

Projektiranje dvonožnog hodajućeg robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima

Gložinić, Andrija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:439598>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Andrija Gložinić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum, dipl. ing.

Student:

Andrija Gložinić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na stručnoj pomoći, savjetima, vremenu i strpljenju prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji na pruženim sredstvima i strpljenju prilikom studiranja i izrade završnog rada.

Andrija Gložinić



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 3 -02- 2017	Prilog
Klasa: 602-04/17-6/4	
Ur.broj: 15-1703-14-92	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

ANDRIJA GLOŽINIĆ

Mat. br.: 0035188879

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

PROJEKTIRANJE DVONOŽNOG HODAJUĆEG ROBOTA
POKRETANOG UMJETNIM PNEUMATSKIM MIŠIĆIMA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

DESIGN OF A TWO LEGGED WALKING ROBOT DRIVEN BY
PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLES

Opis zadatka:

Autonomni humanoidni roboti predstavljaju spoj mehaničkog, elektroničkog i programerskog inženjerstva i jedno su od najkompleksnijih i najzanimljivijih inženjerskih područja. Gibanje strojeva koji se za svoje pokretanje služe nogama, kao što je to slučaj kod hodajućih robota, predstavljaju jedan od najzahtjevnijih zadataka suvremene mobilne robotike. Člankovita struktura udova pokretanih mišićima kod živih organizama predstavlja veliki izazov biološki inspiriranim izvedbama tehničkih sustava sa stanovišta konstrukcije, upravljanja gibanjem te postizanja stabilnosti prilikom gibanja humanoidnih robota. Umjetni pneumatski mišići predstavljaju zanimljiv izbor tipa aktuatora koji se mogu koristiti za pokretanje članaka kod hodajućih robota. Pneumatski mišići imaju prirodnu elastičnost što ih čini pogodnim za primjenu u bioničkim sustavima.

U radu je potrebno:

- konstruirati autonomni, dvonožni hodajući robot koji koristi pneumatske mišiće kao aktuatore za ostvarenje gibanja robota,
- dati tehnički opis potrebnih komponenti za izradu autonomnog humanoidnog robota,
- simulirati gibanje hodajućeg robota po ravnoj podlozi,
- dati smjernice za praktičnu izvedbu hodajućeg robota kao autonomnog sustava.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zeljko Šitum

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.

3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.

2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.

3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

v.d. predsjednika Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE I VRSTE MOBILNIH ROBOTA	2
2.1. Podjela robota s obzirom na način ostvarenja kretanja.....	3
2.2. Upravljanje robota.....	6
2.3. Senzorika.....	7
3. HUMANOIDNI ROBOTI.....	8
4. KONSTRUKCIJA DVONOŽNOG ROBOTA	10
4.1. Konstrukcija noge	11
4.2. Konstrukcija trupa.....	14
4.3. Smjernice za praktičnu izvedbu konstrukcije hodajućeg robota.....	15
5. ENERGETSKI SUSTAV ROBOTA.....	18
5.1. Umjetni pneumatski mišići	18
5.2. Komponente pneumatskog sustava.....	19
6. UPRAVLJAČKI SUSTAV	23
7. SIMULACIJA RADA ROBOTA.....	26
7.1. Opis rada pneumatskog energetskog sustava.....	26
7.2. Opis rada upravljačkog sustava.....	27
7.3. Opis kretanja robota	28
8. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA.....	32
PRILOZI.....	33

POPIS SLIKA

Slika 1.	Različite vrste aktuatora	3
Slika 2.	Kotrljajući roboti	3
Slika 3.	Hodajući roboti.....	4
Slika 4.	Leteći robot.....	4
Slika 5.	Gmizajući robot.....	5
Slika 6.	Penjajući robot.....	5
Slika 7.	Plivajući robot	5
Slika 8.	Model upravljanja robotom	7
Slika 9.	Tipovi senzora u mobilnim robotima	7
Slika 10.	Humanoidni robot.....	8
Slika 11.	Pneumatski humanoidni robot Denise sveučilišta TUDelft	9
Slika 12.	Konstrukcija robota	10
Slika 13.	Geometrija noge	12
Slika 14.	Konstrukcija noge.....	13
Slika 15.	Konstrukcija trupa	14
Slika 16.	Ležaj SKF 6002.....	15
Slika 17.	Kućište ležaja	15
Slika 18.	Oblikovanje ležajnog mjesta	15
Slika 19.	Spoj mirujuće osovine i postolja	16
Slika 20.	Montaža pneumatskih mišića	16
Slika 21.	Montaža prigušno-nepovratnih ventila.....	17
Slika 22.	Spoj tri zasebna djela.....	17
Slika 23.	McKibbenov pneumatski mišić.....	18
Slika 24.	Vrste pneumatskih mišića	19
Slika 25.	Spreg pneumatskih mišića.....	19
Slika 26.	Kompresor Viair 400C	19
Slika 27.	Specifikacije kompresora	20
Slika 28.	Spremnik zraka Festo CRVZS-2.....	20
Slika 29.	Pripremna grupa Festo LFRS-1/8-D-7-MINI-A	21
Slika 30.	Ventilski blok Festo.....	21
Slika 31.	Prigušno-nepovratni ventil Festo GR-QS-6	22
Slika 32.	Umjetni pneumatski mišići Festo DMSP	22
Slika 33.	Specifikacije baterije	23
Slika 34.	Arduino Leonardo	24
Slika 35.	Inekrmentalni enkoder RLS MR047B	24
Slika 36.	Akcelerometar Murata SCA3100-D04.....	25
Slika 37.	Shema pneumatskog sustava robota.....	27
Slika 38.	Položaj robota u nominalnom stanju	28
Slika 39.	Prikaz hoda robota.....	29

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Robot
2. Postolje
3. Poveznica_ležaj_postolje
4. Osovina_noga_postolje
5. Ležaj_sklop
6. Fiksator
7. Noga_gornji članak
8. Poveznica noga
9. Noga_donji članak
10. Noga_I profil
11. Osovina_noga
12. Osovina_postolje
13. Osovina_mišić
14. Postolje_ploča
15. Trup_I profil
16. Trup_L profil
17. Trup_L profil 2
18. Trup_ploča
19. Trup_I profil 2
20. Trup_L profil 3
21. Filtar_I profil
22. Ruka_I profil
23. Stopalo

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
M ₁	mm	Duljina pneumatskog mišića u skraćenom stanju
M ₂	mm	Nominalna duljina pneumatskog mišića
L ₁	mm	Visina postolja
L ₂	mm	Duljina između osi rotacije i profila za pričvršćenje mišića
L ₃	mm	Duljina između srednjeg i lijevog provrta I profila gornjeg članka noge
L ₄	mm	Duljina između srednjeg i desnog provrta I profila gornjeg članka noge
L ₅	mm	Duljina između srednjeg i lijevog provrta postolja
L ₆	mm	Duljina između srednjeg i desnog provrta postolja
X ₁	mm	Projekcija duljine L ₂ na x os
X ₂	mm	Projekcija duljine L ₃ na x os
X ₃	mm	Zbroj duljina X ₁ i X ₂
X ₄	mm	Projekcija duljine L ₄ na x os
Y ₁	mm	Projekcija duljine L ₂ na y os
Y ₂	mm	Projekcija duljine L ₃ na y os
Y ₃	mm	Zbroj duljina L ₁ i Y ₁ od koje je oduzeta duljina Y ₂
Y ₄	mm	Projekcija duljine L ₄ na y os
α	°	Kut noge

SAŽETAK

Tema ovog rada je projektiranje autonomnog humanoidnog mobilnog robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima. Dvonožni hod predstavlja jedan on najsloženijih dinamičkih procesa u robotici. Postizanje stabilnosti takvih sustava zahtijeva dobro osmišljenu konstrukciju i adekvatan upravljački algoritam. Autonomnost mobilnog pneumatskog robota podrazumijeva vlastito napajanje zrakom.

Rad se ponajprije bavi projektiranjem mehaničke konstrukcije hodajućeg dvonožnog robota. Predloženi su svi potrebni dijelovi za izradu humanoidnog robota. Predložene su smjernice za praktičnu izvedbu konstrukcije i opisan je način spajanja dijelova. Nadalje odabrane su komponente pneumatskog, mjernog i upravljačkog djela sustava.

Opisani su pripadni stupnjevi slobode gibanja robota zajedno s njihovim ograničenjima. Također su opisani rad energetske i upravljačkog sustava. Humanoidni robot konstruiran je u CAD alatu i prikazana je željena simulacija hoda.

Ključne riječi: autonomni, humanoidni robot, konstrukcija, umjetni pneumatski mišić, pneumatika

SUMMARY

This paper deals with design of autonomous humanoid mobile robot actuated by artificial pneumatic muscles. Bipedal walk is one of the most complex dynamic processes in robotics. Achieving stability of such systems requires a well designed mechanical structure and adequate control algorithm. Autonomy of mobile pneumatic robot implies built in pneumatic power supply.

This paper primarily focuses on the design of mechanical structure of bipedal walking robot. All parts necessary for production of a humanoid robot are proposed. Guidelines for the practical design of the construction are provided and method for connecting parts is described. Furthermore all components of pneumatic, measuring and control systems are provided.

Associated degrees of freedom and their limitations are described. Operating mode of power and control systems are also described. Humanoid robot is constructed in CAD program and the simulation of bipedal walk is shown.

Key words: autonomous, humanoid robot, construction, artificial pneumatic muscle, pneumatics

1. UVOD

Robotika je multidisciplinarna grana inženjerstva, a objedinjuje znanja iz strojarstva, elektrotehnike, računarstva, automatike i mnogih drugih područja. Bavi se konstrukcijom, izradom mehaničkog i upravljačkog dijela robota, funkcionalnošću i primjenom robota. Razvila se je sa svrhom da ljudima olakša fizički teške ili zamorne poslove [7].

Roboti imaju primjenu u raznim područjima, a posebno u industriji i uvjetima nepogodnim za rad čovjeka, kao što su nečisti ili opasni prostori. Danas se roboti primjenjuju u komercijalne i industrijske svrhe s ciljem obavljanja poslova jeftinije, bolje, točnije i pouzdanije od ljudi. Koriste se u proizvodnji, montaži, pakiranju, transportu, kirurgiji, istraživanju i mnogim drugim područjima [7].

Uz sve prednosti roboti mogu predstavljati i veliku opasnost. Zbog nesavršenosti algoritama upravljanja robot se može početi ponašati nepredvidivo. U tu svrhu definirani su Osnovni zakoni robotike poznatiji kao Asimovi zakoni [10]:

- Robot ne smije nauditi ljudskom biću ili svojim postupcima dopustiti da čovjek bude povrijeđen.
- Robot mora izvršavati ljudske naredbe osim ako to nije u skladu s prvim zakonom.
- Robot mora štiti svoje postojanje osim ako to nije u skladu prvim i drugim zakonom.

Ovaj rad predlaže konstrukciju humanoidnog autonomnog robota pokretanog umjetnim pneumatskim mišićima. Problem dvonožnog hoda predstavlja zahtjevniji dinamički model robotike. Iako se rad ne bavi regulacijom navedenog sustava, mehanička konstrukcija uvelike utječe na stabilnost robota. U prilogu se nalazi simulacija robota načinjena u CAD alatu, a prikazuje očekivani način hoda. Hodajući roboti posebno su zanimljivi zbog mogućnosti kretanja po neravnim podlogama i rukovanja alatima namijenjenim za rad čovjeka. Osim u industrijske i istraživačke svrhe humanoidni roboti posebno su zanimljivi zbog imitacije ljudskog kretanja što ih čini pogodnim i za komercijalne svrhe. Za razliku od većine ovakvih robota ovaj rad predlaže potpuno pneumatski energetski sustav robota, uz iznimku električne baterije. Velika prednost je i autonomnost sustava što znači da nije potreban vanjski izvor napajanja. Kako su za aktuatore odabrani pneumatski mišići otklanjaju se smetnje vibracija i udara koje nastaju prilikom dvonožnog hoda. Kako se opisani robot planira izraditi s ciljem ispitivanja stabilnosti dvonožnih hodajućih sustava pripazilo se je na cijenu i jednostavnost konstrukcije.

2. OSNOVNE ZNAČAJKE I VRSTE MOBILNIH ROBOTA

Kako su različiti roboti rađeni za različite funkcije njihova mehanička struktura bitno se razlikuje. Unatoč tome svim robotima mogu se naći zajednička svojstva. Da bi neki mehanizam mogli nazvati robotom mora zadovoljavati sljedeće konstrukcijske aspekte [7]:

- mora imati neku vrstu mehaničke konstrukcije koja mu pomaže u obavljanju njihovog zadatka.
- posjeduje električne komponente koje napajaju robota i njime upravljaju. Električni dio robota koristi se za pokretanje, senzoriku i naredbe.
- nužno posjeduju upravljački kod koji diktira postupke i operacije koje robot obavlja.

Roboti tipično koriste električne baterije kao izvor napajanja, no mogu se koristiti i generatori na unutarnje izgaranje, napajanja zrakom ili fluidom i nuklearni izvori napajanja. Neki od parametara izvora su sigurnost, vijek trajanja i težina.

Gibanje mehaničkih struktura ostvaruje se pomoću aktuatora koji pohranjenu energiju iz izvora pretvaraju u kretanju mehaničkog dijela. Vrste aktuatora koji se koriste u robotici [10]:

- električni motori najčešća su vrsta aktuatora. Mobilni roboti tipično koriste istosmjerne motore, dok industrijski roboti i CNC strojevi koriste izmjenične motore.
- linearni aktuatori napajani zrakom ili fluidom. Zamjenjuju elektromotore tamo gdje su potrebne velike sile i brza promjena smjera gibanja.
- zračni mišići su specijalna vrsta aktuatora čije djelovanje podsjeća na realni biološki mišić. Kada se zračnom mišiću dovede zrak on se skuplja pri čemu mu se povećava promjer.
- elektroaktivni polimeri su plastični materijali koji se pod djelovanjem struje stegnu. Pretežno se koriste kao mišići lica humanoidnih robota, no mogu i robotu omogućiti da pliva, lebdi, leti ili hoda.
- piezoelektrični motori postižu linearno ili rotacijsko gibanje tako što piezoelektrični elementi vibriraju nekoliko tisuća puta u sekundi.

Senzori omogućuju interakciju robota s okolinom. Njihova svrha je mjerenje unutarnjih ili vanjskih veličina kao bi se upravljački program prilagodio na promjene i pravilno izvršio traženi zadatak. Koriste se za sve vrste mjerenja, za real-time praćenje rada robota i za

pružanje informacija vanjskih i unutarnjih stanja.



a) električni motor

b) pneumatski cilindar

c) piezoelektrični motor

Slika 1. Različite vrste aktuatora

2.1. Podjela robota s obzirom na način ostvarenja kretanja

Mobilni robot je automatski stroj koji se može gibati unutar nekog prostora i nije čvrsto vezan za jednu lokaciju. Kako bi mogli samostalno putovati kroz predviđenu rutu potrebna im je neka vrsta sustava za navođenje. Suprotno tome industrijski roboti su tipično stacionarni, a sastoje se od postolja, manipulatora s nekoliko članaka i prihvatnice. Autonomni mobilni roboti mogu sami odrediti putanju i gibati se kroz nepredvidiv prostor bez elektro-mehaničkih sustava navođenja. Glavni dijelovi mobilnog robota su kontroler (mikrokontroler ili PC), upravljački program, senzori i aktuatori [5]. U nastavku prikazati će se vrste robota s obzirom na način ostvarenja gibanja.

Kotrljajući roboti najčešći su tip mobilnih robota. Većina kotrljajućih robota sastoji se od četiri kotača. Kako bi se smanjio broj dijelova, povećala učinkovitost i okretljivost robota razvijeni su kotrljajući roboti s manjim brojem kotača. Roboti na dva kotača se za stabilnost tipično oslanjaju na žiroskop koji im daje informacije o posrtanju robota. Na temelju dinamičkog modela sustava inverznog njihala moguće je postići stabilnost. Roboti s jednim kotačem za kretanje koriste kotač u obliku kugle što im omogućuje kretanje u bilo kojem smjeru 2D prostora. Jednako tako razvijeni su i roboti s većim brojem kotača (obično gusjenicama) sa svrhom boljeg prijanjanja za podlogu i snažnije vuče [5].



Slika 2. Kotrljajući roboti

Drugi tip robota su hodajući roboti. Hod je jedan od najtežih dinamičkih problema. Do danas je napravljeno više vrsta humanoidnih hodajućih robota, no ni jedan od njih nije ni približno okretljiv kao čovjek. Roboti sa više od dvije noge čest su slučaj zbog relativno lakog postizanja stabilnosti hoda i jednostavnije konstrukcije. Glavna prednost hodajućih robota u odnosu na ostale je mogućnost kretanja po neravnim površinama što im daje bolju mobilnost i učinkovitost [5].



