakteristike pneumatskog sustava	4
3. SIMULACIJSKI MODEL SUSTAVA	5
3.1. Komponente sustava	5
3.2. Simulacijski program	6
3.2.1. Model kompresora i pripreme grupe	7
3.2.2. Proporcionalni tlačni regulator	8
3.2.3. Model dvoradnog cilindra	10
3.3. Simulacijski model umaralice	11
4. PROJEKTIRANJE SUSTAVA	14
4.1. Projektiranje nosive konstrukcije sustava	14
4.2. Projektiranje pneumatskog dijela sustava	16
4.2.1. Pneumatski cilindar	16
4.2.2. Proporcionalni tlačni regulator	18
4.2.3. Priprema grupa	19
4.2.4. Pneumatska shema sustava	20
4.2.5. 3D model projektiranog pneumatskog sustava	21
4.3. Projektiranje električnog dijela sustava	22
4.3.1. Upravljačka jedinica	22
4.3.2. Karakteristike odabrane upravljačke jedinice	23
4.3.3. Senzor sile	24
4.3.4. Mjerno pojačalo	25

4.3.5. HMI (eng. Human Machine Interface).....	26
4.3.6. Programsko sučelje HMI.....	26
4.4. 3D model projektiranog sustava	28
5. EKSPERIMENTALNI POSTAV.....	29
6. ZAKLJUČAK.....	30
Zahvala	31
Literatura.....	32
Sažetak.....	33
Summary.....	34
Životopis.....	35

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz prijelomne površine [2].....	2
Slika 2.	Tipovi promjenljivog naprezanja [2].....	3
Slika 3.	Wöhlerov dijagram [2]	4
Slika 4.	Polazna simulacijska shema	5
Slika 5.	Konačna simulacijska shema.....	6
Slika 6.	Pojednostavljeni model kompresora i pripremne grupe	7
Slika 7.	Model proporcionalnog tlačnog regulatora	9
Slika 8.	Odzivi modela proporcionalnog tlačnog ventila	10
Slika 9.	Model dvoradnog cilindra	11
Slika 10.	Model sustava umaralice	12
Slika 11.	Odziv sustava na odskočnu funkciju.....	12
Slika 12.	Odziv sustava na zadane pobudne funkcije.....	13
Slika 14.	Aluminijski profil [6]	14
Slika 13.	Kutni spojni element [6].....	14
Slika 15.	3D model nosive konstrukcije sustava	15
Slika 16.	Teorijska sila cilindra [7].....	16
Slika 17.	Područje rada modela cilindra [7]	17
Slika 18.	ITV- proporcionalni tlačni regulator [7].....	18
Slika 19.	Karakteristika ITV 205X serije [7]	19
Slika 20.	3D model pripremne grupe [7]	19
Slika 21.	Shema pneumatskog kruga.....	20
Slika 22.	Projektirani 3D model s pneumatskim sustavom.....	21
Slika 23.	Controllino Maxi Power Automation [8]	23
Slika 24.	Senzor sile HBM-U10M/12.5kN [9].....	24
Slika 25.	Shema spoja senzora [9].....	24
Slika 26.	Mjerno pojačalo BM 40 [9]	25
Slika 27.	Blok dijagram senzora [9]	25
Slika 28.	HMI 4DSystems SK90-DT [10].....	26
Slika 29.	Programsko okruženje.....	27
Slika 30.	Primjer programiranja izbornika.....	27
Slika 31.	3D model projektiranog sustava - pogled 1.....	28
Slika 32.	3D model projektiranog sustava - pogled 2.....	28

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
f	Hz	Frekvencija
R_d	N/mm ²	Dinamička izdržljivost
p_a	Pa	Atmosferski tlak
T	K	Temperatura okoline
F	N	Sila na klip cilindra
p	Pa	Tlak u komorama cilindra
A	mm ²	Površina klipa cilindra
d_i	mm	Minimalni promjer klipa cilindra
d	mm	Promjer klipa cilindra

1. UVOD

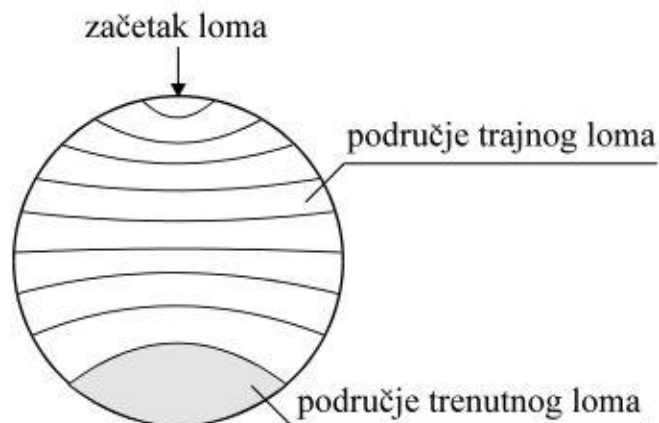
Težnja svih inženjera koja seže još iz daleke povijesti je stvaranje laganih konstrukcija i proizvoda, kako bi se ostvarila ušteda materijala i ušteda energije ukoliko govorimo o gibajućim elementima zbog dodatne mase koju je potrebno ubrzati, a potom i kočiti, što čini gubitak korisne energije. Upravo ta težnja za smanjivanjem materijala potrebnog za izradu konstrukcije dovela je do značajnog napretka u načinima konstruiranja. Međutim, što nam znači ušteda materijala ukoliko proizvod prije kraja svog životnog ciklusa doživi lom te postane neupotrebljiv. Tada sav trud oko uštede materijala i energije propada te je potrebno izraditi novi element kako bi se zadovoljio traženi životni vijek nekog proizvoda. Za sprečavanje takvih pojava ulažu se veliki naponi u smisluispitivanja mehaničkih svojstava materijala, dijelom statičkih, a dijelom dinamičkih ispitivanja. Takvim ispitivanjima dobivamo potrebne parametre i koeficijente za proračune konstrukcije i proizvoda kako bi načinili komponente što manjih dimenzija uz ostvarivanje zahtjeva za traženi životni vijek.

Ispitivanje umaranja jedan je od osnovnih dinamičkih ispitivanja mehaničkih svojstava materijala. Ispitivanje se provodi na ispitnim uređajima umaralicama. Umaralice su najčešće pogonjene hidraulički ili servohidraulički, kako bi se na jednom uređaju mogao izvršiti veći broj ispitivanja. Takvi uređaji najčešće ostvaruju vrlo velike sile (reda veličine 100 000 N), a same dimenzije uređaja su vrlo velike. U današnje vrijeme, kada se sve više proizvoda izrađuje od polimernih ili metalnih limova nije potrebno koristiti uređaje koji imaju mogućnost ostvarenja visokih iznosa sile. Upravo na tome počiva ovaj rad, u kojem je cilj izrada pneumatskog sustava umaralice. Pneumatski sustavi mogu ostvariti potrebne sile, zbog upotrebe stlačenog zraka kao fluida, nema potrebe za povratnim vodovima i velikim spremnicima fluida te vrlo skupim i kompleksnim uređajima za regulaciju, što su glavni nedostaci hidraulike. Upravo korištenje pneumatike omogućava ostvarivanje tražene sile uz slijeđenje zadane dinamike, uz to cijeli sustav bit će značajno manjih dimenzija pogodan za stolnu i mobilnu primjenu u laboratorijima za ispitivanje dinamičkih svojstava materijala.

2. OSNOVE MEHANIČKIH SVOJSTAVA MATERIJALA

Mehanička svojstva materijala imaju poseban značaj budući da se na njihovoj osnovi radi dimenzijski proračun konstrukcija [1]. Kako relacija „strukturno stanje - mehanička svojstva“ vrijedi isključivo za idealne tvari, u realnim tvarima su prisutne strukturne nepravilnosti koje nije moguće egzaktno uočiti i u konačnici uključiti u proračun. Upravo zbog toga mehanička svojstva realnih materijala moguće je ispitati isključivo eksperimentalno. Osnovna podjela mehaničkih ispitivanja je shodno promjeni napreznja na statičko i dinamičko ispitivanje. Prilikom statičkog ispitivanja iznos napreznja tijekom ispitivanja je konstantan ili je promjena napreznja mala, dok se kod dinamičkog ispitivanja promjena napreznja tijekom ispitivanja ciklički mijenja i ta promjena je uobičajeno periodičkog karaktera.

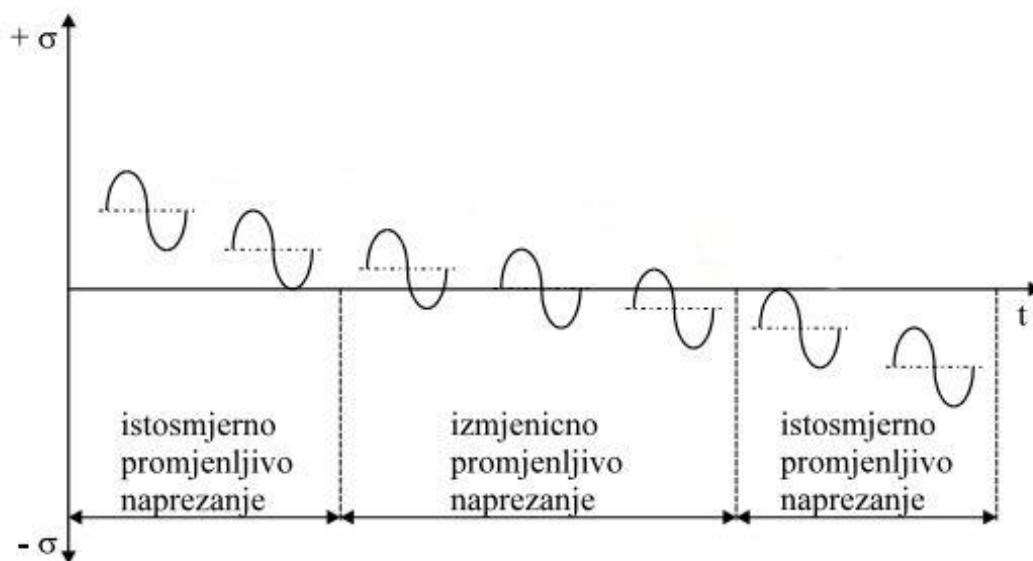
Umor materijala je pojava kod koje dolazi do loma uslijed napreznja nižeg od granice razvlačenja materijala, postupnim razaranjem materijala zbog dugotrajnog dinamičkog napreznja. Svrha ispitivanja dinamičke izdržljivosti materijala je određivanje ponašanja materijala uslijed djelovanja dugotrajnog promjenljivog opterećenja. Svojstvo otpornosti pojave umora materijala nazivamo dinamička izdržljivost. Podaci dobiveni eksperimentalno izrazito su važni u proračunima konstrukcija koje su opterećene dinamičkim napreznjem. Prilikom dimenzioniranja dijelova konstrukcije ne koriste se podaci dobiveni statičkim ispitivanjem, jer oni nisu dovoljno točni ili mogu biti i sasvim netočni [1].



Slika 1. Prikaz prijelomne površine [2]

2.1. Ispitivanje umora materijala

Ovisno o smjeru naprezanja osnovna podjela je na istosmjerno promjenljivo naprezanje koje može biti u području tlaka ili vlaka. Zatim izmjenično promjenljivo naprezanje koje u jednom dijelu svoga ciklusa prolazi kroz apscisu te mijenja svoj smjer, što je vidljivo na slici [Slika 2.].



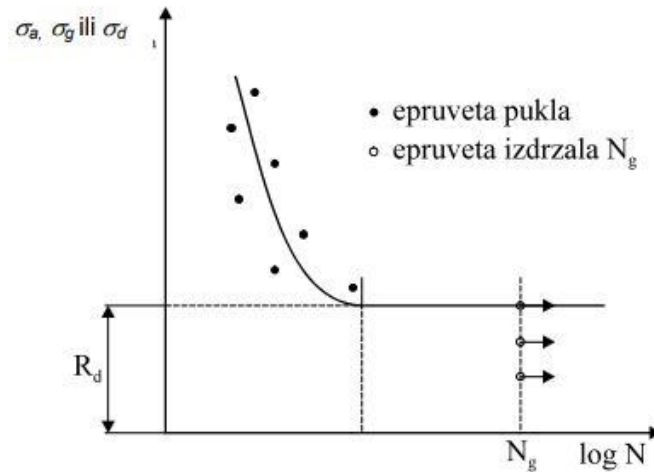
Slika 2. Tipovi promjenljivog naprezanja [2]

Podjela ispitivanja sukladno frekvenciji promjene opterećenja [1]:

- Niskofrekventno $f < 5$ Hz
- Srednjefrekventno $5 \text{ Hz} < f < 30$ Hz
- Visokofrekventno $f > 30$ Hz

Pri ispitivanju na umaralicama nastoje se simulirati uvjeti što sličniji uvjetima u eksploataciji. Moderni ispitni sustavi omogućuju različite oblike dinamičkog naprezanja. Za određivanje dinamičke izdržljivosti provodi se Wöhlerov pokus, izabire se jedan od tipova promjenljivog naprezanja te se za odabrani raspon naprezanja određenih amplitudom ili gornjim naprežanjem istovremeno ispituje 6 do 10 epruveta koje moraju biti izrađene u skladu s normom. Rezultate ispitivanja prikazujemo Wöhlerovim dijagramom [Slika 3.] u kojem

označavamo vrijednosti naprezanja i broj ciklusa koje su epruvete izdržale prije puknuća. Dinamička izdržljivost R_d označava najveće dinamičko naprezanje koje epruvete mogu izdržati bez pojave loma nakon praktički beskonačnog broja ciklusa. Beskonačni broj ciklusa predstavlja granični broj ciklusa koji su različiti za različite tipove materijala [1], npr. za čelike $N_g = 10^7$ titraja.



Slika 3. Wöhlerov dijagram [2]

2.2. Osnovne karakteristike pneumatskog sustava

Iz osnovnog uvoda o mehaničkim svojstvima materijala i načinima ispitivanja prikazanim u ovom poglavlju, postavljamo osnovne zahtjeve na sustav pneumatske umaralice koji moraju biti zadovoljeni kako bi projektirani sustav mogao provoditi ispitivanja materijala.

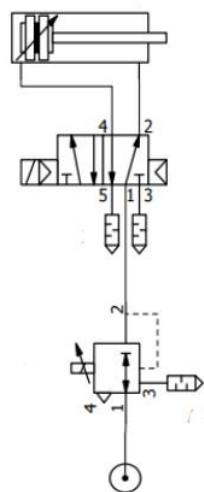
Karakteristike sustava su:

- Precizna regulacija sile u rasponu od 0 do 10 000 N u zatvorenom regulacijskom krugu putem mjernog senzora i mjernog pojačala visoke razine točnosti
- Rad u uvjetima istosmjernog promjenjivog i izmjeničnog promjenjivog naprezanja
- Praćenje različitih standardnih referentnih signala te stohastičkih signala snimljenih iz eksploatacijskih uvjeta
- Dugi rad za postizanje traženog broja ciklusa
- Konstrukcija uređaja mora omogućavati spajanje različitih prihvatnih uređaja, te imati mogućnost regulacije visine ovisno o zadanom ispitnom uzorku.