Slika 3. Hodajući roboti

Roboti koji se kreću zrakom spadaju u grupu letećih robota. U tu grupu obično spadaju dronovi, no pod pojmom leteći robot mogu se svrstati i avioni. Naime autopilot samostalno upravlja avionom u letu, pa čak i prilikom slijetanja i polijetanja [5].



Slika 4. Leteći robot

Po uzoru na gmizavce koji ne koriste udove kako bi se gibali po tlu, već to gibanje ostvaruju pomoću tijela razvijeni su gmizajući roboti. Predviđeni su za obavljanje poslova u skućenim prostorima. Obično se sastoje od više članaka koji se mogu gibati relativno u odnosu na susjedne elemente [5].



Slika 5. Gmizajući robot

Za gibanje po vertikalnim površinama osmišljeni su penjajući roboti. Jedan od pristupa penjanja robota je oponašanje ljudskog penjanja. Zglobovi se pomiču tako da se ostvari sila dovoljna za držanje robota, a centar mase se sukladno tome pravilno pozicionira kako bi se zadržala stabilnost. Drugi pristup je izrada specijalnih stopala i prstiju koji prijanjaju za određene površine [5].



Slika 6. Penjajući robot

Sljedeći tip robota jesu plivajući roboti. Rade se po uzoru na živa bića koja žive u vodi, najčešće ribe. Cilj je postići visoku učinkovitost i okretnost, te smanjiti buku i poremećaje u vodi. Uz njih razvijeni su i roboti koji se mogu gibati samo po površini vode. Zajednički naziv za ovu vrstu robota je plutajući roboti. Isto kao i kod zrakoplova mnogi moderni brodovi mogu se smatrati robotima [5].



Slika 7. Plivajući robot

2.2. Upravljanje robota

Kako bi robot obavio određeni zadatak njegovim stupnjevima slobode gibanja, odnosno mehaničkom strukturom potrebno je adekvatno upravljati. Upravljanje robota odvija se u tri faze: prikupljanje informacija, obrada dobivenih informacija i djelovanje. Robot dobiva informacije pomoću senzora koje se potom obrađuju i na temelju toga upravljački sklop šalje odgovarajuće signale aktuatorima. Razlikuju se tri razine autonomnosti robota [10]:

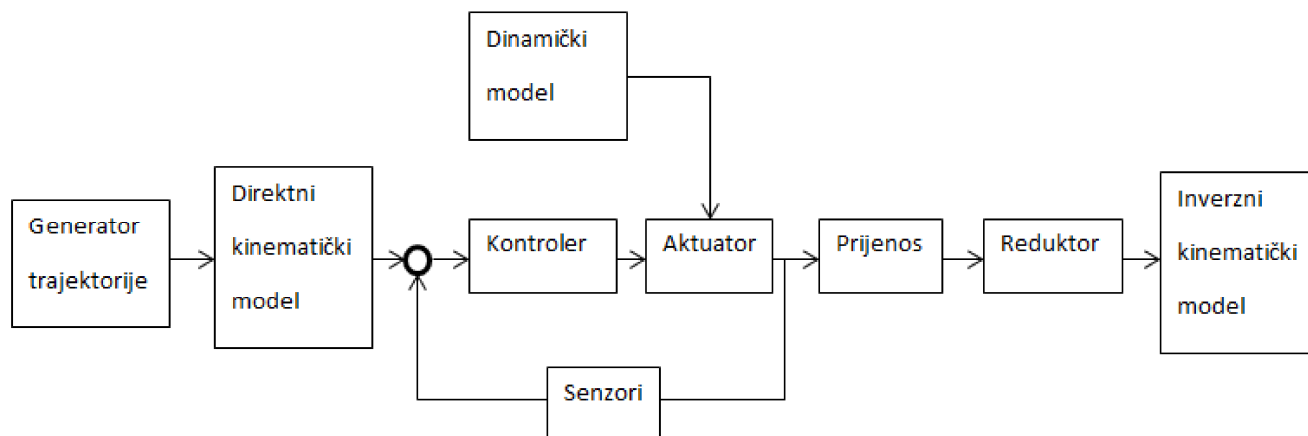
- Direktno upravljanje gotovo svu kontrolu daje čovjeku. Interakcija čovjeka i robota odvija se daljinskim upravljanjem.
- Kod posrednog upravljanja čovjek zadaje robotu zadatke, a robot sam odlučuje na koji način će ih izvršiti.
- Autonomni roboti mogu duže vrijeme raditi bez ljudskih naputaka. Pritom veća razina autonomnosti ne znači da robot mora imati bolje kognitivne sposobnosti. Naprimjer autonomnim robotima se smatraju i robotske ruke na traci za montažu koje nemaju visoke kognitivne sposobnosti, već rade unutar zadanog okvira rada.

Vrste robota s obzirom na način komunikacije s operatorom [7]:

- Kod daljinskog upravljanja svakim pokretom upravlja čovjek.
- Rad robota uz nadzor čovjeka. Na ovaj način operater zadaje generalne promjene pokreta i pozicija, a robot samostalno odlučuje kako će pojedini aktuator raditi da bi se ostvario zadatak.
- Autonomija na razini zadatka. Operater određuje samo zadatak koji robot mora obaviti, a sve ostalo odlučuje robot.
- Potpuna autonomija. Robot sam sebi određuje zadatke i obavlja ih bez ljudske interakcije.

Proučavanje gibanja tijela može se podijeliti na kinematiku i dinamiku. Direktnim kinematičkim modelom izračunavaju se pozicija, orijentacija, brzina i ubrzanje mehaničke konstrukcije ako su poznate vrijednosti pripadnih aktuatora. Inverznim kinematičkim problemom moguće je odrediti vrijednosti stupnjeva slobode gibanja aktuatora kako bi se postigla željena pozicija, orijentacija, brzina i ubrzanje konstrukcije. Nakon provedbe kinematičkih problema prelazi se na dinamičku analizu koja proučava posljedice djelovanja sila na kretanje robota. Direktnim dinamičkim problemom moguće je odrediti ubrzanja

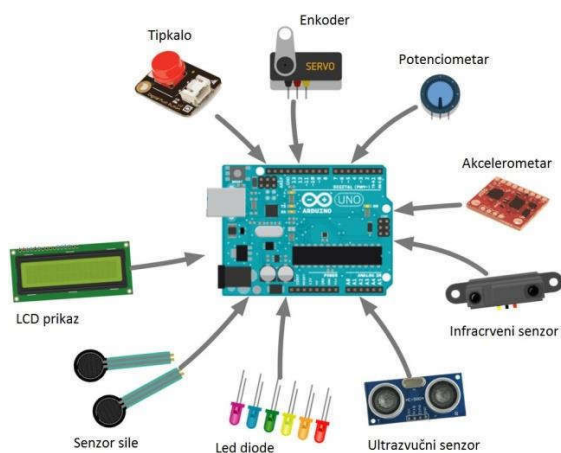
pokretnih dijelova robota ako su poznate sile koje na njih djeluju. Ova metoda koristi se pri računalnim simulacijama. Inverzni dinamički problem bavi se proučavanjem potrebnih sila aktuatora kako bi se dobila željena ubrzanja članaka mehanizma. Ova metoda služi za poboljšanje algoritma upravljanja robota [8].



Slika 8. Model upravljanja robotom

2.3. Senzorika

Senzori su uređaji koji mjere fizikalna stanja ili promjene nekih uređaja ili okoline. Kod robota može se govoriti o dvije vrste senzora: senzori unutarnjih stanja i senzori vanjskih stanja. Senzori unutarnjih stanja mjere poziciju, orijentaciju i brzinu članaka robota. Primjer ovakvih tipova senzora su akcelerometar, senzori kuta nagiba, senzori sile, pozicije ili brzine. Senzori vanjskih stanja uključuju osjet dodira, kombinaciju kamera koja pruža robotu 'vid' i zvučne senzore.

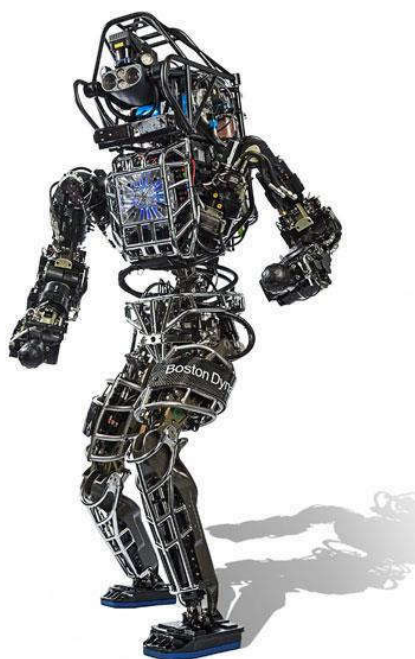


Slika 9. Tipovi senzora u mobilnim robotima

3. HUMANOIDNI ROBOTI

Humanoidni robot je robot koji svojim oblikom odgovara čovjeku. Tipično su sastavljeni od glave, torza, dvije ruke i dvije noge, no mogu biti sastavljeni od kombinacije bilo kojih nabrojanih komponenti. Koriste se za funkcionalne svrhe kao što je rukovanje alatom, za eksperimentalne svrhe s ciljem pručavanja dvonožnog hoda i druge zadatke.

Da bi se izradio humanoidni robot u istraživačke svrhe potrebno je određeno predznanje o ljudskoj anatomiji i ponašanju. Suprotno tome pokušaji simulacije ljudskog ponašanja mogu doprinjeti njegovu razumijevanju. Iako je glavni cilj istraživanja humanoidnih robota bio poboljšanje ortoza i proteza danas takvi roboti mogu funkcionirati potpuno autonomno. Osim za istraživanje humanoidni roboti rade se kako bi pomogli čovjeku u obavljanju svakodnevnih, prljavih i opasnih poslova, te za pomoć starijim i nemoćnim osobama. Pošto mogu rukovati alatima namijenjenima za čovjeka mogu naći primjenu i u industriji, npr. na pokretnoj traci [4].

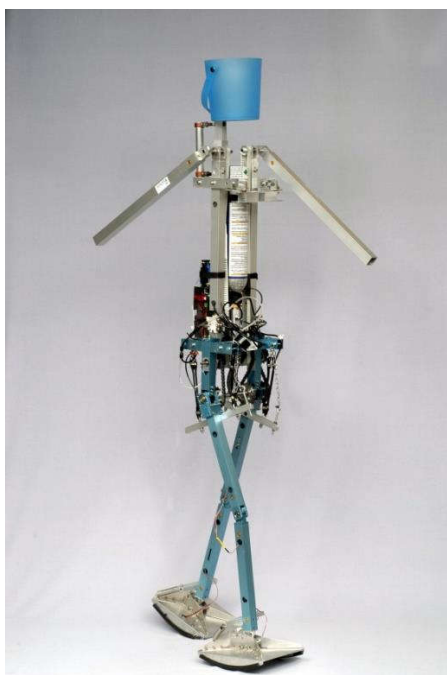


Slika 10. Humanoidni robot

Aktuatori su uređaji koji uzrokuju gibanje robota. Pošto su humanoidni roboti rađeni s ciljem da oponašaju ljudske kretnje koriste se aktuatori koji se ponašaju kao mišići i zglobovi. Obično se koriste rotacijski električni, pneumatski, hidraulički, piezoelektrični ili ultrazvučni

aktuatori. Hidraulički i električni aktuatori ponašaju se vrlo kruto, pa ih je u sustav potrebno ugraditi koristeći relativno kompleksnu upravljačku povratnu petlju. Električni motori koriste se za veće brzine i mala opterećenja, a hidraulički obrnuto. Piezoelektrični aktuatori generiraju malu kretnju i veliku silu pod utjecajem napona. Mogu se koristiti za jako precizno pozicioniranje. Ultrazvučni aktuatori mogu proizvesti kretnju reda mikrometra pri ultrazvučnim frekvencijama. Koriste se za kontrolu vibracije, sustave pozicioniranja i kao brze sklopke. Pneumatski aktuatori obično su linearni. Namijenjeni su za male brzine i srednja opterećenja. Vrste pneumatskih aktuatora su: cilindar, zračni mijeh, pneumatski koračni motori i umjetni pneumatski mišići.

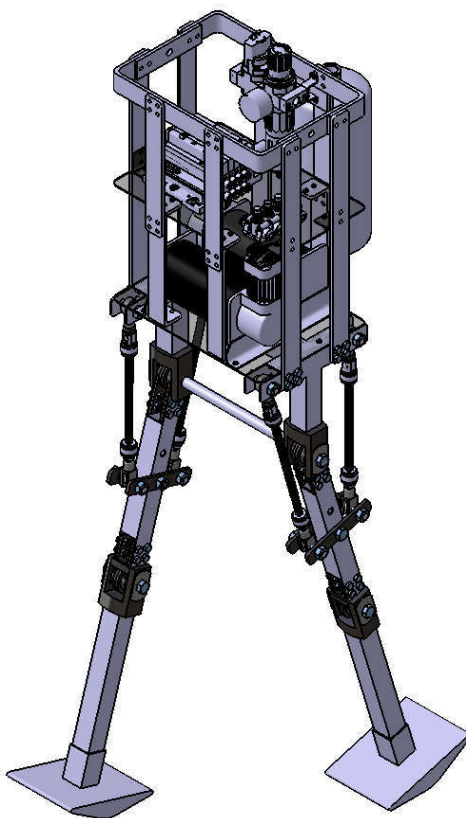
Za razliku od ostalih tipova robota humanoidni roboti moraju se pokretati nogama i njihov hod mora podsjećati na ljudski. Da bi se za pokret robota iskoristila minimalna potrebna energija provedena su mnoga istraživanja dinamike i strukture regulacije ovakvih sustava. Glavni dio regulacije je održavanje stabilnosti sustava i zadržavanje centra mase u potrebnoj poziciji kako bi se postigla stabilnost. Druga bitna razlika humanoidnih robota u odnosu na ostale je to da se oni kreću i skupljaju informacije iz stvarnog svijeta, dok su naprimjer industrijski roboti stacionirani unutar visoko organiziranog prostora. Kako bi se humanoidima omogućilo kretanje u kaotičnim prostorima planiranje i kretanje robota mora se temeljiti na detekciji sudara s okolinom, planiranju puta i izbjegavanju prepreka [4].



Slika 11. Pneumatski humanoidni robot Denise sveučilišta TUDelft

4. KONSTRUKCIJA DVONOŽNOG ROBOTA

U ovom radu predložena je konstrukcija autonomnog humanoidnog mobilnog robota. Pri konstrukciji velika pažnja pridodana je na dva aspekta: jednostavnosti konstrukcije i postizanju mehaničke stabilnosti robota. Za aktuator nogu odabrani su pneumatski mišići što znači da je za njihov pravilan rad potrebna pripadajuća pneumatska oprema koja uključuje kompresore, spremnik zraka, filter i regulator tlaka, električno aktivirane ventile i prigušno-nepovratne ventile. Prilikom izrade konstrukcije trebalo je pripaziti na smještaj komponenata i njihovu poziciju unutar konstrukcije kako bi se centar mase sklopa pravilno pozicionirao. Zbog budućih planova da se ovaj robot praktično izradi posebna pozornost posvećena je jednostavnosti i cijeni konstrukcije. Osim pneumatskih i električnih komponenti, većina ostalih dijelova konstrukcije sastavljena je od aluminijskih profila jednostavnih oblika pretežno povezanih vijcima. Također važno svojstvo je postizanje stabilnost robota u nultom položaju, tj. kada je robot isključen. U tu svrhu konstruirana su stopala s velikom površinom dodira s podlogom, a centar mase trupa sveden je u najbližu moguću točku od podloge.



Slika 12. Konstrukcija robota

4.1. Konstrukcija noge

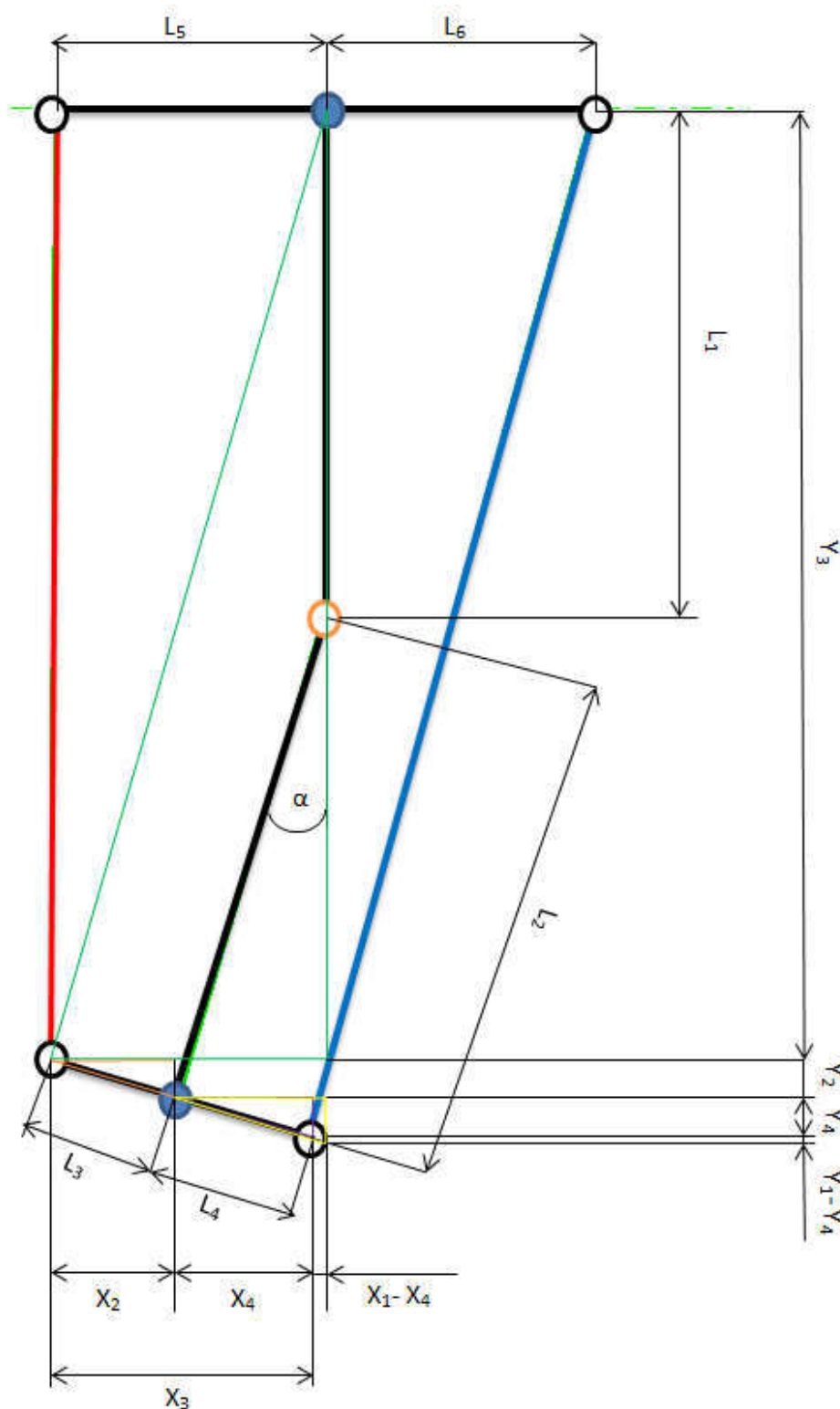
Kako je cilj izrade ovog robota ispitivanje hoda humanoidnih robota najvažniji dio sklopa su noge. Noge su člankovite strukture, svaka od njih pogonjena je s dva pneumatska mišića, a služe kao poveznica između robota i podloge. Pomoću njih prijenosi se sila, diktira se način gibanja robota i preuzima se težina konstrukcije. Da bi se robot uopće mogao gibati na zamišljeni način noga se mora sastojati od dva članka. Jedan povezuje nogu s postoljem robota, a drugi donji i gornji dio noge. Zglob između članaka noge zamišljen je da funkcionira kao koljeno što znači da je dozvoljena rotacija samo u jednom smjeru. Kako bi se omogućila rotacija zglobova i postiglo gibanje svaki stupanj slobode gibanja robota na konstrukciju je vezan pomoću kugličnog ležaja smještenog u pripadnom kućištu. Hod robota zamišljen je na način da se mišićima pogoni prvi članak noge robota, dok se drugi članak giba kao posljedica gibanja prvog članka. Na temelju predviđenih dimenzija postolja robota i noge moguće je odrediti potrebne dimenzije mišića u nominalnom i skraćenom stanju. Slika 13. prikazuje geometriju potrebnu da bi povezali postolje i noge. Pneumatski mišići prikazani su crvenom i plavom bojom, a zglobovi oko kojih oni rotiraju šupljim crnim križićima. Konstantna geometrija prikazana je crnim linijama, uklješteni spojevi označeni su plavim kružićima i zglob oko koje rotira gornji članak noge označen je šupljim žutim kružićem. Na temelju slike moguće je odrediti potrebnu duljinu mišića M_1 u skraćenom stanju prema izrazu:

$$M_1 = \sqrt{(L_5 - X_3)^2 + Y_3^2} \quad (1)$$

Na analogni način izračuna se nominalna duljina mišića M_2 prema izrazu:

$$M_2 = \sqrt{(L_6 - X_4 + X_1)^2 + (Y_3 + Y_2 + Y_4)^2} \quad (2)$$

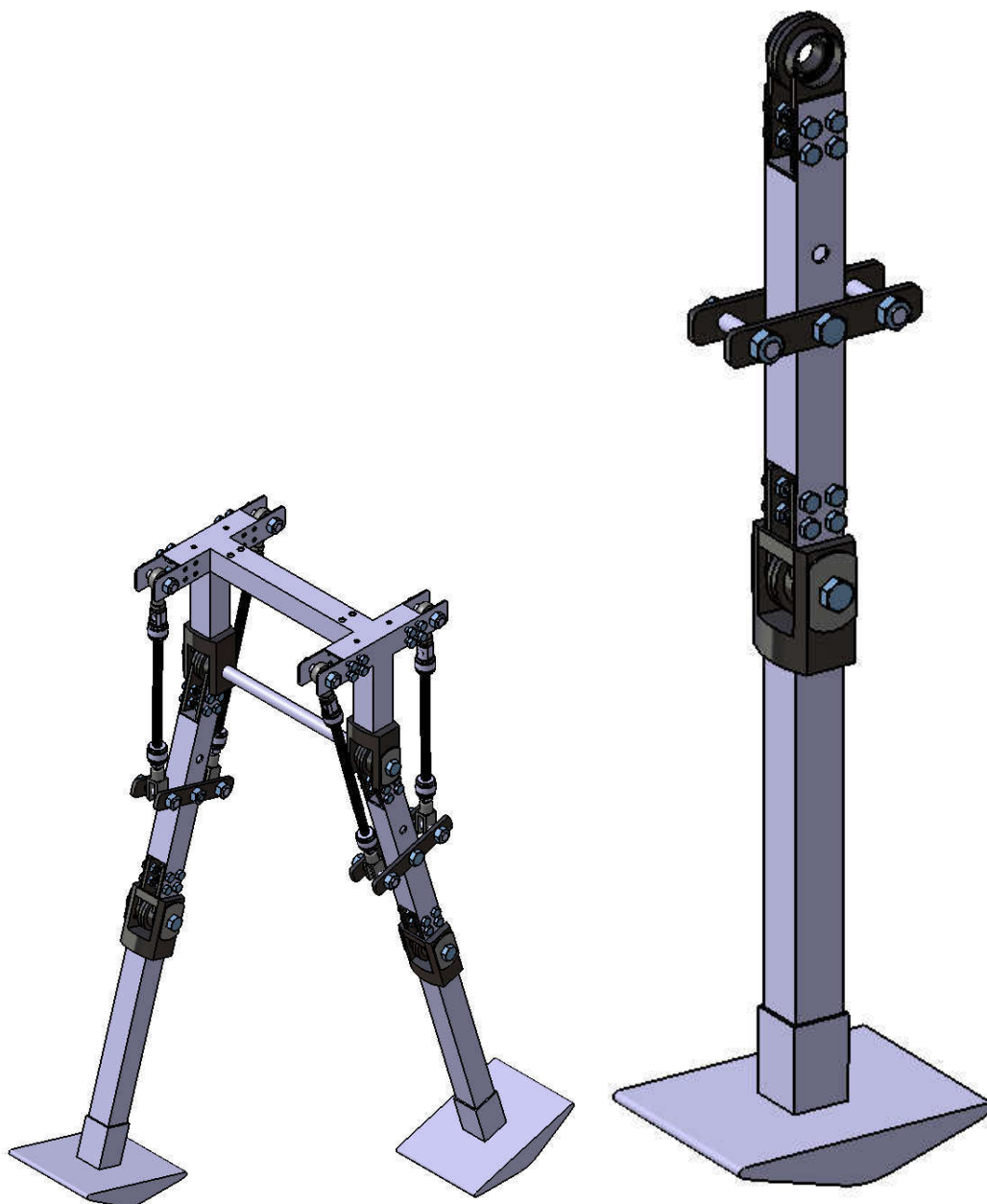
Duljine M_1 i M_2 u drugom krajnjem slučaju, kada je kut između postolja i noge jednak $-\alpha$, nije potrebno računati radi simetrije. Pošto duljine M_1 i M_2 predstavljaju apsolutnu udaljenost između zglobova na koje će mišić biti spojen potrebno je od njih oduzeti konstantne duljine komponenti koje služe za pričvršćivanje mišića. Na temelju navedenog izabrani su pneumatski mišići tvrtke Festo promjera 10 mm i duljine 180 mm koji su za konstrukciju spojeni pripadnom viličastom i zglobnom glavom istog proizvođača.



Slika 13. Geometrija noge

Donji i gornji članak noge povezani su tako da čine rotacijski zglob oko osi ležaja. Ovaj stupanj slobode gibanja nije definiran pripadnim aktuatorom, već se slobodno giba kao

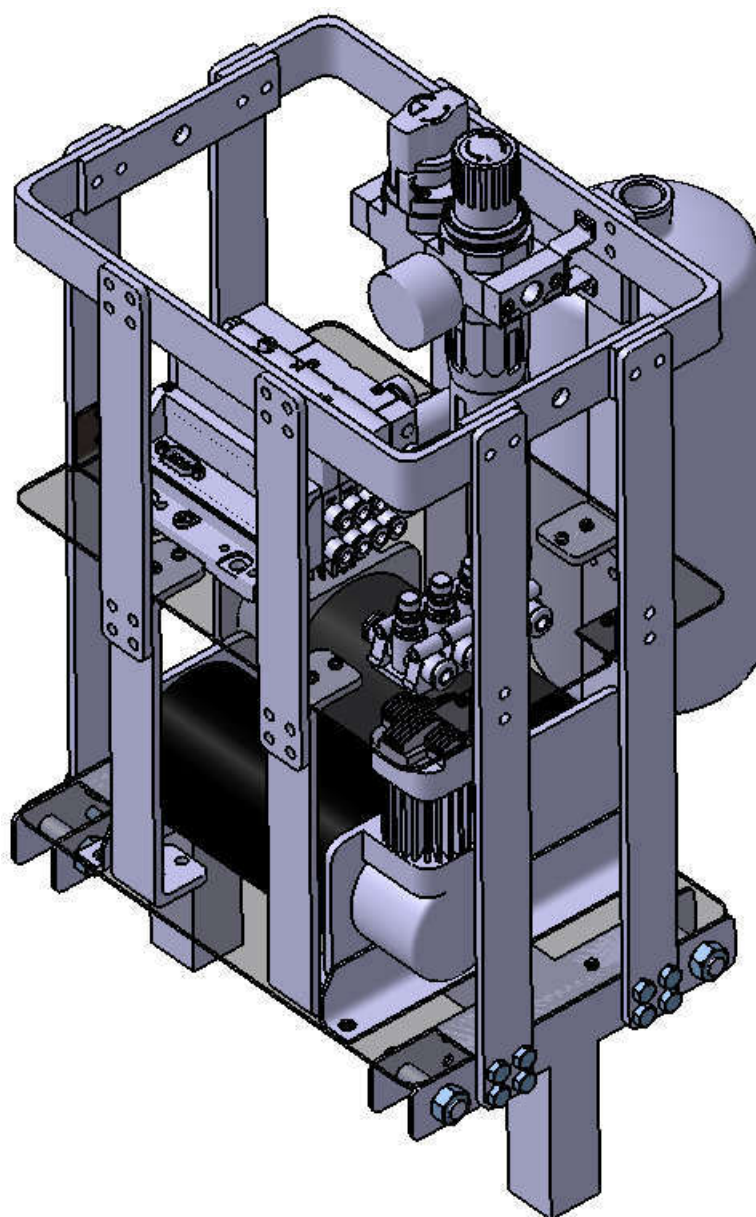
posljedica gibanja gornjeg članka noge. Pretpostavlja se da će se zbog težine, inercije i zakrivljenog oblika stopala, i zbog zgloba koji djeluje kao koljeno donji članak noge u jednom smjeru gibanja ponašati sukladno gornjem članku noge, a u drugom smjeru članci će biti kolinearni. Kolinearnost članaka omogućuje prebacivanje težišta robota.



Slika 14. Konstrukcija noge

4.2. Konstrukcija trupa

Trup robota sastavljen je od aluminijskih profila i akrilnih staklenih ploča. Kao što su kod čovjeka organi smješteni unutar trupa, tako i robot u trupu sadrži sve potrebne pneumatske i električne komponente. Zbog svoje težine i veličine kompresori su smješteni na prvu razinu trupa s ciljem da težište robota bude što niže. Preostale pneumatske komponente relativno su lagane i nalaze se na drugoj razini. Iako spremnik svojom težinom znatno utječe na ukupni centar mase robota zbog svoje veličine i dizajna smješten je na leđa robota. Sve električne komponente nalaze se na trećoj razini trupa.



Slika 15. Konstrukcija trupa

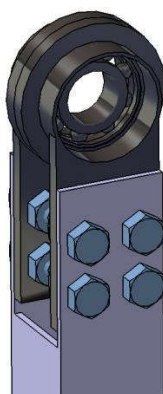
4.3. Smjernice za praktičnu izvedbu konstrukcije hodajućeg robota

Prvi korak pri sastavljanju konstrukcije je montiranje ležaja na mirujuću osovinu. Odabrani su ležajevi tvrtke SKF oznake 6002. Izvedena je takozvana plivajuća osovinu koje se sastoji od dva slobodna ležajna mjesta.



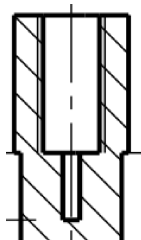
Slika 16. Ležaj SKF 6002

Da bi se omogućilo pravilno montiranje ležaja potrebno je konstruirati kućište unutar kojeg se on smješta. Dvodjelno kućište onemogućuje aksijalno gibanje vanjskog prstena ležaja i istovremeno služi kao poveznica gornjeg članka noge i statičkog dijela konstrukcije. Spoj s nogom ostvaren je vijcima kako prikazuje Slika 17.



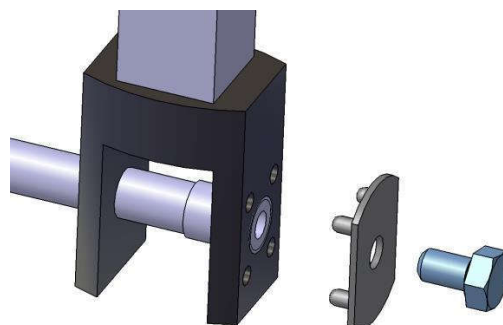
Slika 17. Kućište ležaja

Osovinu nije izvedena stupnjevano jer bi se time onemogućilo montiranje ležaja. Svaki ležaj postavlja se na rub osovine, a potom se unutarnji prsteni s vanjske strane podupiru debljom osovinom. Unutar tanje osovine nalazi se provrt s M3 navojem koji omogućuje spajanje s debljom osovinom. Slika 18. prikazuje način ostvarenja ležajnog mjesta.



Slika 18. Oblikovanje ležajnog mjesta

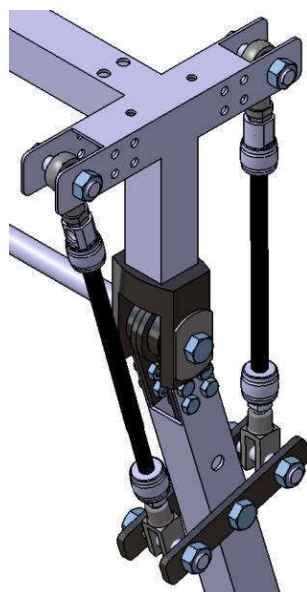
Provrt s navojem na debljoj osovinu služi za povezivanje s preostalim dijelom konstrukcije. Vijak preko fiksatora koji na sebe preuzima opterećenje osigurava mirovanje osovine. Slika 19. prikazuje navedeni spoj.