3. SIMULACIJSKI MODEL SUSTAVA

3.1. Komponente sustava

Kreiranjem simulacijskog modela pneumatske umaralice u odgovarajućem računalnom programu, istražujemo osnovne karakteristike i ponašanje sustava kao cjeline, regulatora i svih ostalih komponenti, koje su potrebne prije ugradnje komponenti na eksperimentalnom postavu. Iz karakteristika koje sustav mora ispunjavati, zaključujemo da je za ispitivanje nisko elastičnih materijala ili relativno tankih polimernih materijala, potreban cilindar s mogućnošću samostalnog povratka klipa. Kako u tim slučajevima sam ispitni uzorak unosi malen iznos energije te uz gubitke unutar samih ispitnih uzoraka sila reakcije prilikom popuštanja opterećenja nije dovoljna za povratni pomak klipa cilindra. Tim zahtjevima odgovara dvoradni cilindar te jednoradni cilindar s oprugom. Iz dinamičkih zahtjeva vidljivo je da ispitni sustav mora biti u mogućnosti pratiti širok spektar referentnih opterećenja koja se kontinuirano mogu opisati jednostavnim matematičkim funkcijama, kao i ona koja su snimljena mjernim instrumentima iz eksploatacijskih uvjeta, koja su u većini slučajeva stohastičke prirode. Prilikom rada s opružnim cilindrima ovisimo o karakteristikci ugrađene opruge koja je zadovoljavajuća za kontinuirane promjene poput slijeđenja nagibnih ili sporih trigonometrijskih funkcija. Prilikom slijeđenja referenci s naglim skokovitim promjenama, dinamika takvog cilindra bila bi suviše troma te bi postojala kašnjenja i odstupanja od zadane reference. Zbog ranije navedenih razloga jedini preostali izbor je dvoradni pneumatski cilindar.

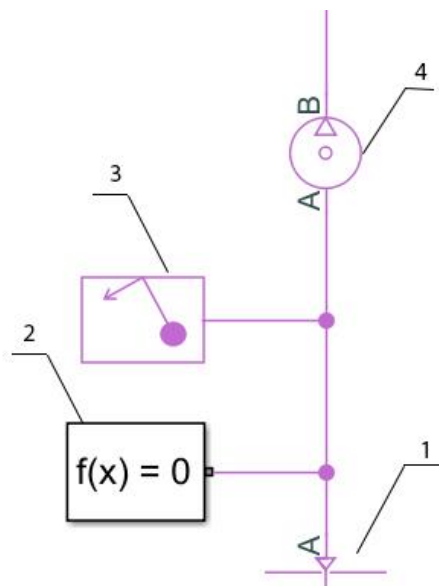


Slika 4. Polazna simulacijska shema

pneumatski kompresor koji puni jedan pneumatski spremnik. Prva je električna domena elektro motora, potom prelazimo u mehaničku domenu sila koje uzrokuju gibanje te one koje uzrokuju gubitke, dolaskom do pumpe prelazimo u pneumatsku domenu, a kako cijeli sustav sadrži unutarnje gubitke kao takav čini termalnu domenu u kojoj je svaka komponenta povezana s njome. Iz prethodnog primjera vidljivo je kako bi matematički opis svih komponenti i njihovih pojava iziskivao složene matematičke izvode funkcija članova i izvode funkcija gubitaka te njihovo zapisivanje u obliku prijenosnih funkcija, koje bi na kraju rezultirale modelom u Simulinku. Korištenjem paketa Simscape matematički izvodni nisu potrebni, odmah se prelazi na kreiranje modela čime se ostvaruje značajna ušteda vremena, a simulacijski modeli su čitljiviji i veze su puno jasnije.

3.2.1. Model kompresora i pripremne grupe

Pojednostavljenja koja uvodimo su zanemarivanje pada tlaka u vodovima te zanemarivanje dinamike pripremne grupe. Pad tlaka uslijed gubitaka u vodovima je zanemarivog iznosa u smislu pneumatskog kruga, dinamika pripremne grupe u koju spadaju uključni razvodnik, sigurnosni ventil i filtri je vrlo malog iznosa.



1. Spremnik beskonačnog volumena
2. Početni uvjeti rješavača (eng. *solver*)
3. Svojstva plina
4. Izvor tlaka

Slika 6. Pojednostavljeni model kompresora i pripremne grupe

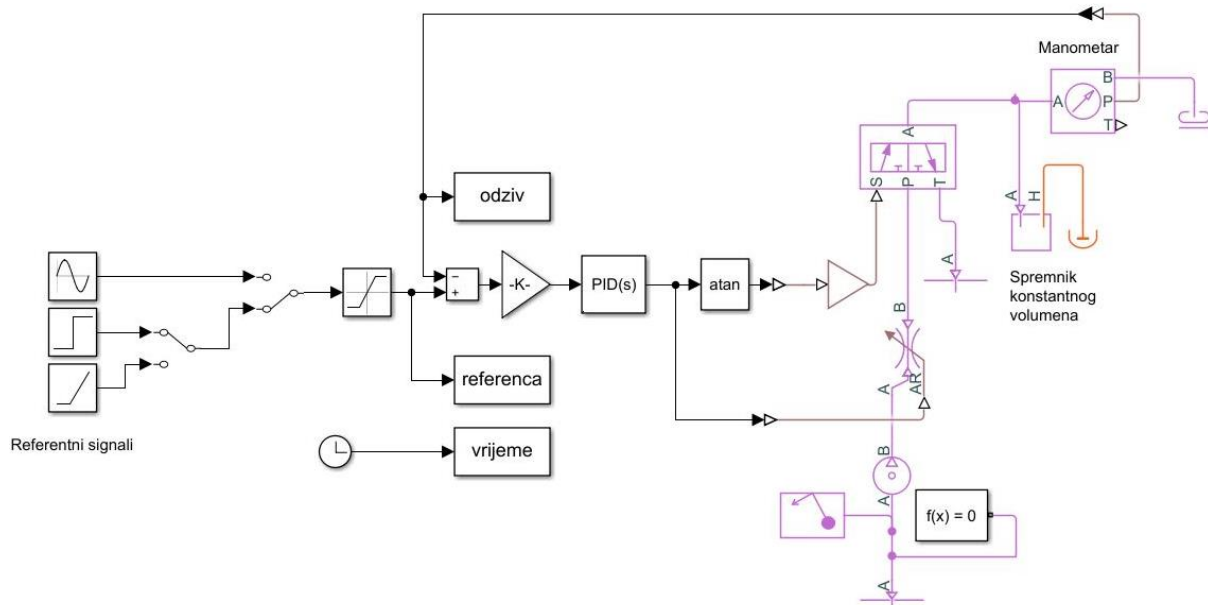
Spremnik beskonačnog kapaciteta predstavlja model okolišnog zraka. Njegov tlak, kao i temperatura ostaju konstantni tijekom cijelog vremena procesa. Stanje atmosfere definirano je normalnim stanjem, ono je po dogovoru definirano tlakom $p_a=101\ 325\ \text{Pa}$ i $T=273,15\ \text{K}$ [3]. Blok „svojstva plina“ omogućava nam da učitamo zadane podatke iz biblioteka ili ovisno o zahtjevu definiramo vlastite.

Izvor tlaka predstavlja idealni pretvornik mehaničke energije, s konstantnim održavanjem zadane razlike tlaka na ulazu i izlazu kompresora. Vrijednost tlaka na izlazu B iznosi 9 bar, taj tlak odgovara standardnim vrijednostima korištenim u industriji te većina kompresora može ostvariti tu vrijednost.

3.2.2. Proporcionalni tlačni regulator

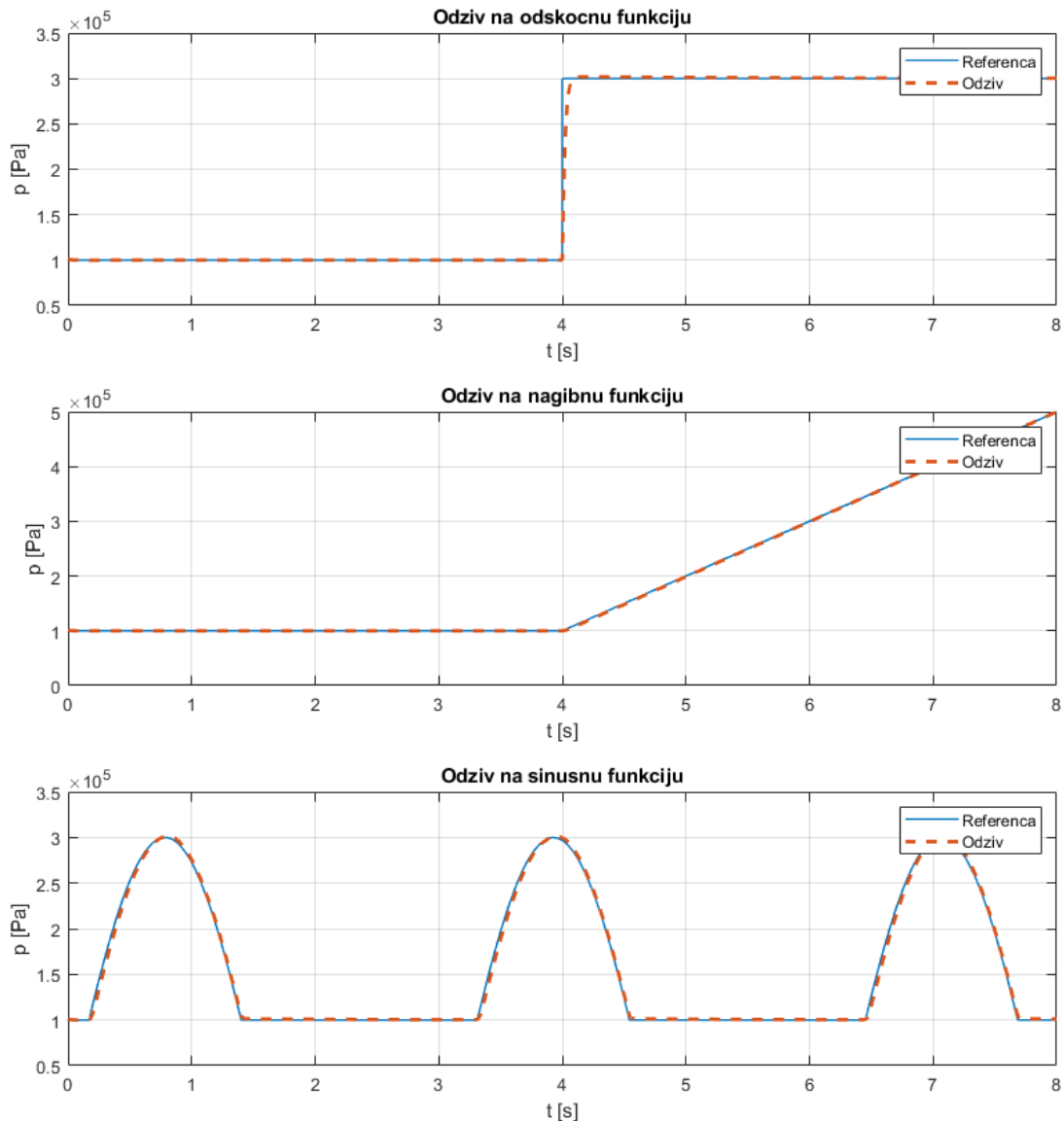
Iako su proporcionalni tlačni regulatori vrlo česti elementi pneumatskih krugova biblioteka programskog paketa Simscape nema definiran njegov model. Djelovanje ovog ventila može se približno realizirati spajanjem prigušnice s varijabilnim presjekom te razvodnika 3/2. On u jednom radnom položaju spaja tlačni vod i komoru cilindra. Regulacijom površine prigušnice moguće je ostvariti željene promjene tlaka. Drugi radni položaj spaja komoru cilindra i model atmosfere koji služi kao ispušni izlaz iz sustava kada je potrebno ostvariti smanjenje tlaka prema zadanoj referenci. Regulacija sustava u zatvorenom krugu ostvaruje se preko povratne veze manometra spojenog sa zadanom referencom. Referenca je potpuno proizvoljna, a kako cijeli sustav ima mogućnost regulacije od atmosferskog do radnog tlaka kompresora, blok zasićenja ograničava vrijednost reference kako se na regulator ne bi postavljali zahtjevi koje on nije u stanju izvršiti.

U regulacijskom krugu koristi se PI regulator. Izlaz iz regulatora preko pretvornika signala dolazi do prigušnice koja mijenja poprečni presjek ovisno o iznosu upravljačkog signala. S istog izlaza signal dolazi do razvodnika 3/2 koji u slučaju zahtjeva za smanjenjem tlaka prebacuje radni položaj razvodnika. Kako bi se izbjegli diskontinuiteti koji se javljaju između dva stanja u tom dijelu kruga, signal se transformira pomoću inverzne trigonometrijske funkcije arkus tangens.



Slika 7. Model proporcionalnog tlačnog regulatora

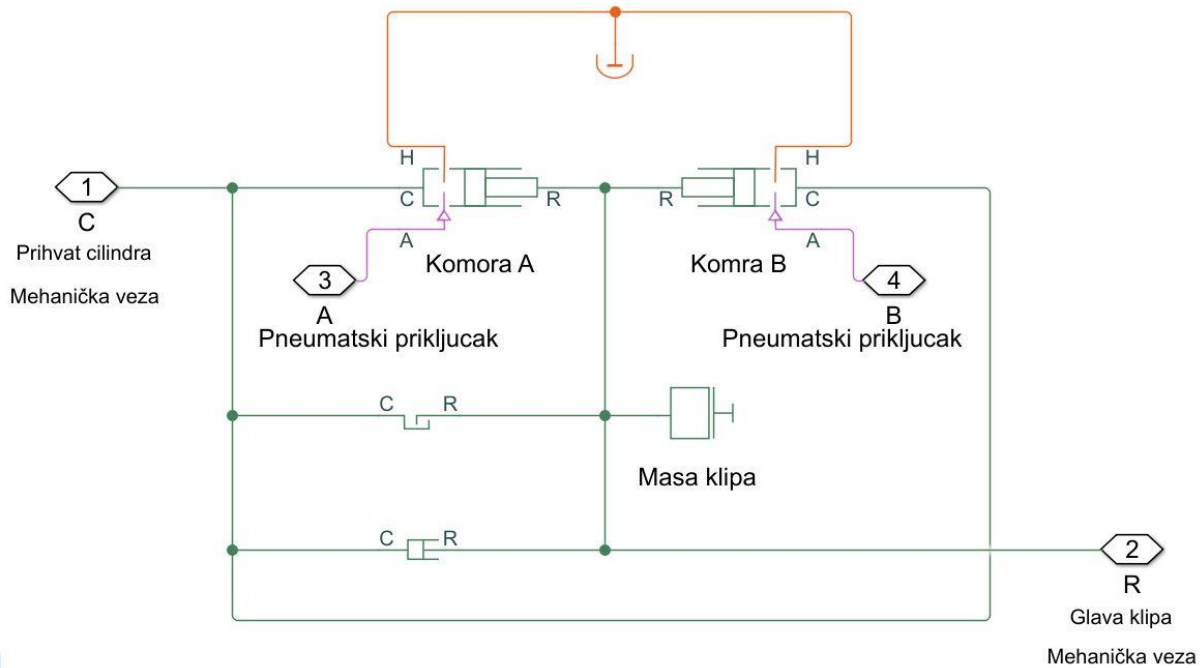
Za testne referentne vrijednosti tlaka odabrane su standardne pobudne funkcije regulacijskih krugova. Odziv na odskočnu funkciju je vrlo brz te ima mali prebačaj, do 1% u odnosu na referencu. Dodatne referentne vrijednosti odabrane su radi provjere rada regulatora. Trigonometrijska funkcija sinus, izabrana je upravo zbog radnih karakteristika sustava koje su dugotrajne periodičke promjene opterećenja. Kod slijeđenja odskočne i nagibne funkcije ne postoji trajno regulacijsko odstupanje, slijeđenjem sinusne funkcije postoji blago odstupanje i kašnjenje koje je uobičajeno za takve uzbudne funkcije. Shodno tome model proporcionalnog tlačnog ventila, vjerno simulira ponašanje stvarnog ventila te kao takav pogodan je za daljnju implementaciju u simulacijski model.