Slika 19. Spoj mirujuće osovine i postolja

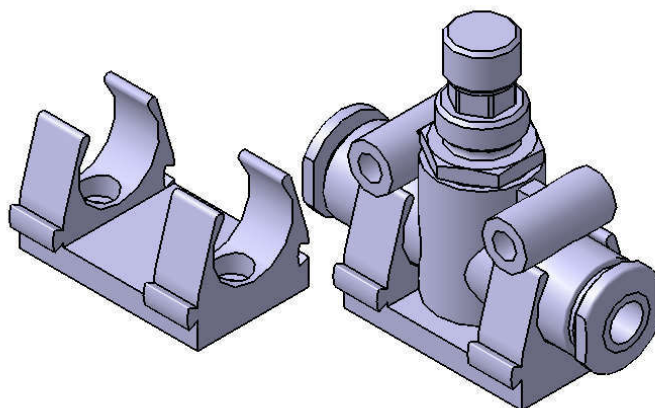
Uz isti ležaj i pripadno kućište analogno se ostvaruje rotacijski zglob između gornjeg i donjeg članka noge. Razlika je to što svaki zglob ima zasebnu osovinu koja ni u ovom slučaju nije izvedena stupnjevano, već spojem tri zasebna dijela.

Sljedeći korak je montiranje umjetnih pneumatskih mišića. U slučaju čvrstih spojeva mišića s pripadajućim osovinama konstrukcija bi bila kruta, pa je potrebno osigurati njihovu međusobnu rotaciju što se ostvaruje primjenom zglobne glave. Pošto odabrani pneumatski mišići DMSP tvrtke Festo imaju navoje na svojim krajevima odabrane su pripadne viličaste i zglobne glave istog proizvođača. Osovine koje povezuju mišiće s nogom i postoljem od aksijalnog pomicanja osigurane su maticama.



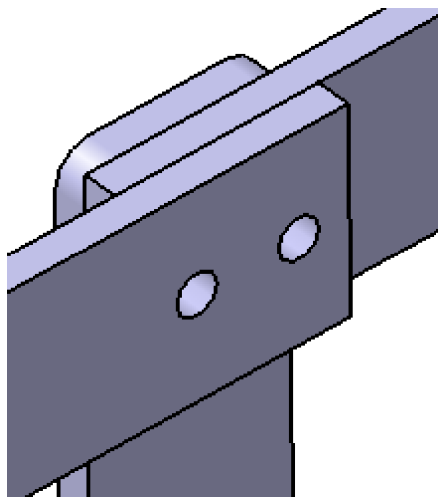
Slika 20. Montaža pneumatskih mišića

Prilikom sastavljanja trupa robota potrebno je obratiti pažnju na smještaj komponenata. U prilogu se nalazi sklopni crtež kao i zasebni nacrti dijelova cijelog robota. Sve komponente pneumatskog sustava za konstrukciju su vezane vijcima. Izuzetak su prigušno-nepovratni ventili za koje proizvođač pruža gotova kućišta, pa ih je potrebno u njih samo utaknuti. Navedena kućišta također imaju utore koji omogućuju njihovo međusobno povezivanje u jednu cjelinu.



Slika 21. Montaža prigušno-nepovratnih ventila

Neki od vijčanih spojeva povezuju tri dijela konstrukcije što znači da prilikom montaže treba pripaziti kako ne bi došlo do zabune ili nedostatka provrta za spojeve. Jedan od takvih spojeva prikazuje Slika 22.



Slika 22. Spoj tri zasebna djela

5. ENERGETSKI SUSTAV ROBOTA

Pošto je robot pokretan umjetnim pneumatski mišićima energetski sustav robota većinom se sastoji od pneumatskih komponenti. Iako pneumatski mišići nisu tipičan odabir aktuatora koji se primjenjuje kod mobilnih robota ovdje se koriste zbog njihovog svojstva elastičnosti. Njihova primjena ublažava vibracije i udare koje nastaju prilikom hoda robota. Osim toga ponašanje koje podsjeća na biološke mišiće omogućuje prirodiju imitaciju dvonožnog hoda.

5.1. Umjetni pneumatski mišići

Umjetni pneumatski mišići su pogonske komponente kod kojih se elastična membrana rasteže i skuplja pod djelovanjem stlačenog zraka, pri čemu se ostvaruje neki pomak i vlačna sila. Cilj im je imitacija rada prirodnih mišića. Pneumatski mišići vrlo su lagani jer im je glavni dio tanka membrana izrađena od gume, lateksa i drugih polimernih materijala. Važna prednost u odnosu na ostale tipove aktuatora je njihovo elastično ponašanje. Ako se na pneumatski mišić nametne sila on toj sila 'popušta' bez promjene korisne pogonske sile. Sila mišića nije ovisna samo o tlaku, već i o količini zraka koja je 'napuhana' u mišić. Na temelju toga matematički model pneumatskog mišića je nelinearan što ga čini zahtjevnijim za precizno reguliranje od klasičnih pneumatskih cilindara. Kompresibilnost zraka također je prednost jer dopušta 'popustljivost' mišića. Kao i kod ostalih pneumatskih aktuatora za upravljanje obično su potrebni elektromagnetski ventili i spremnik stlačenog zraka. Još neke od prednosti pneumatskih mišića su lako održavanje, dugi vijek trajanja jer nemaju pokretnih dijelova, neosjetljivost na vlagu, nečistoće i vibracije [6].

Postoje različite izvedbe umjetnih pneumatskih mišića, no svi rade na sličan način. Razlike se nalaze u materijalima građe, obliku i nazivnom promjeru, razini kontrakcije i radnim tlakovima. Ako se dva mišića spregnu u antagonistički par postiže se imitacija prirodnih bioloških mišića. Slika 25. prikazuje spreg pneumatskih mišića. Najpoznatiji tip umjetnog mišića je McKibbenov pneumatski mišić.

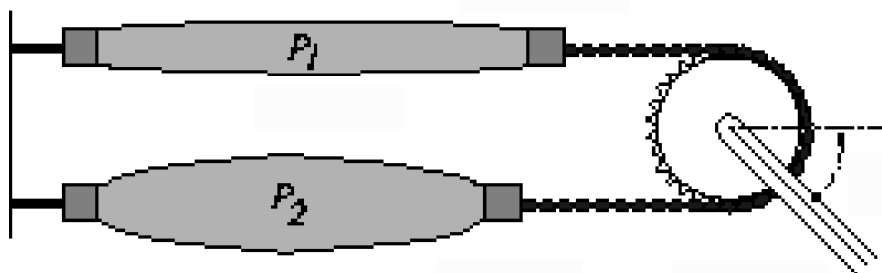


Slika 23. McKibbenov pneumatski mišić



a) Mišić s uzdužnom armaturom b) Pneumatski mišić tvrtke Festo c) Pneumatski mišić tvrtke Shadow

Slika 24. Vrste pneumatskih mišića



Slika 25. Spreg pneumatskih mišića

5.2. Komponente pneumatskog sustava

Kompresori:

Zadovoljavanje uvjeta autonomnosti zahtijeva od robota vlastiti izvor napajanja zrakom. U tu svrhu odabrani su kompresori Viair 400C Dual Value Pack. Prema shemi priloženoj u prilogu kompresori se spajaju paralelno i svaki se preko 12V releja spaja na izvor. Zajedno im je potrebna maksimalna struja od 59 A i teže 7.85 kg, a mogu napajati spremnik zraka maksimalnog volumena 37.85 l. Nazivni tlak svakog od kompresora je 10 bara, a zajedno ostvaruju nazivni protok od 130 l/s.



Slika 26. Kompresor Viair 400C

Specifications	Performance Data																						
<ul style="list-style-type: none"> - 12-Volt - Permanent Magnetic Motor - Duty Cycle: 33% @ 100 PSI - Max. Working Pressure: 150 PSI - Max. Air Tank Size: 10.0 Gallon - Max. Amp Draw: 59 Amps - Ingress Protection Rating: IP67 - Dimensions: 9"L x 4"W x 6.75"H (Each Unit) - Net Weight: 17.30 lbs. <p> User Manual Dimensional Drawings Wiring Diagram </p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Specifications</th> <th>Performance Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Fill Rates</td> </tr> <tr> <td>2.0 Gallon Tank</td> <td>Fill Rate</td> </tr> <tr> <td>0 to 145 PSI</td> <td>1 min. 00 sec. (± 05 sec.)</td> </tr> <tr> <td>110 to 145 PSI</td> <td>20 sec. (± 03 sec.)</td> </tr> <tr> <td>2.5 Gallon Tank</td> <td>Fill Rate</td> </tr> <tr> <td>0 to 145 PSI</td> <td>1 min. 15 sec. (± 05 sec.)</td> </tr> <tr> <td>110 to 145 PSI</td> <td>25 sec. (± 03 sec.)</td> </tr> <tr> <td>5.0 Gallon Tank</td> <td>Fill Rate</td> </tr> <tr> <td>0 to 145 PSI</td> <td>2 min. 30 sec. (± 10 sec.)</td> </tr> <tr> <td>110 to 145 PSI</td> <td>52 sec. (± 05 sec.)</td> </tr> </tbody> </table>	Specifications	Performance Data	Fill Rates		2.0 Gallon Tank	Fill Rate	0 to 145 PSI	1 min. 00 sec. (± 05 sec.)	110 to 145 PSI	20 sec. (± 03 sec.)	2.5 Gallon Tank	Fill Rate	0 to 145 PSI	1 min. 15 sec. (± 05 sec.)	110 to 145 PSI	25 sec. (± 03 sec.)	5.0 Gallon Tank	Fill Rate	0 to 145 PSI	2 min. 30 sec. (± 10 sec.)	110 to 145 PSI	52 sec. (± 05 sec.)
Specifications	Performance Data																						
Fill Rates																							
2.0 Gallon Tank	Fill Rate																						
0 to 145 PSI	1 min. 00 sec. (± 05 sec.)																						
110 to 145 PSI	20 sec. (± 03 sec.)																						
2.5 Gallon Tank	Fill Rate																						
0 to 145 PSI	1 min. 15 sec. (± 05 sec.)																						
110 to 145 PSI	25 sec. (± 03 sec.)																						
5.0 Gallon Tank	Fill Rate																						
0 to 145 PSI	2 min. 30 sec. (± 10 sec.)																						
110 to 145 PSI	52 sec. (± 05 sec.)																						

Slika 27. Specifikacije kompresora

Spremnik zraka:

Spremnik zraka pohranjuje stlačeni zrak koji dovode kompresori i provodi ga do pripreme grupe. Uz to može poslužiti za kompenzaciju fluktuacije tlaka i može pružiti veće količine zraka ako je potrebno. Kako je već navedeno spremnik je velikih dimenzija u odnosu na preostali dio konstrukcije. Ako se uzme u obzir njegova težina i pozicija na konstrukciji može se zaključiti da spremnik uvelike utječe na stabilnost robota. Zbog zahtjeva autonomnosti neizbježan je dio energetskeg sustava. Odabran je spremnik zraka CRVZS-2 proizvođača Festo. Volumen mu iznosi 2 l, a radni tlak kreće se između 1 bar i 16 bar.



Slika 28. Spremnik zraka Festo CRVZS-2

Priprema grupa:

Priprema grupa sastoji se od filtra zraka i regulatora tlaka. Odabrana je priprema grupa LFRS-1/8-D-7-MINI-A proizvođača Festo. Uloga filtra je uklanjanje nečistoća iz pneumatskog sustava, te ispuštanje kondenzata. Navedena priprema grupa sadrži filter sa stupnjem filtracije 5 μm i automatskim ispuštanjem kondenzata. Regulator tlaka ograničuje vrijednost tlaka na željenu vrijednost. Na taj način može se utjecati na vrijeme pražnjenja

spremnika. Izabrani regulator omogućuje radne tlakove od 0.5 bar do 7 bar.



Slika 29. Pripremna grupa Festo LFRS-1/8-D-7-MINI-A

Ventilski blok:

Pneumatski sustav sastoji se od četiri aktuatora koja je potrebno zasebno upravljati, pa je za njihovu aktivaciju potrebno jednako toliko ventila. Radi uštede na prostoru i jednostavnosti odabire se ventilski blok 34P-MS2-UAA-KK. Blok se sastoji od četiri elektromagnetskih 3/2 on/off ventila. Svi ventili zrak dobivaju kroz isti vod, a isto tako se i odzračivanje svih ventila provodi istim vodom. Električni priključak ostvaruje se DB9 8-pinskim konektorom. Upravljanje ventilima vrši se pomoću mikrokontrolera.



Slika 30. Ventilski blok Festo

Prigušno-nepovratni ventili:

Prigušno-nepovratni ventil prigušuje protok u jednom smjeru, dok ga u suprotnom smjeru slobodno propušta. Time je moguće regulirati protok na ulazu u aktuator čime se postiže brži ili sporiji rad pneumatskih mišića. Odabran je prigušno-nepovratni ventil GR-QS-6 proizvođača Festo. Budući da u sustavu imamo četiri aktuatora, a svaki aktuator zahtijeva svoj vlastiti prigušno-nepovratni ventil, potrebna su i četiri prigušno-nepovratna ventila.



Slika 31. Prigušno-nepovratni ventil Festo GR-QS-6

Umjetni pneumatski mišići:

Pneumatski mišići opisani su uvodnom djelu ovog poglavlja. Sustav predviđa četiri aktuatora, pa su potreba četiri mišića. Odbrani su DMSP-10-180N-RM-CM pneumatski mišići proizvođača Festo. Nazivni promjer im je 10 mm, najveća promjena duljine pri skupljanju iznosi 25% nominalne duljine mišića pri maksimalnom tlaku od 8 bara, a maksimalna sila prilikom skupljanja iznosi 630 N.



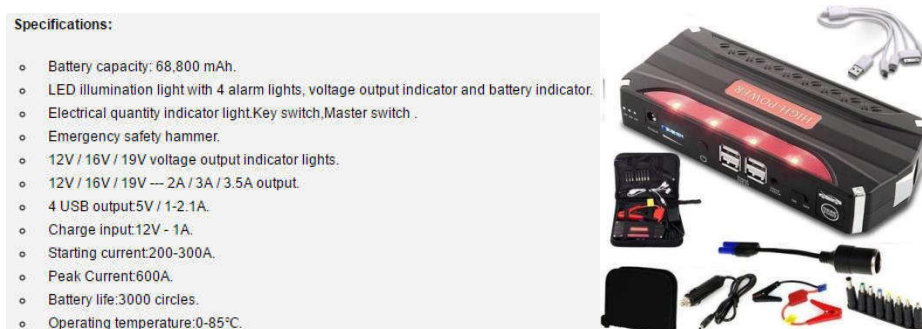
Slika 32. Umjetni pneumatski mišići Festo DMSP

6. UPRAVLJAČKI SUSTAV

Svaki složeni mehanički sustav zatijeva upravljačke jedinice. U ovom slučaju energetski sustav sastoji se od pretežno pneumatskih komponenti, uz izuzetak baterija koje napajaju kompresore. S obzirom da su baterije električne komponente opisat će se u ovom poglavlju. Za pravilno funkcioniranje upravljačkog sustava potrebna je neka vrsta mjerenja unutarnjih ili vanjskih stanja robota. Na temelju mjerenja moguće je sustav regulirati za pravilno obavljanje zadanog zadatka. Kako su noge najvažniji dio hodajućeg robota logično je da se u smislu mjerenja odabiru stupnjevi slobode gibanja noge. Pošto svaka noga ima jedan upravljani stupanj slobode gibanja sveukupno su potrebna dva senzora. Odabiru se inkrementalni enkoderi malih dimenzija koji mjere kut zakreta pojedinog članka noge. Također je važno da robot registrira kada mu je noga dotakla tlo. U tu svrhu na dnu stopala smještena su tipkala, pa kada noga dotakne tlo tipkalo se aktivira. Da bi sve komponente upravljačkog sustava objedinili potreban je mikrokontroler koji sadrži algoritam upravljanja robotom.

Baterija:

Baterija služi kao glavni izvor napajanja sustava. Iz nje je potrebno napajati kompresore, mikrokontroler, senzore i ostale električne komponente. Kako bi to bilo moguće baterija mora imati dovoljan kapacitet, ali i pružati dovoljno veliku struju za kompresore. Pošto se i kompresori i mikrokontroler napajaju iz 12 V istosmjernog izvora odabire se baterija istog napona. Odabrana baterija ima kapacitet 68.8 Ah i vršnu struju od 600 A. Kompresori se spajaju u paralelu i zajedno im je potrebna struja od 59 A. Nije teško zaključiti da će navedena baterija biti adekvatna za njihovo napajanje. Dobro svojstvo ove baterije jesu USB izlazi koji nam omogućuju jednostavno povezivanje mikrokontrolera i baterije.



Slika 33. Specifikacije baterije

Mikrokontroler:

Radi cijene, funkcionalnosti, tehničke podrške i dostupnosti odabran je mikrokontroler Arduino Leonardo. Pločica je temeljena na mikrokontroleru Atmega32u4. Sadrži 20 digitalnih ulaza/izlaza od kojih se sedam može koristiti kao 8-bitni PWM izlazi i dvanaest kao analogni ulazi. Procesor radi na 16 MHz . Kontroler također sadrži priključak napajanja, reset tipku i micro USB priključak koji omogućuje jednostavno povezivanje s računalom.

Microcontroller	ATmega32u4
Operating Voltage	5V
Input Voltage (Recommended)	7-12V
Input Voltage (Limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM Channels	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.3 mm
Weight	20 g



Slika 34. Arduino Leonardo

Senzori:

Kut zakreta gornjeg članka noge mjeri se enkoderom. Zbog relativno skućenog prostora potreban je enkoder malih dimenzija. Kako je osovina mirujuća senzor nije moguće montirati na osovinu, već na kućište ležaja. Odabrani su dvodjelni inkrementalni enkoderi MR047B tvrtke RLS. Magnetski prsten montira se na kućište ležaja dok se mjerni uređaj adekvatno pozicionira u odnosu na prsten. Specifikacije enkodera nalaze su u prilogu.



Slika 35. Inekrmentalni enkoder RLS MR047B

Da bi se zadržala stabilnost hoda robota potrebno je mjeriti nagib cijele konstrukcije u smjeru sve tri koordinatne osi. U tu svrhu potreban je akcelerometar, tj. žiroskop. Murata SCA3100-D04 akcelerometar zadovoljavajuće je osjetljivosti. Proizvođač također daje potrebne podatke za izradu tiskane pločice koji se nalaze u prilogu.



Parameter	Condition	Condition			Units
		Min	Typ ^{A)}	Max	
Analog and digital Vdd		3.0		3.6	V
Current consumption	Active mode		3	5	mA
	Power down mode		0.12		mA
Measurement range	Measurement axes (XYZ)	-2		2	g
Operating temperature		-40		125	°C
Offset total error ^{B)}	Temperature range -40 ... +125 °C	-70		70	mg
Offset calibration error ^{C)}	@25 °C ±5°C	-40	±16	40	mg
Offset temperature drift	Temperature range -40 ... +125 °C	-30 ^{D)}	±18 ^{E)}	30 ^{D)}	mg
Sensitivity	12 bit output		900		Count/g
	Between ±3°		0.0637		°/Count
Total sensitivity error	Temperature range -40 ... +125 °C	-4		4	% FS
Sensitivity calibration error	@25 °C ±5°C		±0.5		% FS
Sensitivity temperature drift	Temperature range -40 ... +125 °C		±0.8		% FS
Linearity error	+1g ... -1g range	-20		20	mg
Cross-Axis sensitivity		-3.5	±2.5	+3.5	%
Zero acceleration output			0		Counts
Amplitude response ^{F)}	-3dB frequency	30		55	Hz
Noise				5	mg RMS
Power on setup time				0.1	s
Output data rate			2000		Hz
Output load				50	pF
SPI clock rate				8	MHz
ESD protection	Human Body Model			2	kV
	Charge Device Model			1	kV
Moisture sensitivity level	IPC/JEDEC J-STD-020C, Level 3			20 000	g
Mechanical shock					
ID register value	Customer readable ID register (27hex)			C1	

Slika 36. Akcelerometar Murata SCA3100-D04

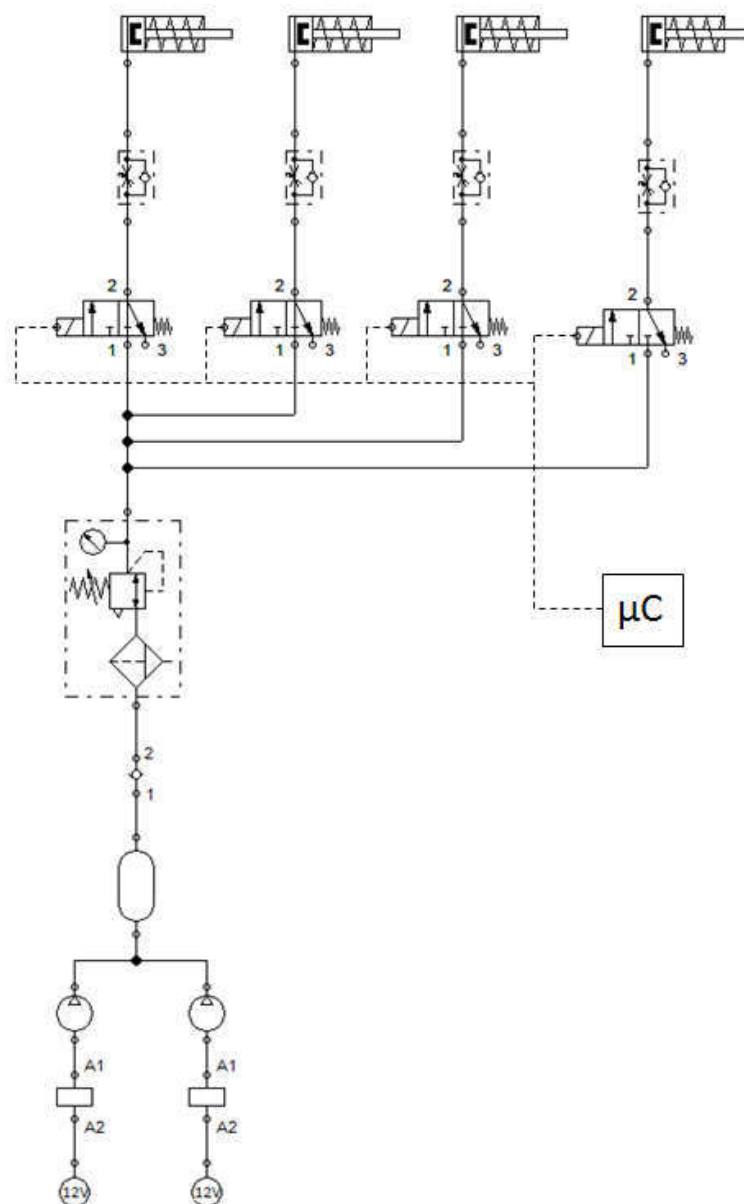
Posljednji tip senzora obično je tipkalo koje registrira je li stopalo dotaklo tlo. Zbog njihovih dostupnosti i niske cijene tipkalo u ovom radu nije specificirano. Jedini zahtjev tipkala na koji treba pripaziti je dovoljna krutost pošto se nalazi na dnu stopala što znači da mora podnijeti dovoljnu težinu koju nameće konstrukcija.

7. SIMULACIJA RADA ROBOTA

U prethodnim poglavljima opisani su glavni dijelovi energetskog i upravljačkog sustava. Pneumatski energetski sustav pokretač je aktuatora, pa time i samog robota, dok se upravljački dio sastoji od električnih komponenti i njime se izvršava algoritam upravljanja. Ovdje će se razmotriti način rada svakog sustava pojedinačno i opisati željeni način hoda robota koji se planira postići dobrim upravljačkim programom.

7.1. Opis rada pneumatskog energetskog sustava

Energija se sustavu dovodi putem električnih baterija. Radi zaštite kompresora oni se na bateriju spajaju svaki preko zasebnog 12V releja. Kompresori napajani istosmjernom baterijom tlače zrak i provode ga u spremnik. Neposredno na izlazu spremnika nalazi se nepovratni ventil koji sprječava povratak zraka natrag u spremnik, a omogućuje neometan protok u suprotnom smjeru. Nakon toga zrak putuje u pripremnu jedinicu koja se sastoji od filtra i regulatora tlaka. Ovdje se zrak čisti od nečistoća i prigušuje na željenu vrijednost tlaka. Potom slijede posredno upravljani 3/2 on/off ventili. Pošto su ventili u normalnom stanju zatvoreni protok zraka u pneumatske mišiće ne ostvaruje se ako se ventilu ne dovede odgovarajući električni signal. Time se ostavlja mogućnost za upravljanje svakog mišića zasebno. Radi jednostavnosti i uštede na prostoru ventili nisu odabrani zasebno, nego se nalaze unutar ventilskog bloka. Tako se signal ne dovodi svakom ventilu, nego mikrokontroler preko DS9 porta šalje signal ventilskom bloku. Između ventila i mišića smješteni su prigušno-nepovratni ventili. Njihovom primjenom može se mijenjati količina zraka koja ulazi u mišiće i na taj način može se odrediti brzina rada mišića. Slika 37. prikazuje simbolički spoj pneumatskih elemenata. U odnosu na realni spoj postoje neke neprimjetne razlike. Elektromagnetski 3/2 ventili nalaze se zasebno, umjesto ventilskog bloka, a pneumatski mišići zamijenjeni su cilindrima s povratnom oprugom.



Slika 37. Shema pneumatskog sustava robota

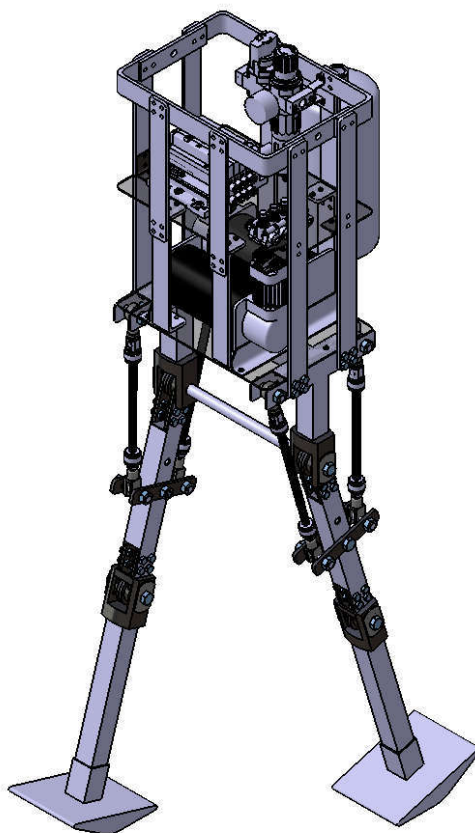
7.2. Opis rada upravljačkog sustava

Glavni dio upravljačkog sustava je mikrokontroler. Unutar njega sadržan je kod koji diktira način rada robota. Informacije o unutarnjim stanjima robota, tj. o kutovima zakreta zglobova sustav prima preko inkrementalnih enkodera, a informacije vanjskih stanja (posrtanje robota) preko žiroskopa. Na temelju promjena varijabli senzora mikrokontroler šalje potrebne signale ventilskom bloku za pravilan rad pneumatskih mišića. Njihovom ispravnom kontrolom

dobiva se željena kretanja uz zadržavanje stabilnosti robota. Pošto su ventili on/off tipa njihova regulacija zahtijeva PWM upravljanje. Također je važno da robot zna kada mu je noga dotakla tlo, pa se u tu svrhu na dnu noge nalaze tipkala koja šalju signal mikrokontroleru kada se to dogodi. Na temelju svih ovih informacija, upotrebnom adekvatnog upravljačkog algoritma očekuje se stabilan hod robota.

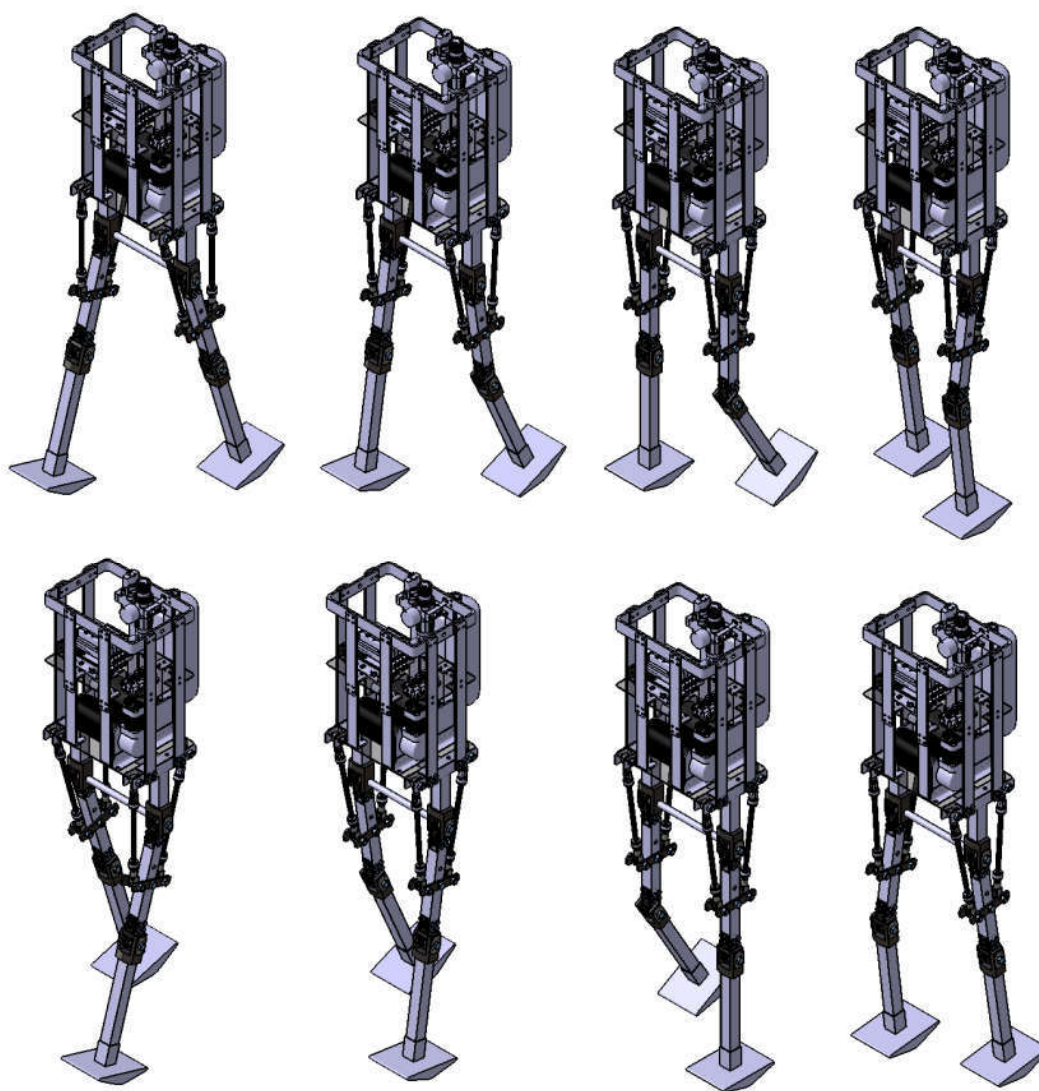
7.3. Opis kretanja robota

Očekuje se stabilnost robota u nominalnom položaju. U idealnom slučaju željeni kut između nogu trebao bi iznositi 33.2° čime bi se postigao maksimalni raskorak od 355 mm. Zbog velike površine dodira stopala i podloge, i zbog relativno velikog raskoraka očekuje se stabilnost robota u smjeru dvije koordinatne osi. Ukoliko bi se narušila stabilnost robota u bočnom smjeru, prevrtanje bi se spriječilo nametanjem sila svakom mišiću zasebno. Na taj način sustav regulacije sveo bi se na balansiranje ploče primjenom četiri aktuatora (slično sustavu kuglice na ploči).



Slika 38. Položaj robota u nominalnom stanju

Problemi se javljaju prilikom kretanja robota. Svaka noga ima dva stupanja slobode gibanja što znači da sustav sveukupno ima četiri stupanja slobode gibanja. Iako robot za svoje kretanje koristi četiri aktuatora, po dva pneumatska mišića spojeni su u antagonistički par. To znači da je samo jedan stupanj slobode gibanja svake noge upravlján, a drugi ovisi o inerciji noge i načinu upravljanja pneumatskim mišićima. Dalo bi se zaključiti da se donji članci noge gibaju ovisno o gornjim člancima. Da bi uklonili još jedan stupanj slobode konstruirano je mehaničko koljeno. Njegovom primjenom osigurava se kolinearnost članaka nogu u jednom smjeru. Kada noga krene iz prednjeg krajnjeg položaja u zadnji, koljeno osigurava pomicanje donjeg članaka samo na način da uvijek bude kolinearan s gornjim člankom. Na taj način samo jedan stupanj slobode gibanja robota nije potpuno određen.