Slika 8. Odzivi modela proporcionalnog tlačnog ventila

3.2.3. Model dvoradnog cilindra

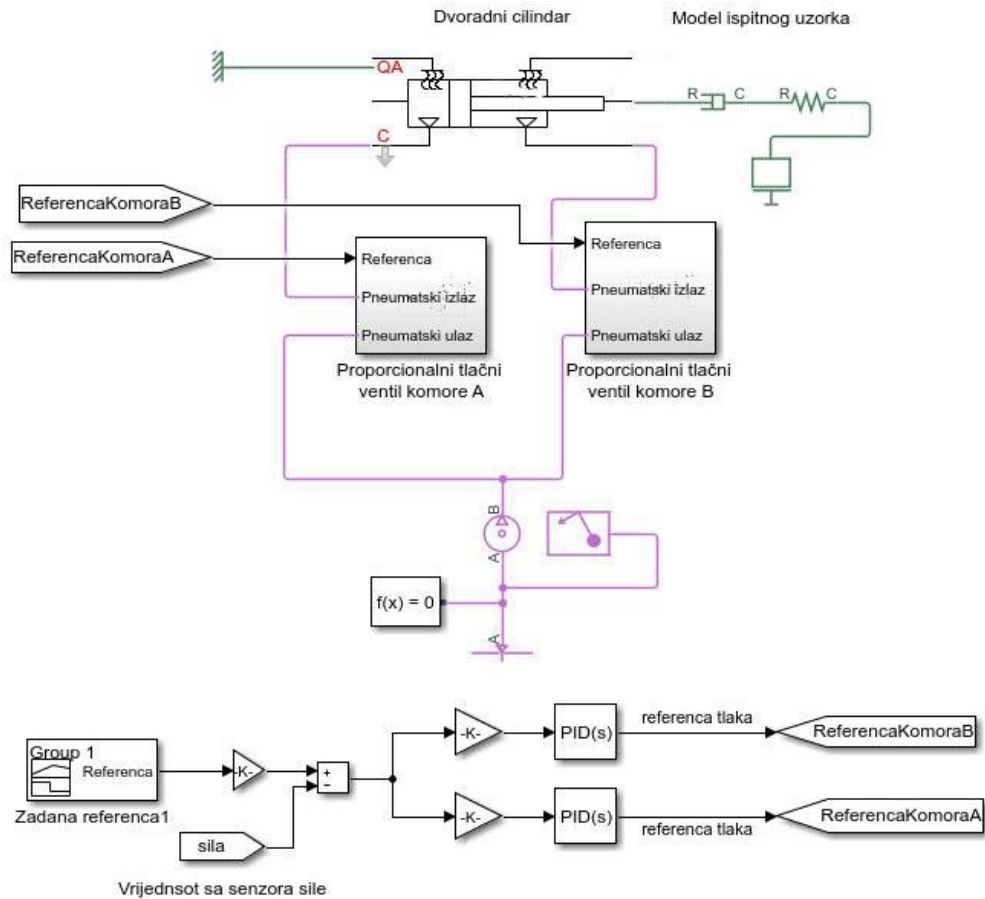
Model dvoradnog pneumatskog cilindra nije dostupan kao standardna komponenta unutar biblioteke, no unutar primjera programskog paketa izveden je kao model sastavljen od osnovnih komponenti, s mogućnošću učitavanja u biblioteku [4]. Dinamika i ponašanje izvedenog modela odgovara očekivanom ponašanju na različite pobude te je isti korišten u simulacijskom modelu. Za ispravno funkcioniranje modela potrebno je definirati veze u termalnoj domeni kao bi se mogle analizirati pojave vezane uz prijelaz topline. Analiza i reguliranje termalnih pojava nije tema ovog rada, sve termalne veze nužne sustavu povezane su s blokom savršenog izolatora čime se onemogućuje protok topline kroz zadane blokove.



Slika 9. Model dvoradnog cilindra

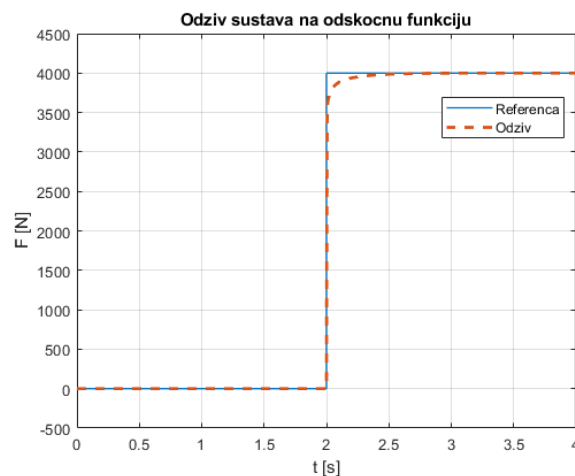
3.3. Simulacijski model umaralice

Prema shemi [Slika 5.] izvodi se spajanje modela komponenti koji su ranije opisani u funkcionalnu cjelinu. Ispitni uzorak prikazan je dinamikom MDS sustava kako bi se simulirala elastična svojstva materijala i gubitci unutar samog ispitnog uzorka. Na njegovu mehaničku vezu spaja se senzor sile. Korištenjem povratne veze mjerenja sile zatvara se regulacijski krug. Regulator kruga je PID regulator, koji je zbog jednostavnosti, stabilnosti i robusnosti jedan od najčešćih izbora u regulacijskim krugovima. Odabirom odgovarajućih parametara dobivamo stabilan sustav koji vjerno slijedi zadanu referencu.

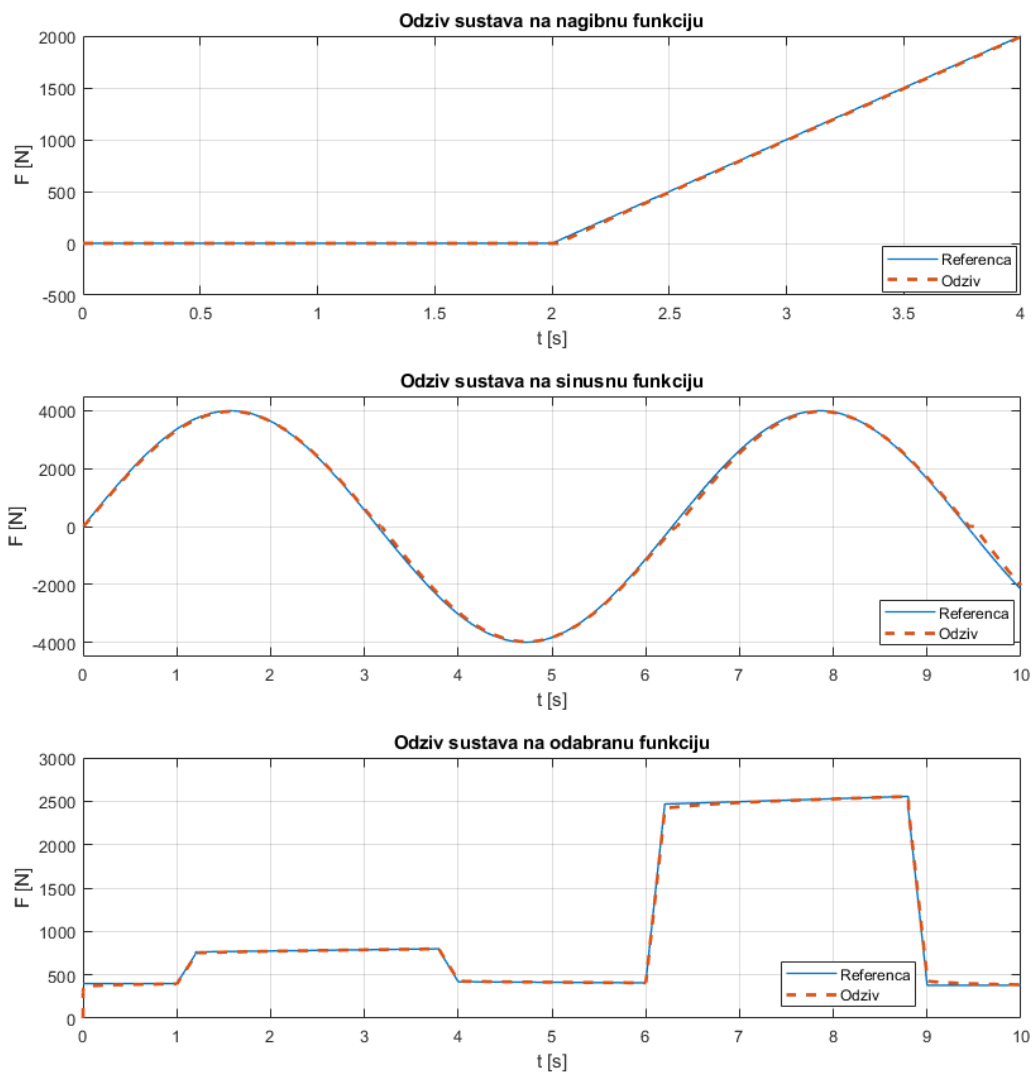


Slika 10. Model sustava umaralice

Sustav pobuđujemo standardnim pobudnim funkcijama koje su korištene i ranije prilikom ispitivanja rada proporcionalnog tlačnog regulatora. Iz slike [Slika 11.] vidljivo je da se sustav s odskočnom pobudnom funkcijom ponaša u skladu s očekivanjima. Prijelazna pojava sustava je vrlo kratka te brzo sustiže zadanu referencu, ne postoji trajno regulacijsko odstupanje.



Slika 11. Odziv sustava na odskočnu funkciju



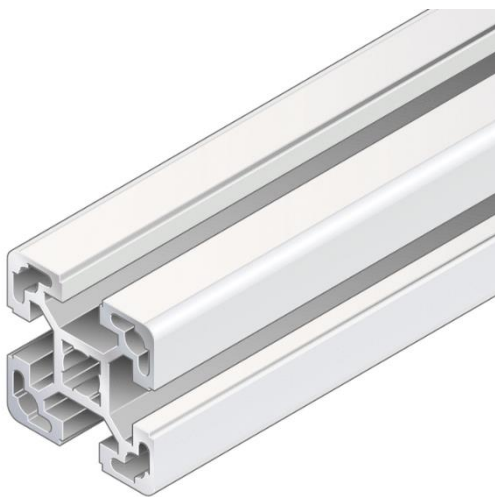
Slika 12. Odziv sustava na zadane pobudne funkcije

Iz simulacijskih rezultata ostalih pobudnih funkcija [Slika 12.] vidljivo je da se model ponaša stabilno i vjerno slijedi zadane reference. Prijelazna pojava je vrlo kratka te ne postoji trajno regulacijsko odstupanje. Odabiranim parametrima regulatora postignut je odziv bez prebačaja na zadanu referencu, zbog same metodologije ispitivanja uzoraka opisane u drugom poglavlju koja može biti vrlo blizu granice proporcionalnosti i granice elastičnosti materijala. Prelaskom preko tih vrijednosti ulazimo u plastično područje materijala, što ne zadovoljava osnovne karakteristike sustava umaralice.

4. PROJEKTIRANJE SUSTAVA

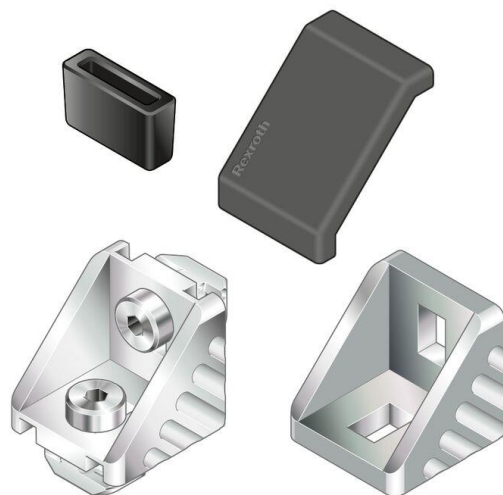
4.1. Projektiranje nosive konstrukcije sustava

Model nosive konstrukcije sustava projektiran je od standardnih aluminijskih profila. Glavne prednosti takvih profila su visoka modularnost i veliki izbor profila, upravo zbog oblika koji omogućuju spajanje više profila pod različitim kutovima koristeći kutne spojnice. Na profile se postavljaju različiti nosači, električne vodove potrebne za rad sastava moguće je voditi kroz profile čime ti vodovi postaju dodatno izolirani od radne okoline stroja, čime sustav postaje sigurniji i vizualno atraktivniji. Upravo veliki broj različitih tipova profila omogućava izbor optimalnog rješenja, a konstrukcija profila može izdržati vrlo velike sile. Profili su ekološki vrlo prihvatljivi, ukoliko se uzme u obzir da se dijelovi konstrukcije trebaju obraditi tehnologijom obrade odvajanjem čestica poput glodanja spojnih mjesta, blanjanja i dubljenja kanalica za vodiče. Tim postupcima uklanja se velika količina materijala uz veliki utrošak energije. Kod standardnih profila jedini postupak koji imamo je rezanje na zadanu duljinu. Zbog ranije navedenih razloga takvi profili u današnje vrijeme zauzimaju značajno mjesto u raznim područjima poput prehrambeno prerađivačke industrije, medicine i sličnih.