Slika 39. Prikaz hoda robota

Slika 39. prikazuje željeni način hoda robota. U početnom položaju svakoj nozi pridružena su dva aktuatora tako da se jedan pneumatski mišić nalazi u nominalnom, a drugi u skraćenom stanju. Kao što je već navedeno pneumatski mišići mogu se pod utjecajem zraka samo skupljati čime se postiže određena sila. Kada robot krene iz početnog položaja kojeg prikazuje Slika 38. u zadnji mišić lijeve noge dovodi se stlačeni zrak čime se on počinje skupljati. Istovremeno se prednji mišić iste noge rasteže. Kako koljeno omogućava kolinearnost članaka noge postiže se prebacivanje težišta robota oko dodirne točke stopala navedene noge i podloge. Pravilnim slanjem PWM signala ventilskom bloku mogu se postići željene sile u oba aktuatora pripadne noge. Istovremeno se prednji pneumatski mišić desne noge počinje skupljati pod utjecajem zraka, a zadnji rastezati. Brzim pokretom gornjeg članka ove noge očekuje se prebacivanje donjeg članka noge prema naprijed. Također pravilnim upravljanjem mišića mogu se postići željene sile za ostvarivanje stabilnost hoda.

8. ZAKLJUČAK

Prilikom konstruiranja humanoidnog mobilnog robota posebna pažnja posvećena je jednostavnosti konstrukcije i cijeni. Uz neke izuzetke, većina dijelova može se napraviti relativno primitivnim alatima. Također vodilo se računa da sve komponente sustava budu kompatibilne, pa je skoro cijeli pneumatski sustav odabran od istog proizvođača, tj. tvrtke Festo. Robot se pokreće pomoću umjetnih pneumatskih mišića čime se ublažavaju vibracije i udari koji nastaju prilikom dvonožnog hoda.

Zahtjev autonomnosti uvelike otežava konstrukciju i stabilnost prilikom hoda. U tu svrhu potrebni su kompresori koji zauzimaju dosta mjesta i čine većinu ukupne težine sklopa, čime se dodatno otežava regulacija. Da bi se sustav mogao regulirati potrebna je i odgovarajuća električna oprema zajedno s mikrokontrolerom. Zbog dostupnosti, cijene i podrške odabran je Arduino mikrokontroler. Iako bi proporcionalni ventili bili bolji izbor, a jednako tako i jednostavniji za upravljanje, ovdje se koriste on/off ventili upravljani PWM signalom. Primjenom opisane opreme očekuje se pravilan rad aktuatora za postizanje željenog hoda robota.

Dvonožni hod predstavlja težak dinamički problem robotike. Opisani sustav od sveukupno četiri stupnja slobode gibanja ima jedan potpuno slobodan stupanj slobode gibanja što znači da regulacija navedenog sustava zahtijeva vrlo precizan upravljački algoritam.

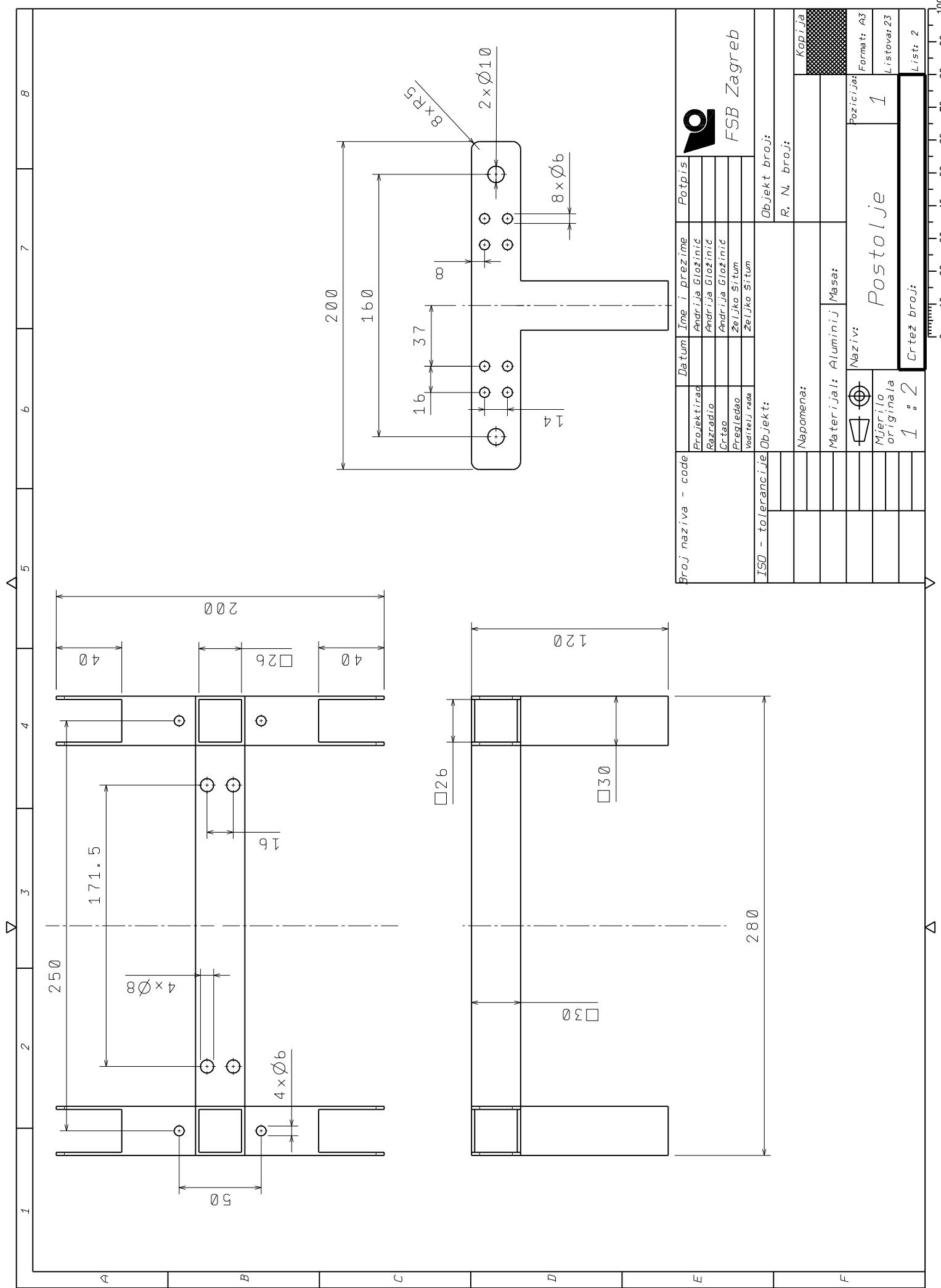
LITERATURA

- [1] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [2] Nikolić, G.: Pneumatika i hidraulika, I. dio: Pneumatika, Školske novine, Zagreb, 1994.
- [3] Vučković, K.: Elementi konstrukcija II: Ležajevi, podologe uz predavanja, Zagreb, 2014.
- [4] Wikipedia: Humanoid robot, https://en.wikipedia.org/wiki/Humanoid_robot, 03.01.2017.
- [5] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_robot, 03.01.2017.
- [6] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_artificial_muscles, 05.01.2017.
- [7] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>, 05.01.2017.
- [8] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_kinematics, 05.01.2017.
- [9] Petrić, J.: Hidraulika i pneumatika, 1. dio: Hidraulika, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2012.
- [10] Crenković, M.: Industrijski i mobilni roboti, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [11] Šitum, Ž., Petrić, J.: Pneumatika i hidraulika, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [12] Festo, https://www.festo.com/cat/hr_hr/products, 26.11.2016.
- [13] RLS, <https://www.rls.si/>, 09.02.2017

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Specifikacije ležaja
- IV. Specifikacije kompresora
- V. Specifikacije spremnika
- VI. Specifikacije pripremne grupe
- VII. Specifikacije ventilskog bloka
- VIII. Specifikacije prigušno-nepovratnog ventila
- IX. Specifikacije pneumatskog mišića
- X. Specifikacije mikrokontrolera
- XI. Specifikacije inkrementalnog enkodera
- XII. Specifikacije akcelerometra

PRILOG II: TEHNIČKA DOKUMENTACIJA



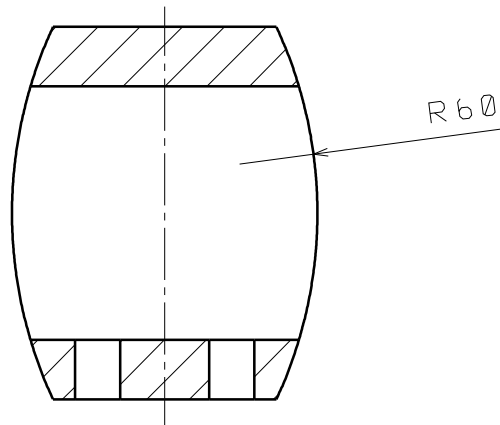
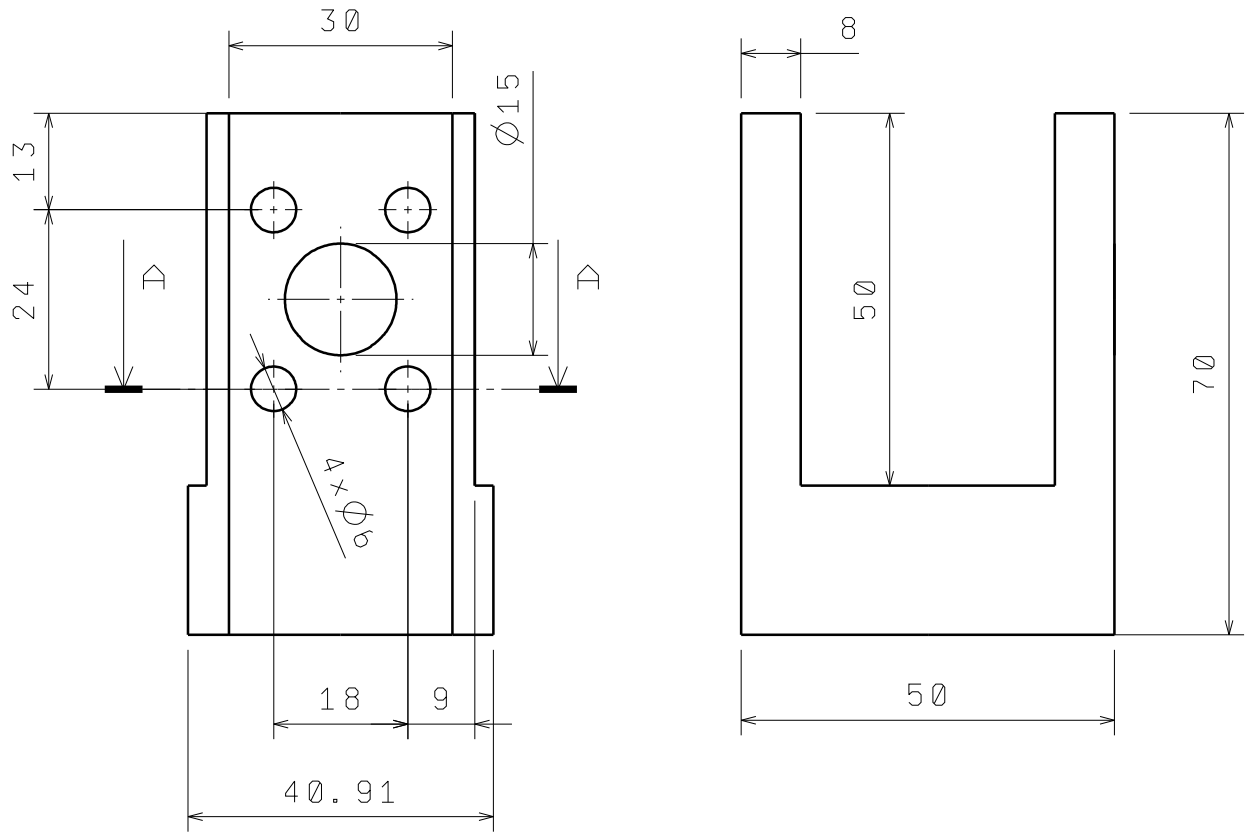
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis	
Projektirao		Andrija Gložinić		Andrija Gložinić			
Razradio		Andrija Gložinić		Andrija Gložinić			
Crtao		Andrija Gložinić		Andrija Gložinić			
Prez/leđao		Željko Situm		Željko Situm			
Voditelj rada		Željko Situm		Željko Situm			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broji:			
		Napomena:		R. N. broji:			
		Materijal: Aluminij		Masa:			
		Naziv:		Pozicija:			
Mjerilo originala		1 : 2		1			
Crtež broji:		1 : 2		Postolje			
				Format: A3			
				Listova: 23			
				List: 2			




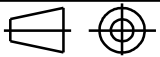
FSB Zagreb

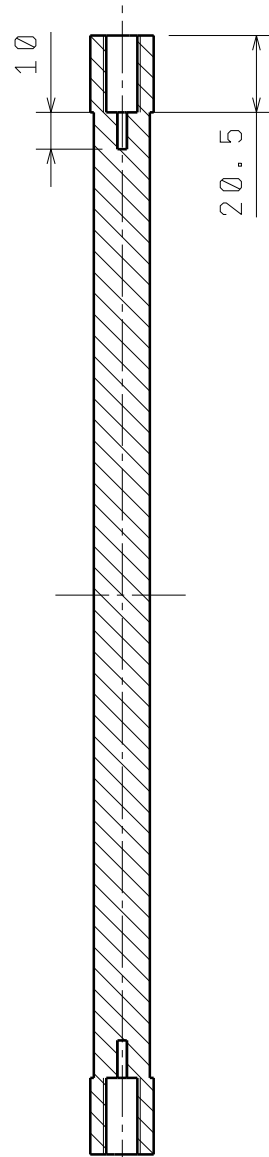
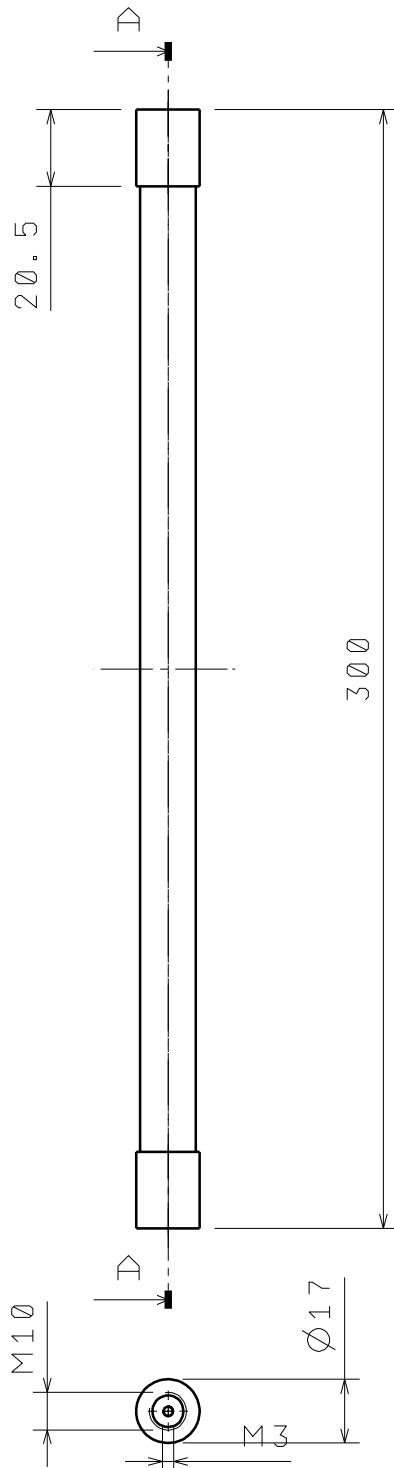
Kopija