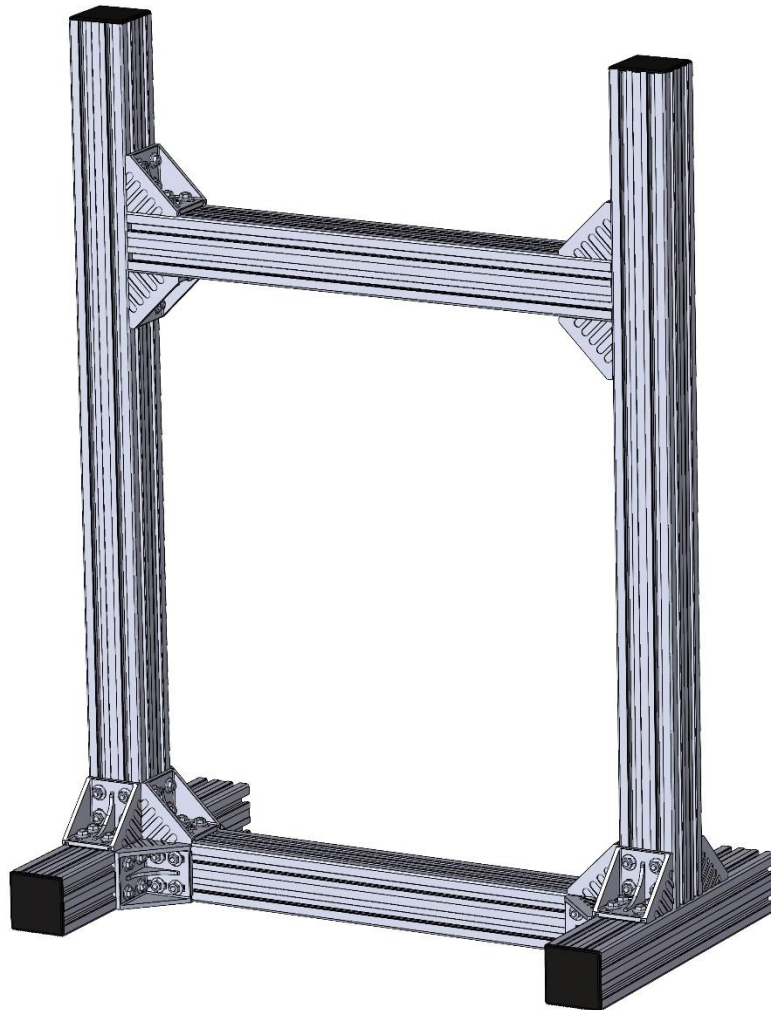
31393

Slika 14. Aluminijski profil [6]



Slika 13. Kutni spojni element [6]

Odabran profil 80X80L optimalni je izbor s obzirom na robusnost i stabilnost, spojevi između profila osigurani su kutnim spojnim elementima. Gornji horizontalni profil služiti će kao nosač pneumatskog cilindra. On je pomičan po vertikalnoj osi, dopušta pozicioniranje u novi položaj i zatezanjem vijaka, osigurava traženi položaj pneumatskog aktuatora.



Slika 15. 3D model nosive konstrukcije sustava

4.2. Projektiranje pneumatskog dijela sustava

Prema simulacijskom modelu sustava umaralice [Slika 10.] odabiremo pneumatske komponente koje zadovoljavaju karakteristike sustava. Proizvođač pneumatskih komponenti je tvrtka SMC, koja je izabrana zbog trajnosti, provjerene kvalitete i dobre dobavljalivosti.

4.2.1. Pneumatski cilindar

Iz zahtjeva za ostvarivanje sile do 10 000 N i korištenje standardnih industrijskih komponenti koje koriste tlakove do 9 bara određujemo potreban promjer klipa pneumatskog cilindra.

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} \quad (2)$$

Uvrštavanjem (2) u (1) i izlučivanjem promjera d dobivamo:

$$d_i = \sqrt{\frac{4F}{p\pi}} \quad (3)$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4 * 10\,000}{9 * 10^5 * \pi}} = 118.94 \text{ mm}$$

Prema izračunatoj vrijednosti promjera d_i iz kataloga odabiremo prvi veći promjer klipa cilindra koji iznosi $d = 125$ mm. Do ovog podatka mogli smo doći direktno iz kataloga proizvođača, u tablici koja povezuje teorijsku silu cilindra s promjerom klipa i radnim tlakom [Slika 16.].

Teoretska sila cilindra [N]

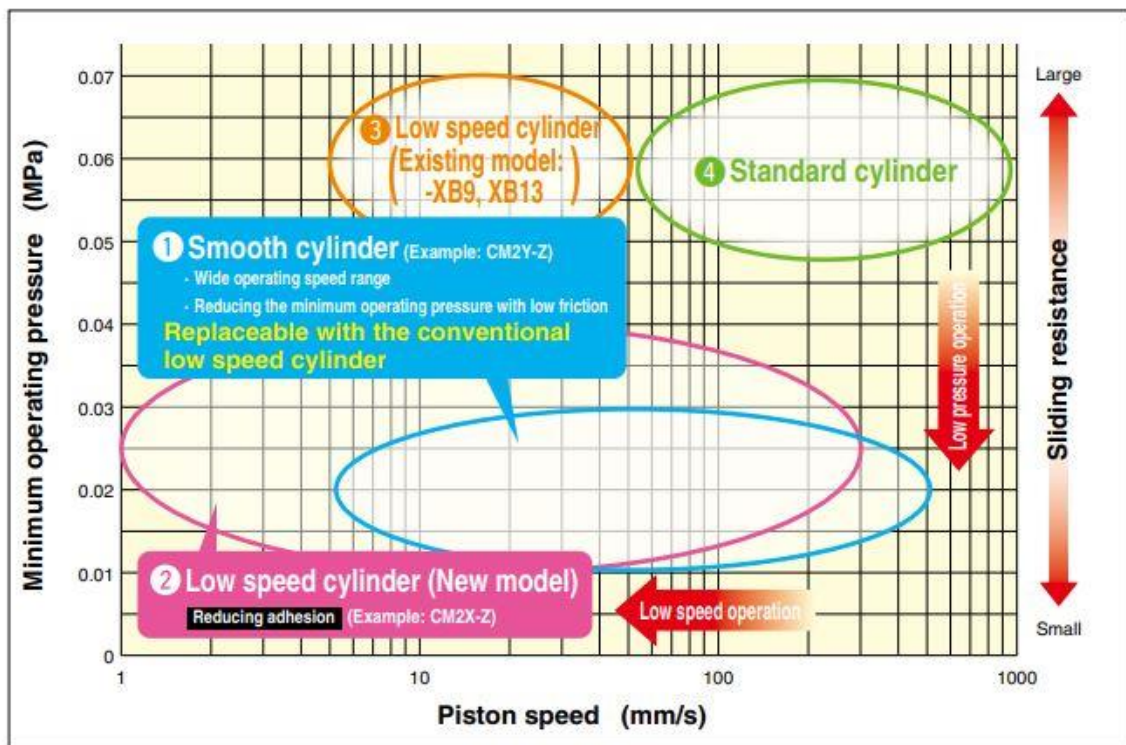
Promjer klipa [mm]	Promjer klipnjače [mm]	Kretanje klipnjače	Tlak [MPa]									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
100	30	van	785	1.571	2.356	3.142	3.927	4.712	5.498	6.283	7.069	7.854
		unutra	715	1.429	2.144	2.859	3.574	4.288	5.003	5.718	6.432	7.147
125	32	van	1.227	2.454	3.682	4.909	6.136	7.363	8.590	9.817	11.045	12.272
		unutra	1.147	2.294	3.440	4.587	5.734	6.881	8.027	9.174	10.321	11.468
160	40	van	2.011	4.021	6.032	8.042	10.053	12.064	14.074	16.085	18.096	20.106
		unutra	1.885	3.770	5.655	7.540	9.425	11.310	13.195	15.080	16.965	18.850

Slika 16. Teorijska sila cilindra [7]

Proizvođač nudi 4 osnovna modela cilindara:

- Glatki cilindar (eng. *Smooth cylinder*)
- Cilindar za niske brzine novi model (eng. *Low speed cylinder new model*)
- Cilindar za niske brzine (eng. *Low speed cylinder*)
- Standardni cilindar (eng. *Standard cylinder*).

Iz zajedničkog prikaza radnih područja osnovnih modela [Slika 17.] vidljivo je da male brzine klipa cilindra uz mali tlak u komorama je moguće postići isključivo glatkim i sporohodnim cilindrima nove generacije. Ta karakteristika bila je presudna pri odabiru cilindra, jer je u ispitivanjima potrebno ostvariti relativno male sile koje su direktno povezane s tlakom u komorama pri sporim promjenama reference. Odabran je glatki cilindar zbog ograničenog promjera klipnjače sporohodnih cilindara nove generacije.



Slika 17. Područje rada modela cilindara [7]

Spajanje cilindra na konstrukciju izvedeno je preko dvije standardne prirubnice cilindra. Jedna je vijcima spojena za cilindar, a druga centrirana iznad profila, a zatim su obje prirubnice povezane vijcima.

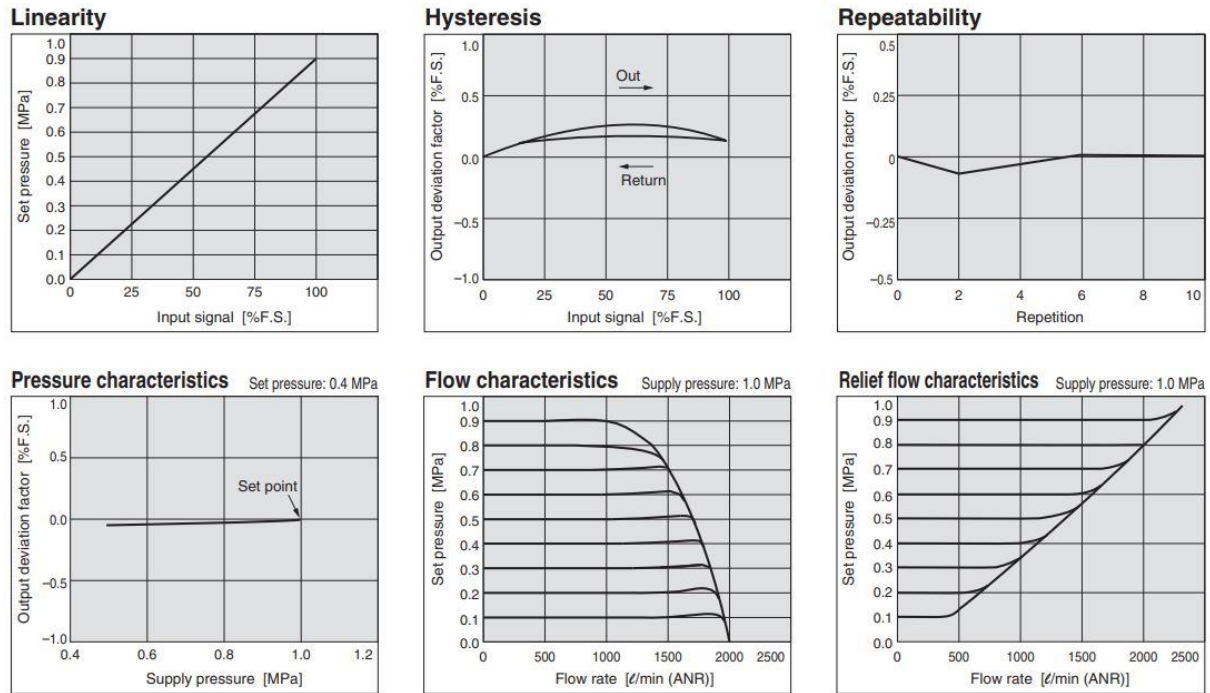
4.2.2. *Proporcionalni tlačni regulator*

Za reguliranje tlaka u komori cilindra koristi se proporcionalni tlačni regulator. Odabrani model ITV2050-312N3 s pneumatske strane sadrži 3 spoja. Na prvi ulaz dolazi vod s kompresora, drugi izlaz iz regulatora spaja se s cilindrom, a treći izlaz predstavlja vod za rasterećenje na koji se spaja prigušnik buke. Upravljanje regulatorom vrši se pomoću strujnih ili naponskih signala. U industriji se češće koriste strujni signali zbog manjih smetnji, takva konfiguracija zahtjeva još dodatne pretvornike, budući da industrijska računala u standardnim izvedbama najčešće imaju naponski upravljive izlaze.



Slika 18. ITV- proporcionalni tlačni regulator [7]

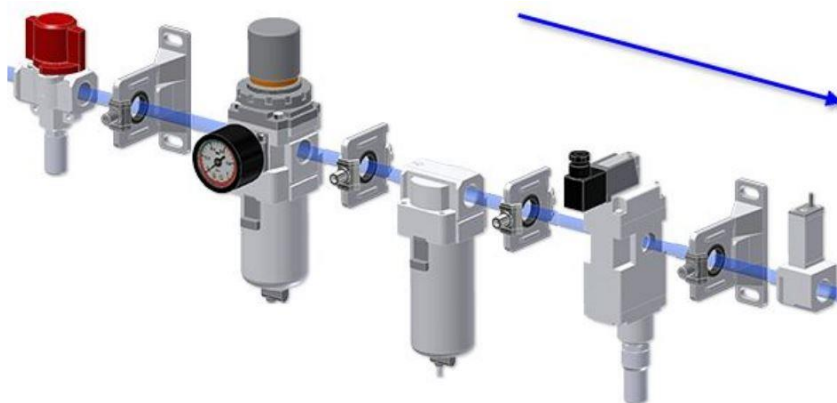
Regulator se napaja standardnim industrijskim naponom od 24V, upravljački naponski signal je u rasponu od 0 do 10 V. Regulator je u normalnom stanju potpuno otvoren. Prilikom dovođenja upravljačkog signala izlaz tlaka iz regulatora može poprimiti vrijednost od 0.005 do 0.9 MPa. Regulator tlaka u sebi sadrži manometar koji mjeri tlak izlaznog zraka, njegovim spajanjem vrši se provjera i po potrebi regulacija izlaznog tlaka. Vidljivo je iz slike [Slika 19.] da je karakteristika tlačnog regulatora linearna unutar odstupanja od $\pm 1\%$, postoji vrlo mala (zanemariva) petlja histereze ispod 0.5%. Ponovljivost signala je gotovo idealna te odstupanje iznosi do $\pm 0,5\%$.



Slika 19. Karakteristika ITV 205X serije [7]

4.2.3. Pripremna grupa

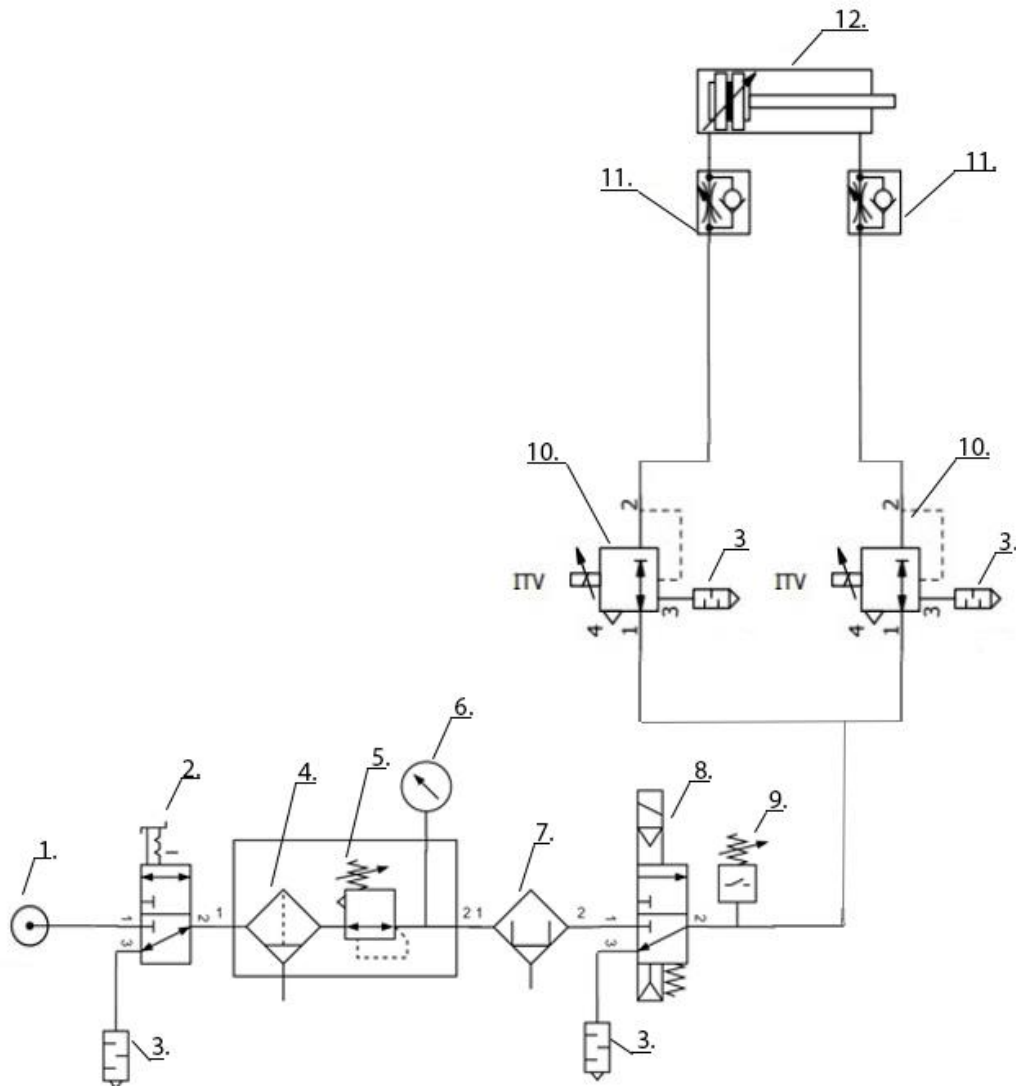
Na pneumatski ulaz u sustav postavljena je standardna pripremna grupa koja se sastoji od ručnog razvodnika 3/2 za puštanje zraka u sustav, regulatora i filtera. Prema tehničkoj dokumentaciji proizvođača nije potrebno provoditi zauljivanje. Izlaz iz pripreme grupe kontroliran je s naponski upravljivim 3/2 razvodnikom koji omogućuje protok zraka u sustav prilikom ispitivanja. Uloga tlačne sklopke je da svojim signalom daje informaciju upravljačkom računalu postoji li stlačen zrak na izlazu iz pripreme grupe. Ova informacija je od izuzetne važnosti prilikom rada s proporcionalnim regulatorima tipa ITV, jer prilikom rada bez stlačenog zraka na ulazu u regulator može doći do trajnog oštećenja.



Slika 20. 3D model pripreme grupe [7]

4.2.4. Pneumatska shema sustava

Na shemi [Slika 21.] povezujemo ranije opisane komponente u funkcionalnu cjelinu.

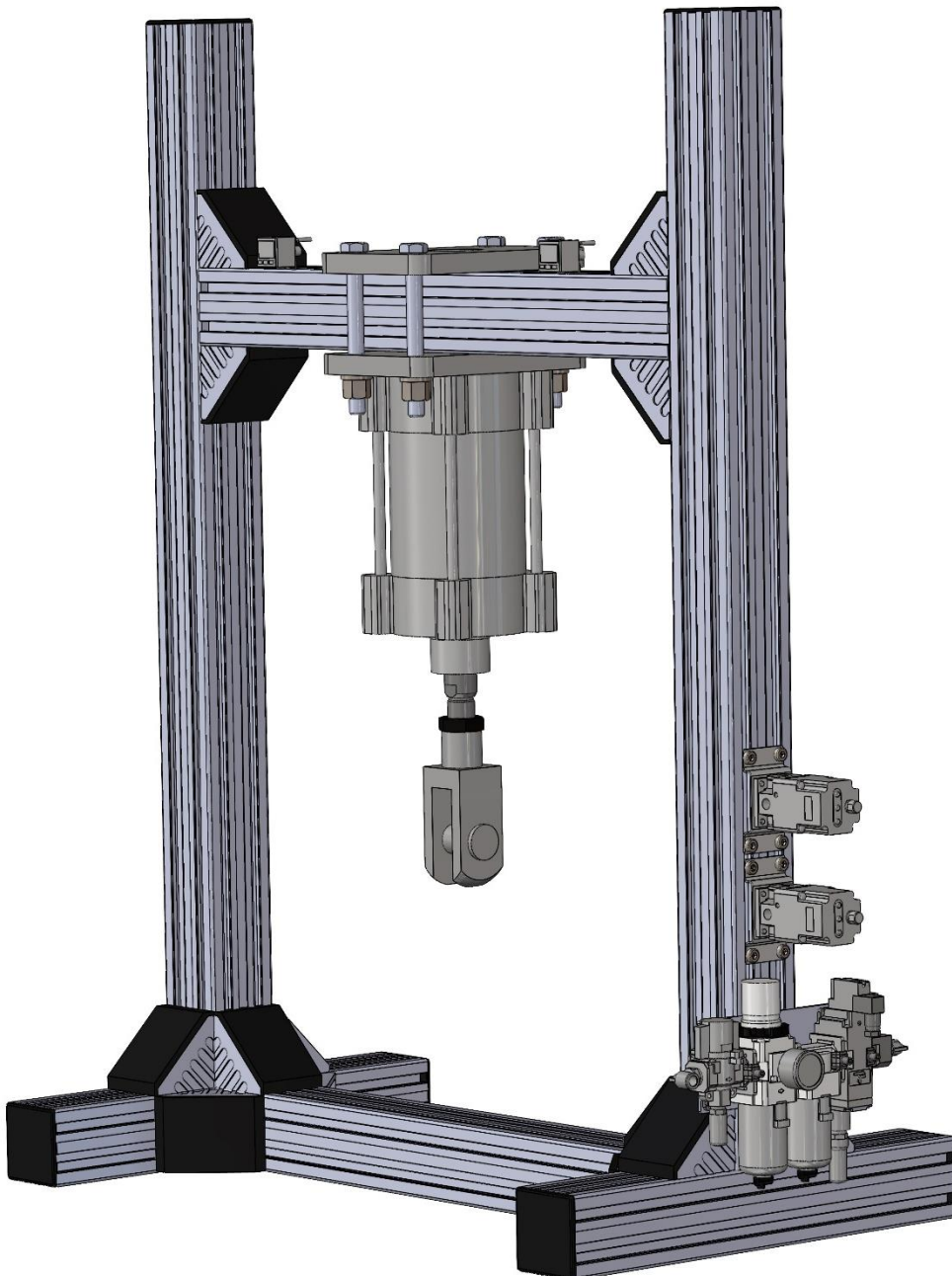


Slika 21. Shema pneumatskog kruga

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Kompresor | 7. Mikro filter |
| 2. Ručni razvodnik 3/2 | 8. Elektromagnetski pilot razvodnik 3/2 |
| 3. Prigušnik buke | 9. Tlačna sklopka |
| 4. Filter glavnog voda | 10. Proporcionalni tlačni regulator |
| 5. Regulator tlaka | 11. Prigušno nepovratni ventil |
| 6. Manometar | 12. Dvoradni cilindar |

4.2.5. 3D model projektiranog pneumatskog sustava

Na slici [Slika 22.] prikazan je model nosive konstrukcije s ugrađenim pneumatskim sustavom. Sve pripremne i regulacijske komponente pozicionirane su na jednu stranu kako bi razdvojio električni od pneumatskog kruga čime se olakšava održavanje uređaja i osigurava bolja preglednost.



Slika 22. Projektirani 3D model s pneumatskim sustavom

4.3. Projektiranje električnog dijela sustava

4.3.1. Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica zadužena je za upravljanje svih komponenti sustava, omogućava prikaz mjerenih podataka, njihovu obradu i pohranu. Zbog velikog broja operacija koje mora istovremeno obaviti razvijene su posebne upravljačke jedinice koje se programiraju u posebnim programskim jezicima. Industrijska računala, odnosno u praksi poznatija pod nazivom PLC (programabilni logički kontroler), sustavi su namijenjeni za rad u industrijskom okolišu kojeg karakteriziraju povišene elektro-magnetske smetnje, vlažnost, prašina, vibracije i slično. Omogućavaju direktno priključivanje senzora i aktuatora, a ta karakteristika usko je povezana s prethodnom za rad u industrijskom okolišu. Težnja je smanjiti broj dodatnih modula koji se moraju ugraditi između upravljačke jedinice i aktuatora ili senzora, zbog jednostavnosti ugradnje, njihovog održavanja te smanjenje mjesta mogućih kvarova. Cijeli operacijski sustav razvijen je s ciljem da se boolova logika može optimalno obrađivati. Upravljački sustavi i njihovi dodaci sličnih su dimenzija, konektori namijenjeni za spajanje uvijek su optimirani tako da njihovo spajanje bude izvedeno na jednostavan i kvalitetan način, takva izvedba podsjeća na samo ugrađivanje kartica. Jedno industrijsko računalo nije dovoljno za upravljanje i automatiziranje cijelog procesa te je zato važan način na koji uređaji međusobno komuniciraju. Razvijeni su standardni načini komunikacija poput Profibus, Industrial Ethernet i Multi-Point Interface – Siemens (MPI) kako bi sustavi bili što robusniji i jednostavniji za povezivanje.

Controllino je industrijsko računalo koje većinu svojih karakteristika dijeli sa standardnim PLC-om. Jedna od glavnih razlika upravo je način programiranja, budući da je uređaj u potpunosti kompatibilan s Arduino programskim okruženjem. Standardni načini programiranja PLC-a su blok dijagrami, Ladder dijagrami i Statment List. Kvaliteta i pouzdanost PLC-a dovela je do toga da većina industrijskih postrojenja koristi upravo ove uređaje, no zbog svoje specifičnosti programiranja, fiksiranih vremena ciklusa, zaključavanja dobavljača i drugih ograničenja razvijen je sustav, kao što je Controllino. Tvrtka Arduino razvija vlastiti hardver i softver otvorenog koda, njihovi proizvodi koriste različite mikrokontrolere, s različitim setovima ulazno-izlaznih jedinica, dodacima za proširivanje i mrežnim svojstvima. Vidljivo je

da su oba pristupa vrlo slična s različitim radnim okruženjem. Arduino koristi vlastiti programski jezik koji je vrlo sličan C++, moguće je programiranje pomoću Pythona ili nekog drugog jezika visoke razine. Program napisan u programskom jeziku putem prevoditelja (eng. *compiler*) pretvara se u binarni kod, prenosi i izvršava na mikrokontroleru.

4.3.2. Karakteristike odabrane upravljačke jedinice

Upravljačka jedinica sustava je Controllino Maxi Power Automation, a odabrana je zbog zadovoljavajućeg broja ulazno izlaznih pinova, mogućnosti regulacije analognih izlaza te mogućnosti prihvata signala sa senzora. Iz dokumentacije je vidljivo da svi analogni i digitalni ulazi imaju djelitelje napona te je moguće direktno spajanje senzora standardnog industrijskog napona od 24V. Digitalni izlazi imaju visoki izlazni napon od 24V, dok radni napon mikrokontrolera ATmega 2560 iznosi 5V, digitalni izlazi galvanski su odvojeni te mogu raditi na standardnim industrijskim naponima. Svi ulazno-izlazni konektori posjeduju ESD zaštitu iz čega je vidljivo da se radi o industrijskom računaru koje kombinira prednosti otvorenog koda i načina programiranja sa standardima i sigurnošću standardnih PLC-ova.



Slika 23. Controllino Maxi Power Automation [8]

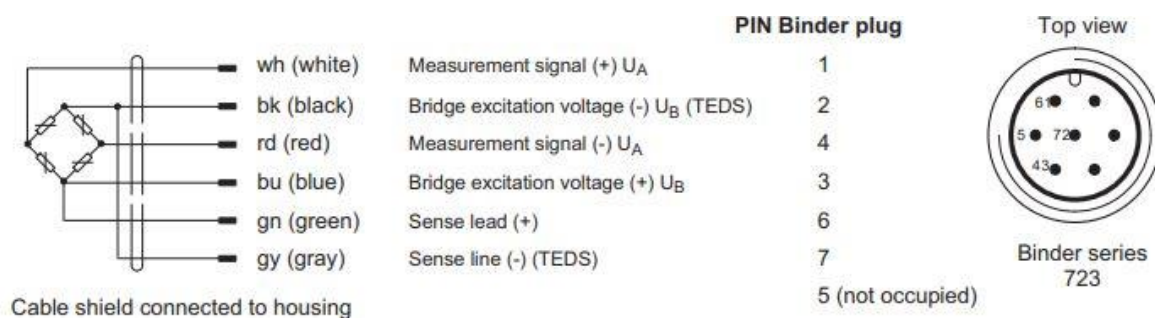
4.3.3. Senzor sile

Senzor sile daje podatke o primjenjenoj sili na klip cilindra. Glavni zahtjev koji je postavljen za izbor senzora su rad u tlačnom i vlačnom području te visoka klasa točnosti. Odabrani senzor oznake HBM U10 omogućuje precizna mjerenja klase točnosti 00 po ISO 376, ima mjerni opseg od 50 N do 10kN. Uz navedeno, osnovne karakteristike ovog senzora su zaštita od preopterećenja, TEDS (eng. *Transducer Electronic Data Sheet*) i dugotrajnost. Ostale karakteristike i klase točnosti dane su u prilogu.