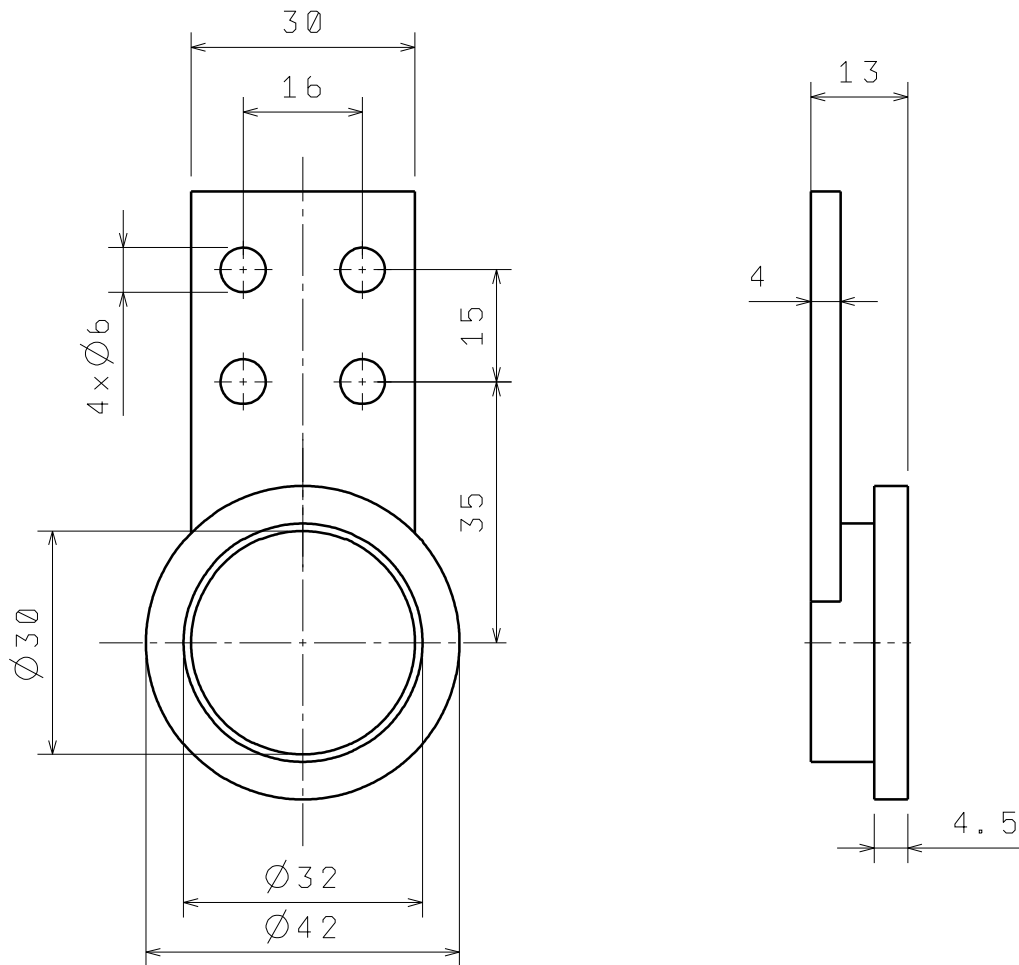
Section view A-A
Scale: 1:1


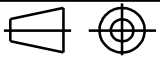
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Čelik	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 Mjerilo originala 1:1	Naziv: Postolja		Pozicija
		Crtež broj:		2
				Format: A4
				Listova: 23
				List: 3

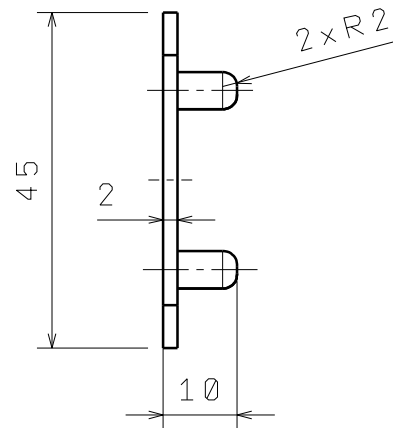
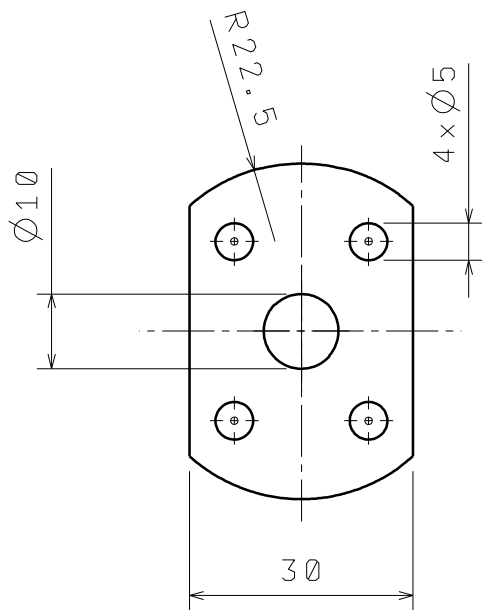





Section view A-A
Scale: 1:2

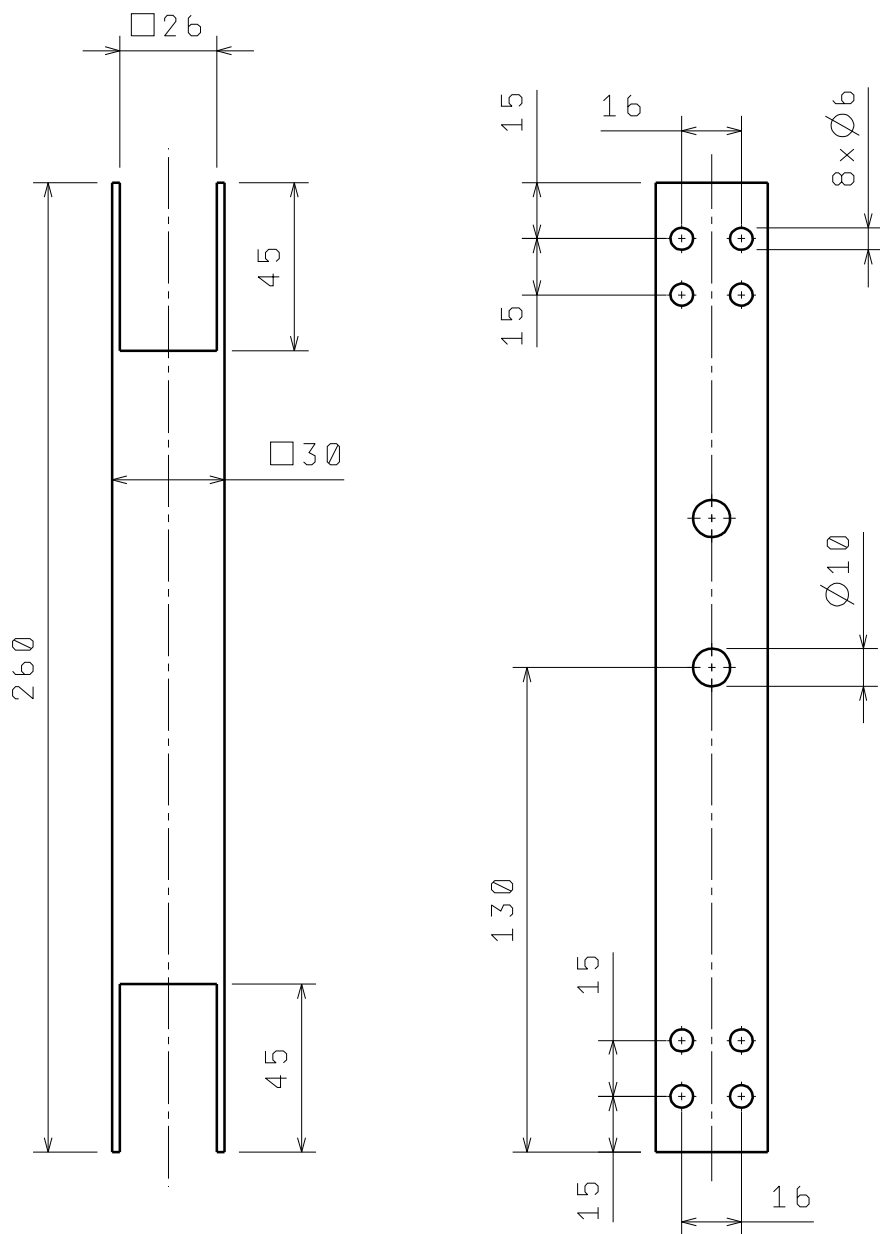
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 Mjerilo originala 1:2	Naziv: Osovina_noga_postolja		Pozicija 3
		Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 4


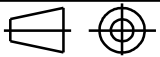


Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Držać ležaja		4
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 5

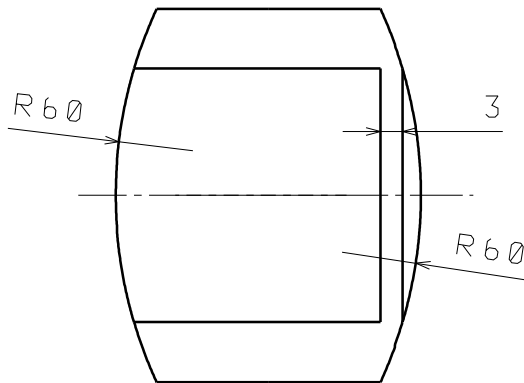
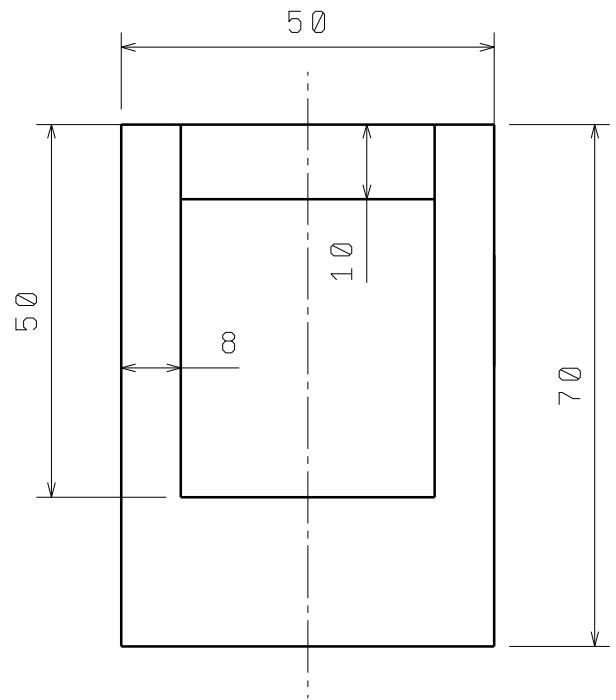
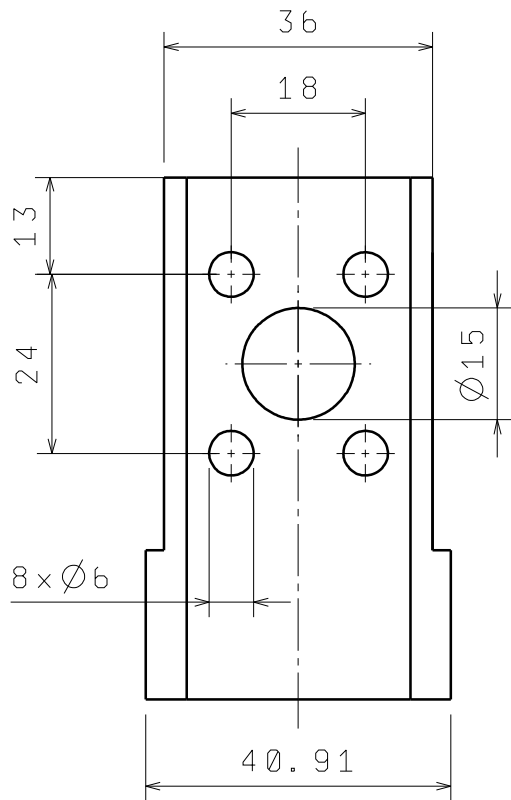



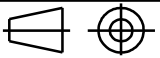
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 	Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Fiksator		5
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 6

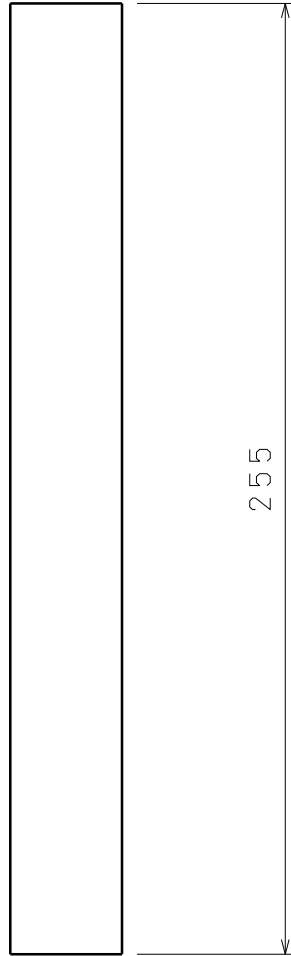
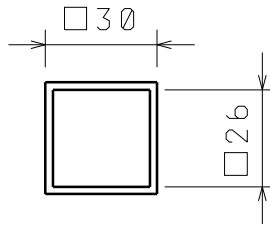



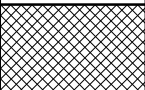
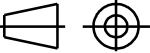
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
		Noga_gornji članak		6
	Mjerilo originala	Crtež broj:		Format: A4
	1:2			Listova: 23
				List: 7

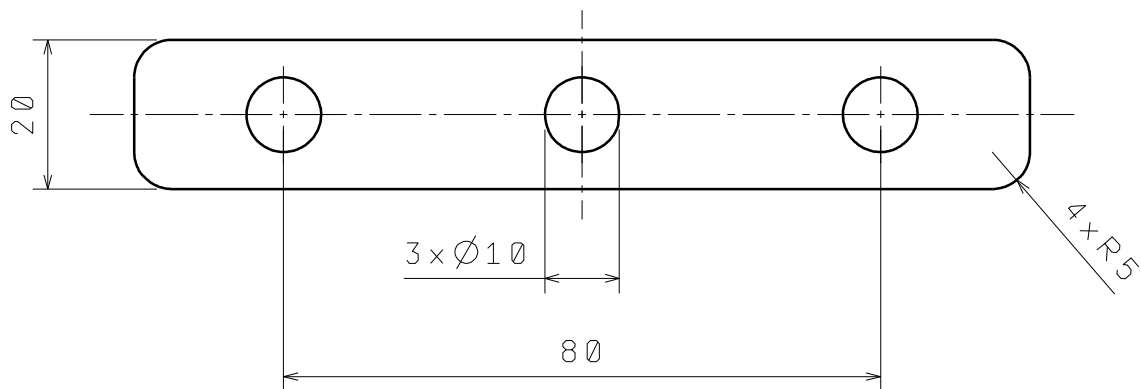
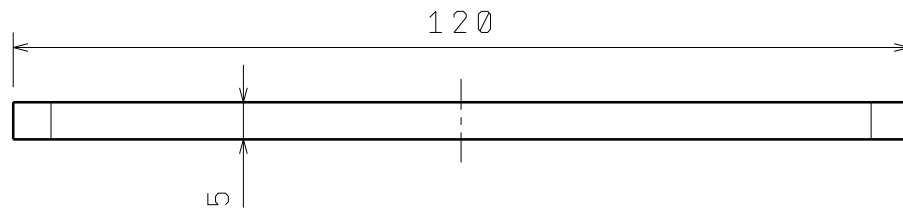
Design by CADLab






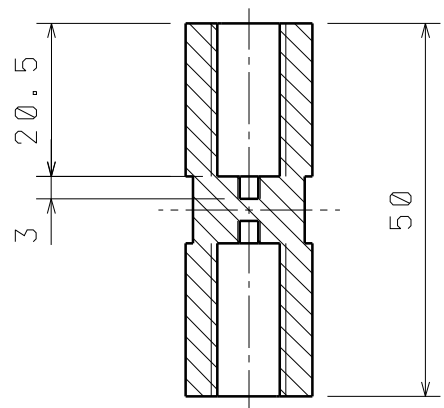
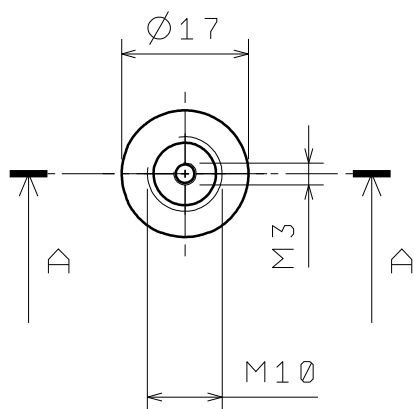
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Čelik	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Poveznica noga		7
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 8





Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:	Pozicija	Format:
	Mjerilo originala	Noga_donji članak	8	A4
	1:2	Crtež broj:		Listova: 23
				List: 9

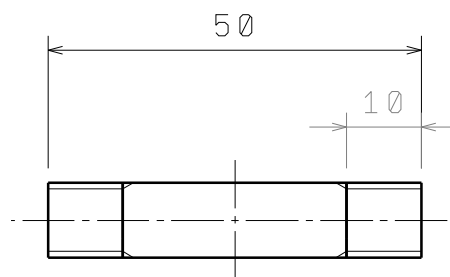
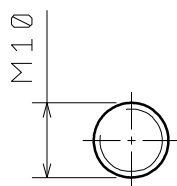