Slika 24. Senzor sile HBM-U10M/12.5kN [9]

Osnovni princip rada senzora sile je tenzometarska traka, koja pod djelovanjem sile mijenja iznos otpora. Trake su spojene u Wheatstoneov most. To je spoj četiri promjenjiva otpornika, u ovom slučaju tenzometarskih traka čiji se ukupni izlaz mijenja ovisno o njihovim vrijednostima.



Slika 25. Shema spoja senzora [9]

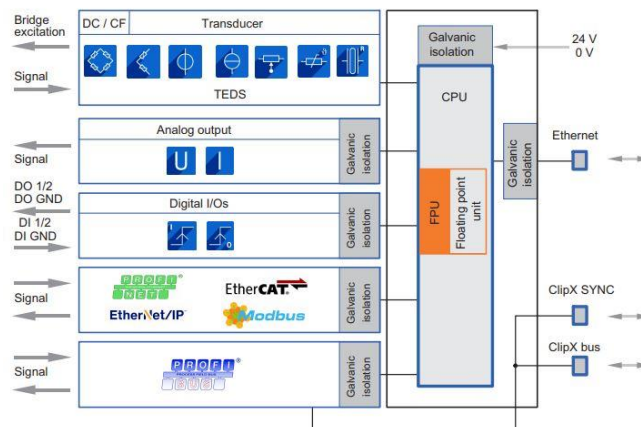
4.3.4. Mjerno pojačalo

Izlaz senzora sile je vrijednost otpora, a za njegovo očitavanje potrebno je mjerno pojačalo kako bi se podaci mogli očitati s dovoljnom točnošću. Uz senzor odabrano je 1-kanalno pojačalo jednake klase točnosti od istog proizvođača oznake HBM-BM 40.



Slika 26. Mjerno pojačalo BM 40 [9]

Glavne prednosti ovog pojačala su mogućnost spajanja različitih spojeva tenzometarskih traka uz standardne industrijske komunikacijske protokole. Posjeduje i jedan analogni naponski i jedan analogni strujni izlazni signal. Sve postavke poput opcija filtriranja signala i vremena uzorkovanja moguće je podesiti putem web preglednika.



Slika 27. Blok dijagram senzora [9]

4.3.5. HMI (eng. *Human Machine Interface*)

Uređaj za komunikaciju između sustava i operatera je LCD ekran dijagonale 9", radno okruženje projektiranog sustava su laboratorijski uvjeti, pa nisu potrebni uređaji industrijske kvalitete. Odabrana veličina zaslona biti će dostatna za jednostavan unos potrebnih parametara i prikaz grafova mjernih podataka sa senzora. HMI sustav SK-90DT proizvođača 4DSystems omogućava jednostavnu komunikaciju i razmjenu podataka s upravljačkom jedinicom.



Slika 28. HMI 4DSystems SK90-DT [10]

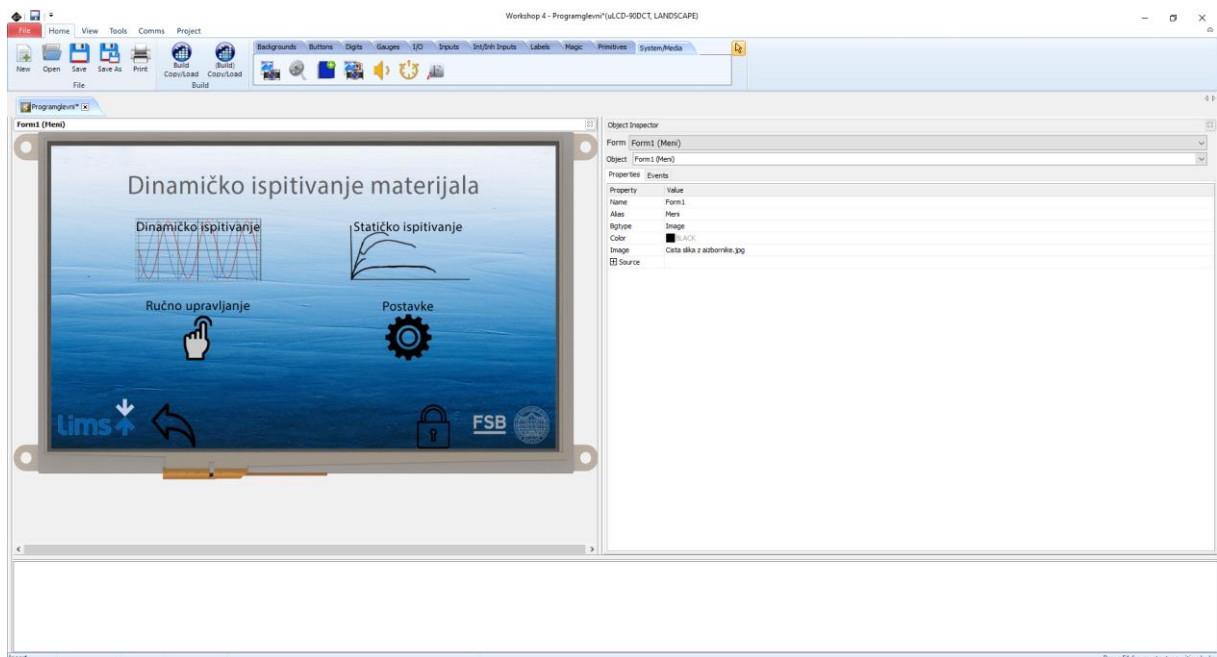
4.3.6. Programsko sučelje HMI

Izbornicima programa upravlja se putem dodira, izbornici su programirani tako da je njihovo korištenje jednostavno i intuitivno. Programiranje je izvršeno u programu Workshop proizvođača 4DSystems, sam proces programiranja kombinacija je grafičkog sučelja te inačice programskog jezika C. Takav spoj pogodan je za brzi razvoj aplikacija, kao i mogućnost programiranja različitih funkcionalnosti. Neke od izrađenih funkcionalnosti su:

- Sigurnosno otključavanje
- Sigurnosno pokretanje
- Padajući izbornici
- Automatska kontrola izbornika



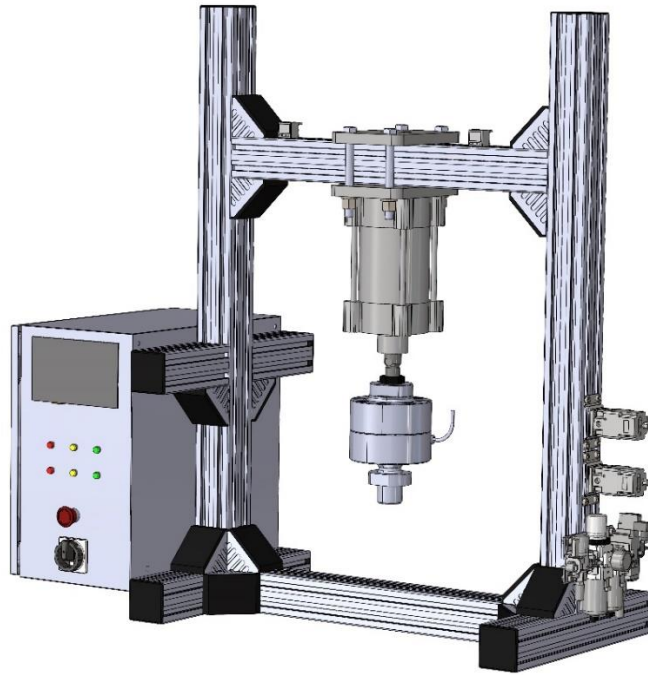
Slika 29. Programsko okruženje



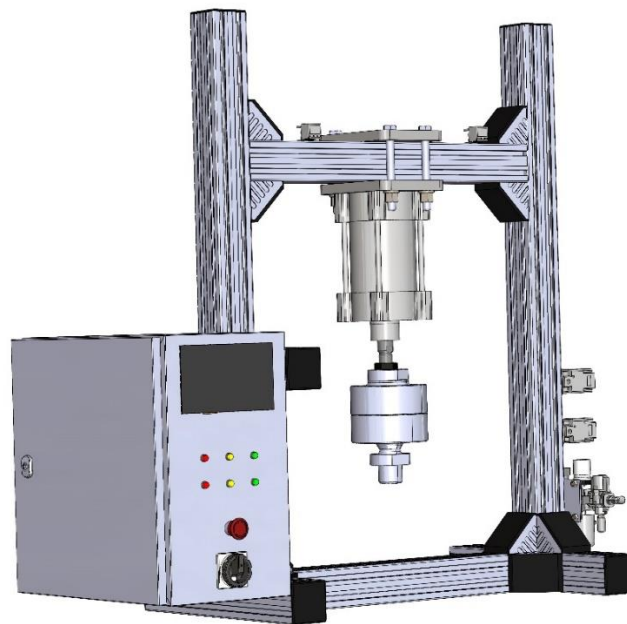
Slika 30. Primjer programiranja izbornika

4.4. 3D model projektiranog sustava

Spajanjem električnog kruga s modelom projektiranog sustava, dobiven je konačni model sustava. Koji služi kao podloga za izradu uređaja, iz modela su poznate dimenzije svih potrebnih ugradbenih komponenata kao i nacrti za izradu dijelova koje je potrebno izraditi specifično za njega.



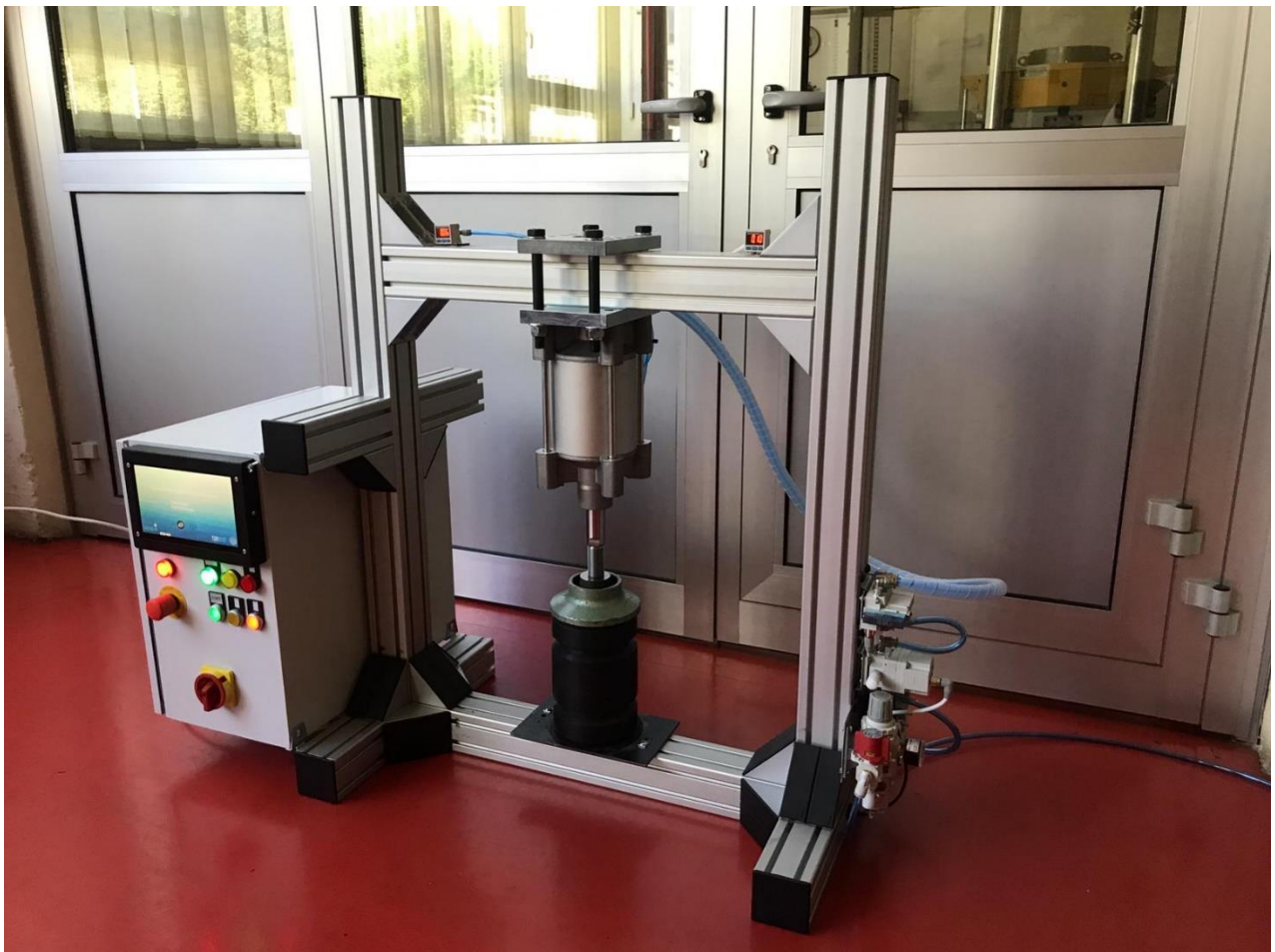
Slika 31. 3D model projektiranog sustava - pogled 1.



Slika 32. 3D model projektiranog sustava - pogled 2.

5. EKSPERIMENTALNI POSTAV

Prema projektiranom modelu sustava, izvršena je narudžba svih potrebnih komponenti, potom njihova obrada i spajanje u funkcionalnu cjelinu. Programsko sučelje povezano je na upravljački uređaj kako bi se moglo ostvariti unošenje zadane reference kao i pregled trenutnih podataka uređaja. Putem vanjskog dinamometra provedeno je umjeravanje ugrađenog dinamometra kako bi se dobila njegova krivulja, ti podaci su unešeni u upravljački program kako bi se korigirala odstupanja. Na prikazu ispod vidljiv je jedan od mogućih načina spajanja ispitnog uzorka, upravo zbog svoje modularnosti uređaj omogućuje jednostavno spajanje različitih uzoraka kao i tipova ispitivanja poput savijana u tri točke.



Slika 33. Eksperimentalni postav ispitnog uređaja umaralice s pneumatskim pogonom

6. ZAKLJUČAK

U području znanosti o materijalima poseban značaj imaju ispitivanja mehaničkih svojstava materijala povezanih s dinamičkom čvrstoćom konstrukcijskih dijelova u uvjetima dugotrajnog promjenljivog naprezanja, budući da se na temelju ovih ispitivanja provodi dimenzijski proračun konstrukcija. Stoga, realizacija laboratorijskog ispitnog uređaja na kojem se može eksperimentalno demonstrirati mehanika loma materijala nastala djelovanjem dinamičkog naprezanja, analizirati otpornost materijala prema cikličkom naprezanju te razvoj pukotina uslijed zamora materijala predstavlja vrijedno postignuće u smjeru produblivanja znanja o ponašanju materijala. Pneumatski aktuatori su zbog svojih mnogobrojnih prednosti u mnogim aspektima još uvijek nezamjenjive pogonske jedinice. U prilog tome svjedoči i činjenica njihove prisutnosti u velikom broju tehnoloških postrojenja. Međutim, postavlja se pitanje mogu li pneumatski uređaji služiti za ispitivanje mehanike loma budući da je ona pokrivena normama koje zahtijevaju visoku razinu točnosti i sljedivosti. Neki odgovori na ta pitanja prikazani su u ovom radu. Sukladno tome fokus je na kreiranju uređaja koji može zadovoljiti potrebne norme kako bi se uređaj mogao koristiti kao ispitni uređaj za ispitivanje mehanike loma korištenjem pneumatskog sustava čime se ostvaruje značajno smanjenje dimenzija uređaja kao i njegova konačna proizvodna cijena u usporedbi s hidrauličkim i servo hidrauličkim ispitnim sustavima.

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na ukazanoj pomoći, uputama i savjetima tokom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se asistentu Juraju Beniću mag. ing. na velikoj podršci i mnogobrojnim savjetima tijekom izrade ovoga rada.

Hvala prof. dr. sc. Željku Alaru na pruženoj prilici i pomoći prilikom realizacije eksperimentalnog postava.

Literatura

- [1] Franz M.: Mehanička svojstva materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1998.
- [2] Ćorić D., Alar Ž.: Odabrana poglavlja iz mehaničkih svojstava materijala - predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [3] Halasz B.: Uvod u termodinamiku, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [4] Simscape pneumatski model dvoradnog cilinda:
<https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/pneumatic-actuation-circuit.html> Datum pristupa: 12.11.2020.
- [5] Način rada programskog paketa Matlab Simscape:
<https://www.mathworks.com/products/simscape.html> Datum pristupa: 02.10.2020.
- [6] Bosch Rexroth: katalog <https://www.boschrexroth.com/> Datum pristupa: 10.02.2021.
- [7] SMC: katalog <https://www.smc.eu/> Datum pristupa: 12.12.2020.
- [8] Controllino: katalog <https://www.controllino.com/> Datum pristupa: 20.11.2020.
- [9] HBM: katalog <https://www.hbm.com/> Datum pristupa: 10.02.2021.
- [10] 4D Systems: katalog <https://4dsystems.com.au/> Datum pristupa: 10.02.2021.
- [11] Šitum, Ž., Predavanja iz kolegija Pneumatika i hidraulika, 2018
- [12] Petrić, J., Automatska regulacija: uvod u analizu i sintezu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb; 2012

Sažetak

Dinamička izdržljivost materijala vrlo je važno mehaničko svojstvo materijala koje se koristi u proračunima proizvoda i poluproizvoda. Budući da nije moguće teorijski utvrditi njegove vrijednosti, provode se eksperimentalna ispitivanja na umaralicama. Umaralice su uređaji koji zadani ispitni uzorak opterećuju prema referentnim signalima, ciklički i dugotrajno. Pneumatski sustav za ispitivanje dinamičke izdržljivosti materijala opisan je simulacijskim modelom, zatim je izvršeno projektiranje konstrukcije te pneumatskog i električnog dijela sustava. Izrađeni su 3D modeli svake faze projektiranja, a kao zadnja faza konstruiran je eksperimentalni postav uređaja.

Ključne riječi: dinamička izdržljivost, umor materijala, pneumatski sustav za ispitivanje dinamičke izdržljivosti materijala, pneumatski cilindar, tlačni regulator, senzor sile

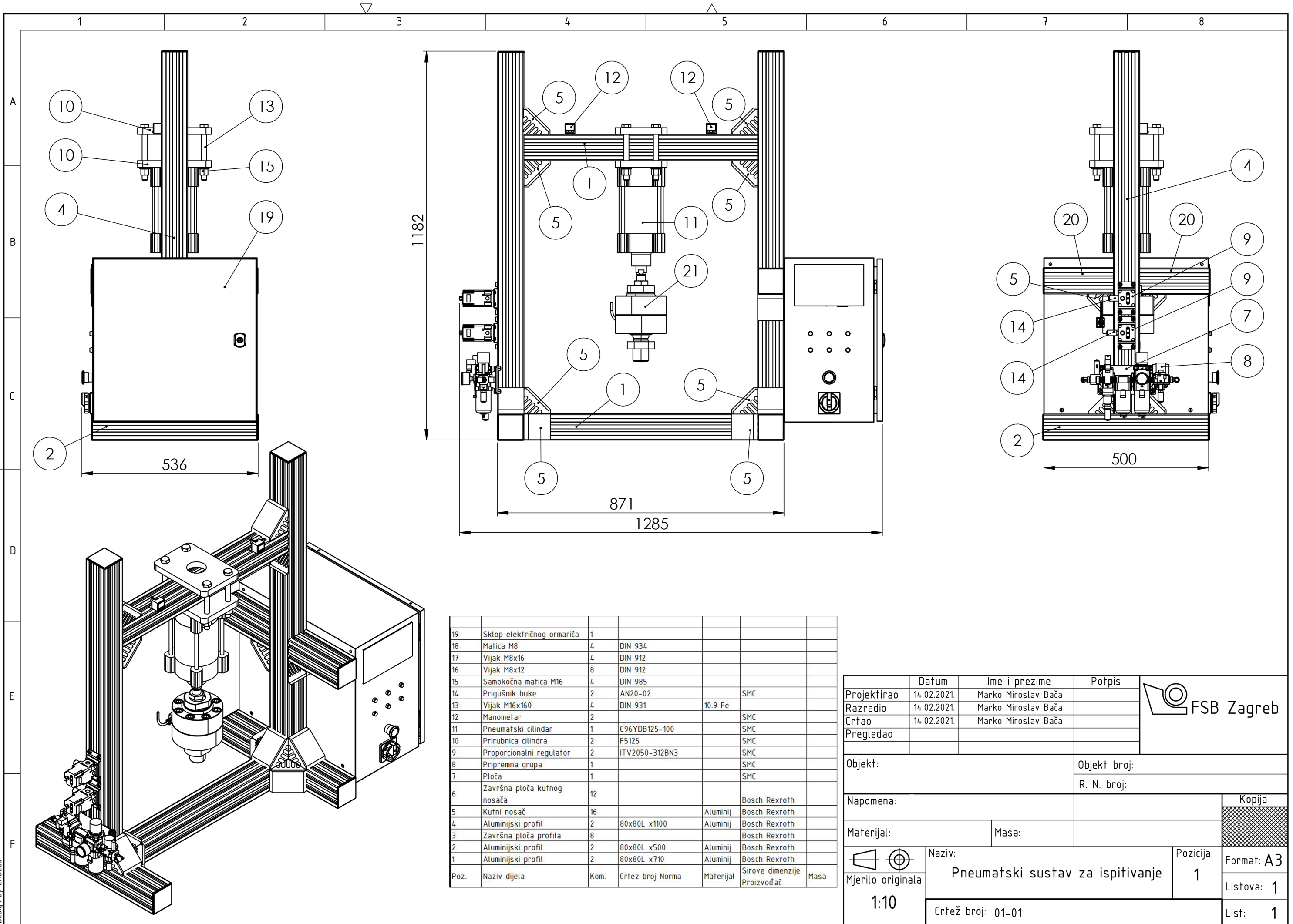
Summary

Dynamic durability of a material is a very important mechanical property of a material used in the product and semi-finished product calculations. Since it is not possible to determine its values theoretically, experimental tests are performed on fatigue bars. Fatigue devices are devices that load a given test sample according to reference signals, cyclically and for a long time. The pneumatic system for testing the dynamic durability of materials was described by a simulation model, then the design of the structure, pneumatic and electrical part of the system was performed. 3D models of each design phase were made, and as the last phase, an experimental setup of the device was constructed.

Key words: dynamic durability, fatigue, pneumatic system for testing the fatigue strength of materials, pneumatic cylinder, pressure regulator, force sensor

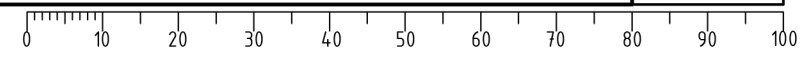
Životopis

Marko Miroslav Bača rođen je 17.02.1999. u Zagrebu, a odrastao u Dugom Selu. Nakon završene osnovne škole Josipa Zoriča u Dugom Selu, upisuje srednju školu u Dugom Selu tehničkog usmjerenja, gdje stječe zvanje tehničar za računalstvo. Tijekom srednje škole aktivno se bavi razvojem proizvoda i njihovom implementacijom u industriju. Za inovatorski rad je nagrađen brojnim medaljama domaćih i inozemnih izložbi inovacija. Nagrađen je javnim priznanjem Zagrebačke županije za gospodarski, društveni i kulturni razvoj Zagrebačke županije, te njena promicanja u zemlji i svijetu. Po završetku srednje škole, upisuje Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Trenutačno je student diplomskog studija na smjeru Mehatronika i robotika.

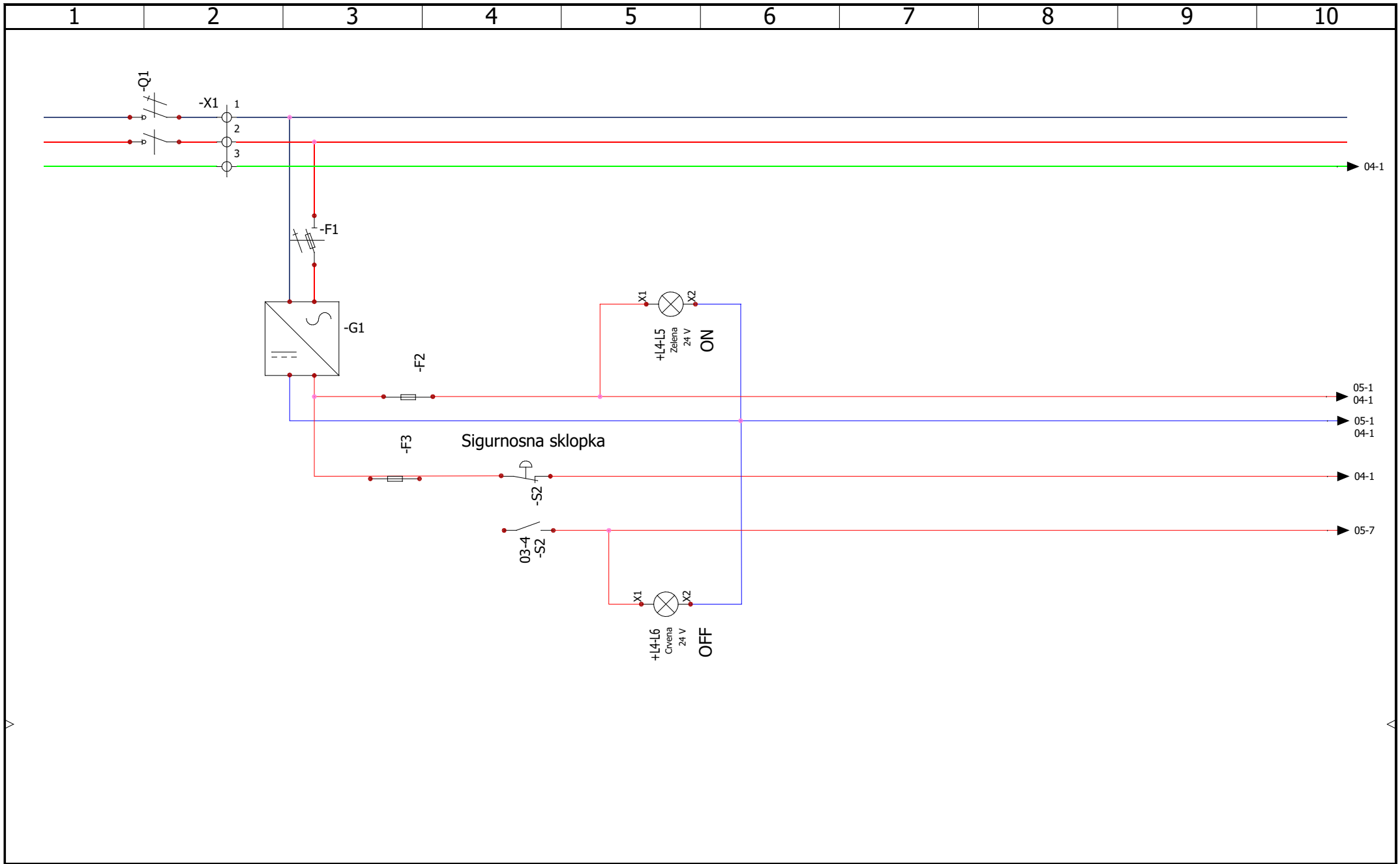


Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Proizvođač	Masa
19	Sklop električnog ormarića	1						
18	Matica M8	4	DIN 934					
17	Vijak M8x16	4	DIN 912					
16	Vijak M8x12	8	DIN 912					
15	Samokočna matica M16	4	DIN 985					
14	Prihušnik buke	2	AN20-02				SMC	
13	Vijak M16x160	4	DIN 931		10.9 Fe			
12	Manometar	2					SMC	
11	Pneumatski cilindar	1	C96YDB125-100				SMC	
10	Prirubnica cilindra	2	F5125				SMC	
9	Proporcionalni regulator	2	ITV2050-312BN3				SMC	
8	Priprema grupa	1					SMC	
7	Ploča	1					SMC	
6	Završna ploča kutnog nosača	12					Bosch Rexroth	
5	Kutni nosač	16			Aluminij		Bosch Rexroth	
4	Aluminijski profil	2	80x80L x1100		Aluminij		Bosch Rexroth	
3	Završna ploča profila	8					Bosch Rexroth	
2	Aluminijski profil	2	80x80L x500		Aluminij		Bosch Rexroth	
1	Aluminijski profil	2	80x80L x710		Aluminij		Bosch Rexroth	

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	14.02.2021.	Marko Miroslav Bača		
Crtao	14.02.2021.	Marko Miroslav Bača		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal:			Masa:	
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		Pneumatski sustav za ispitivanje		1
1:10		Crtež broj: 01-01		Format: A3
				Listova: 1
				List: 1



Design by CADlab



FSB
Ivana Lučića 5
10 000 Zagreb

Električne sheme spajanja
-Napajanje

CONTRACT:

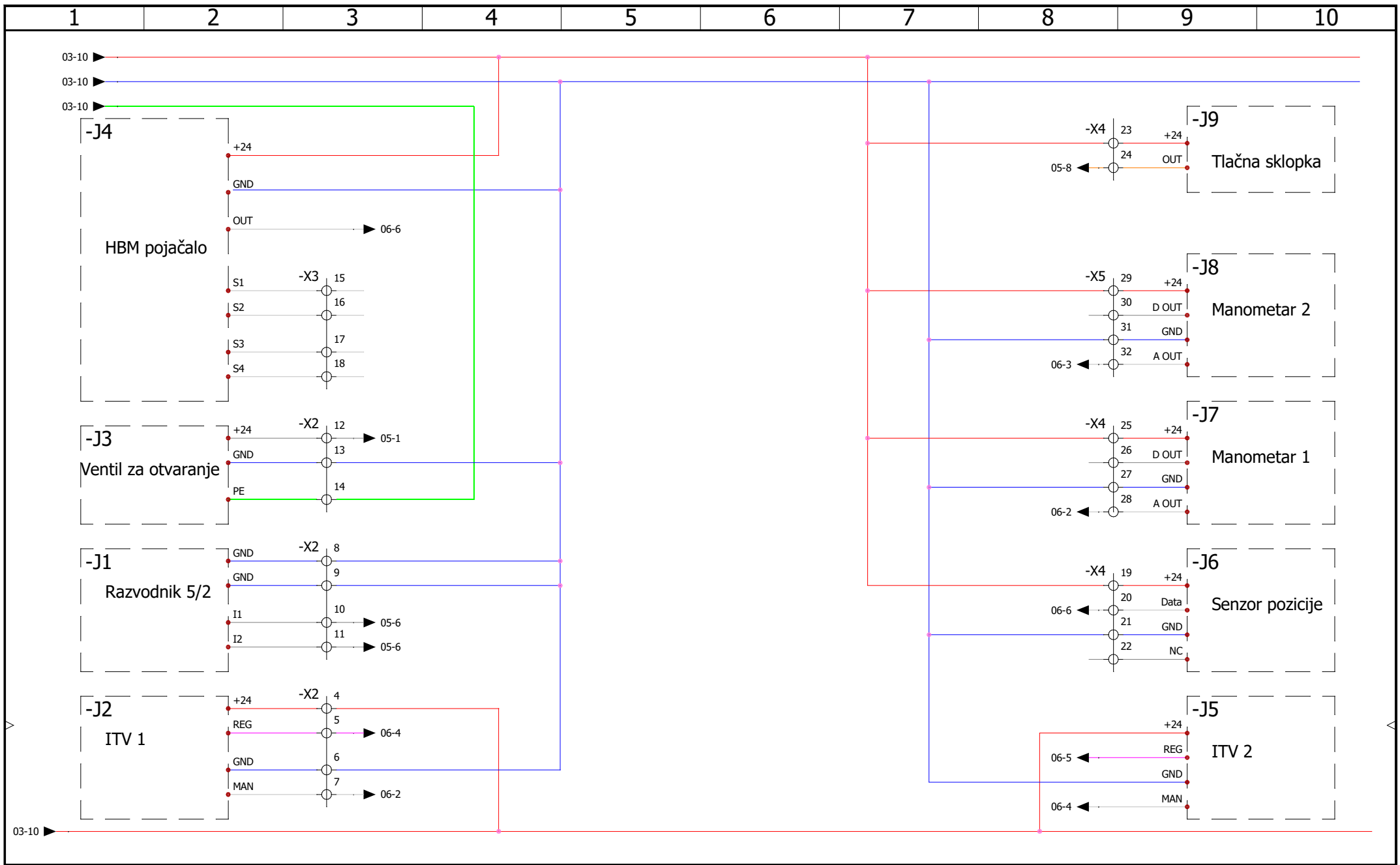
LOCATION:

+L1

01-02

				REVISION
				0
0	16/02/2021	Marko M. Bača		
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
				03
User data 1			User data 2	

SOLIDWORKS Electrical



FSB
Ivana Lučića 5
10 000 Zagreb

Električne sheme spajanja
- Ulazno izlazni sklop

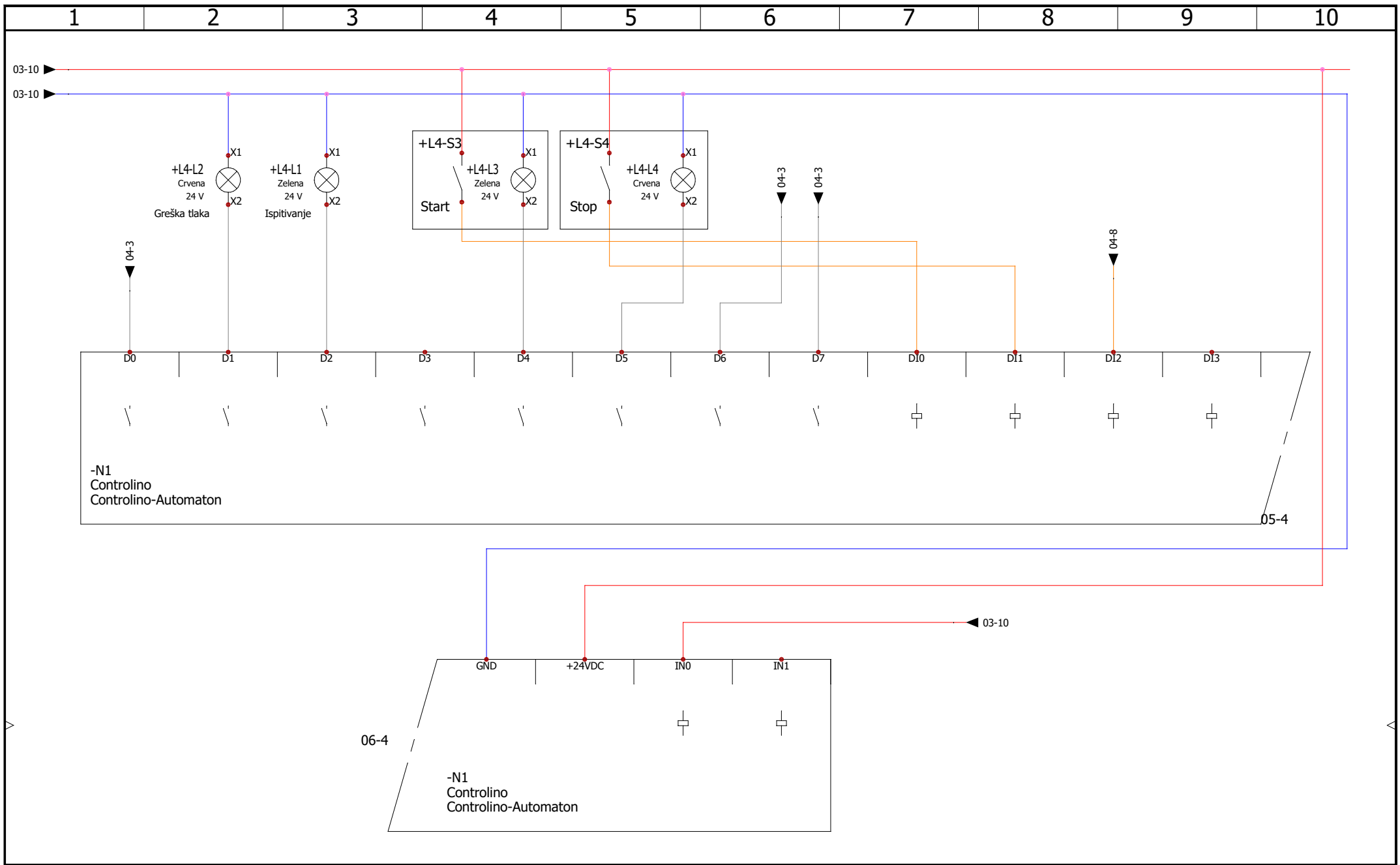
CONTRACT:

LOCATION: +L1

01-02

				REVISION
0	16/02/2021	Marko M. Bača		0
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
				04
User data 1			User data 2	

SOLIDWORKS Electrical



FSB
Ivana Lučića 5
10 000 Zagreb

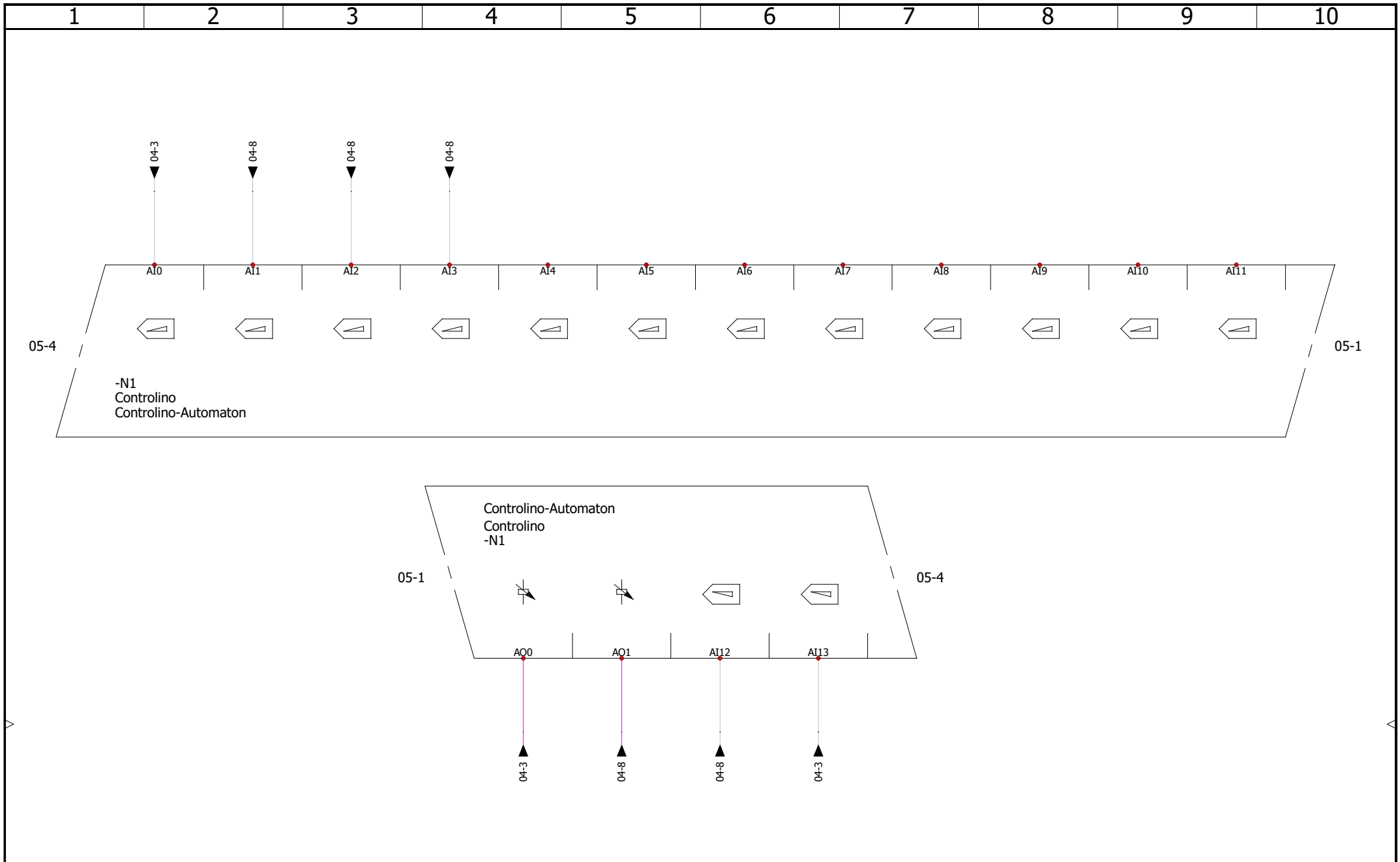
Električne sheme spajanja -PLC digitalni ulazi/izlazi

CONTRACT:

LOCATION: +L1

01-02

				REVISION
				0
0	16/02/2021	Marko M. Bača		
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
				05
User data 1			User data 2	



FSB
Ivana Lučića 5
10 000 Zagreb

Električne sheme spajanja
-PLC analogni ulazi/izlazi

CONTRACT:

LOCATION:

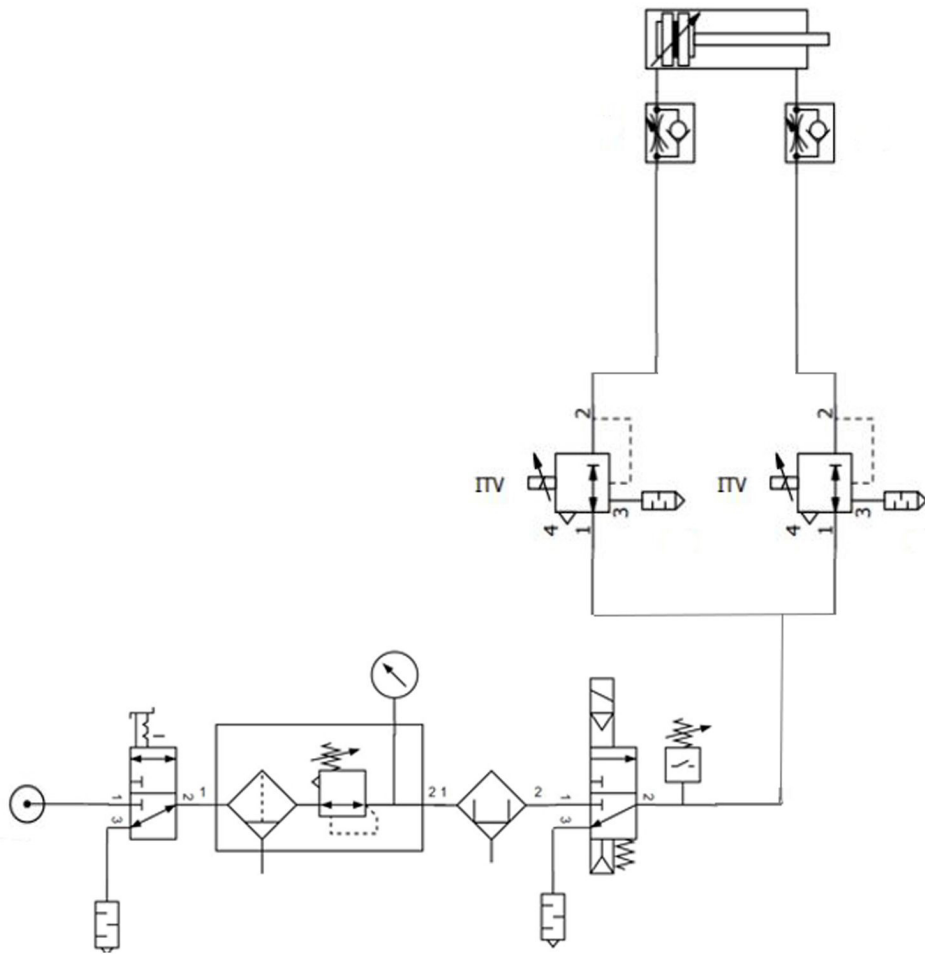
+L1


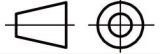
01-02

REV.	DATE	NAME	CHANGES	REVISION
0	16/02/2021	Marko M. Bača		0
				SCHEME
				06

User data 1

User data 2



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	14.02.2021.	Marko Miroslav Bača		
Razradio	14.02.2021.	Marko Miroslav Bača		
Crtao	14.02.2021.	Marko Miroslav Bača		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:			Masa:	
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Pneumatska shema sustava		1	Listova: 1
Crtež broj: 01-03				List: 1