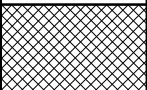
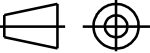
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Čelik	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 	Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Noga_I profil		9
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 10

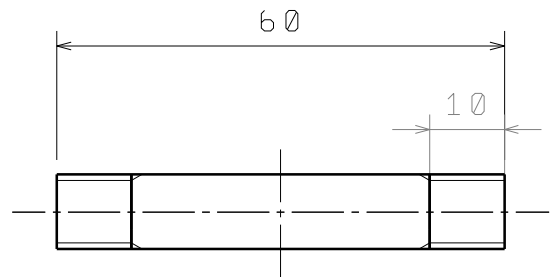
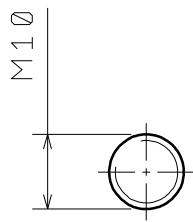



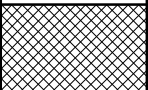
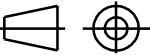
Section view A-A
Scale: 1:1

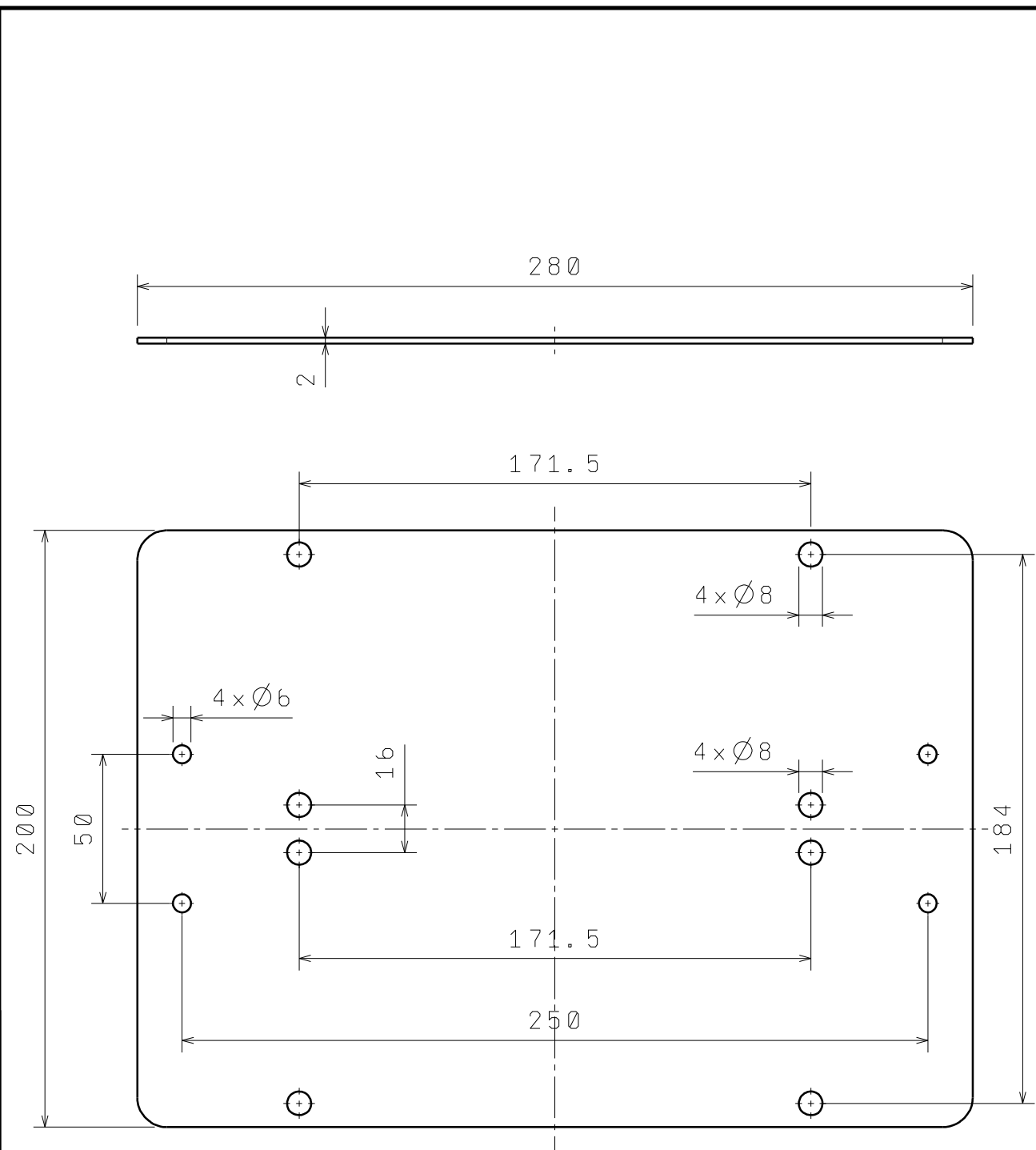
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Osovina_noga		10
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 11





Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:	Pozicija	Format:
	Mjerilo originala	Osovina_postolje	11	A4
	1:1	Crtež broj:		Listova: 23
				List: 12

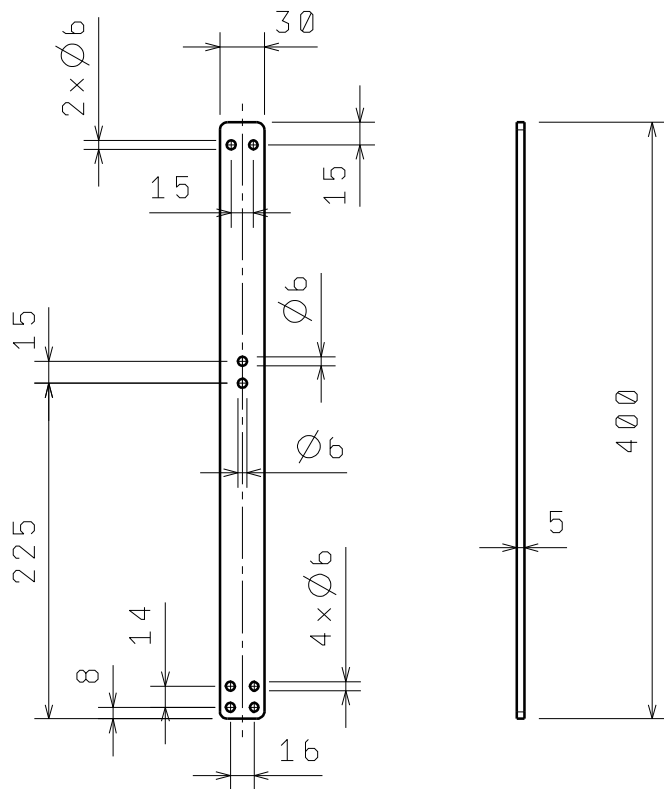



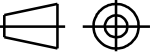
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:	Pozicija	Format:
	Mjerilo originala	Osovina_mišić	12	A4
	1:1	Crtež broj:		Listova: 23
				List: 13

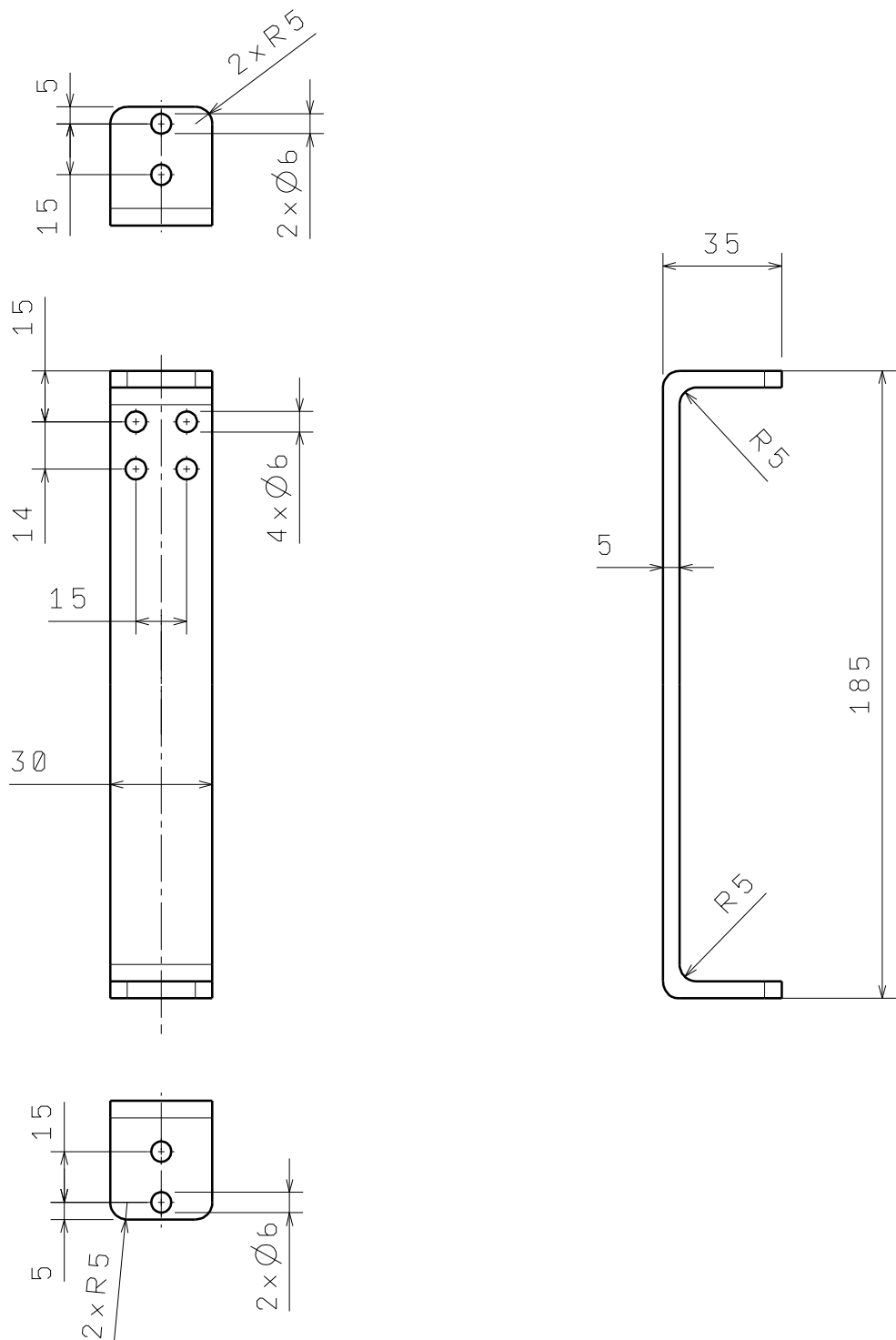




Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Plexiglass	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Postolja_ploča		13
	1:2	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 14

Design by CADLab

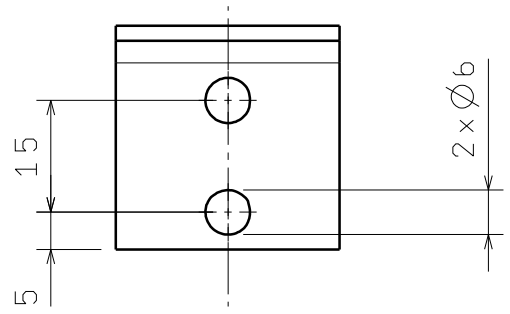
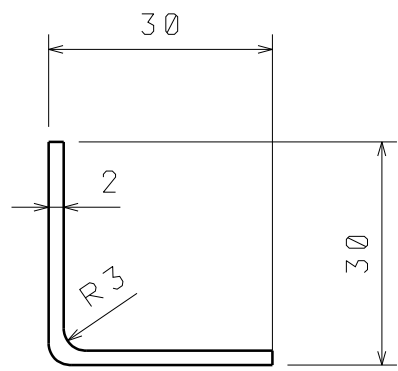
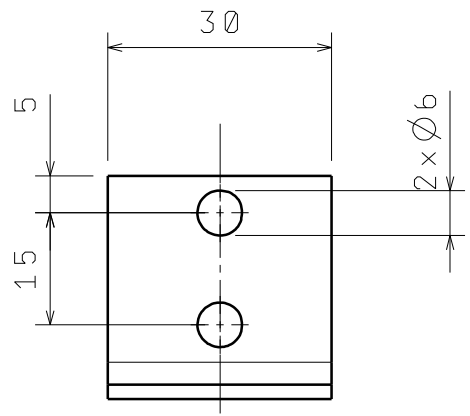


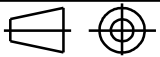
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 Mjerilo originala 1:5	Naziv: Trup_I profil		Pozicija 14
	Crtež broj:			Format: A4
				Listova: 23
				List: 15



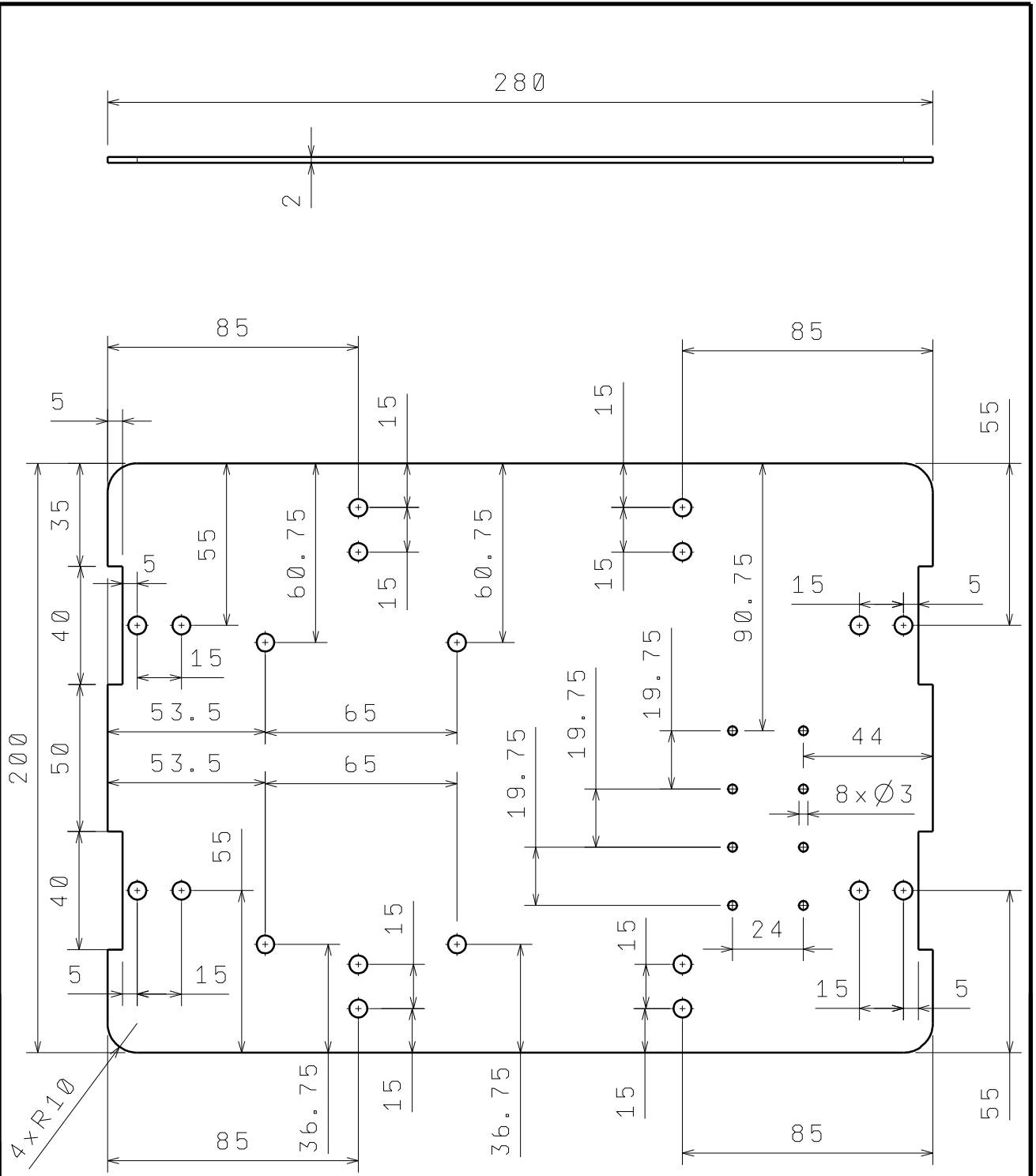
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Trup_L profil		15
	1:2	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 16

Design by CADLab



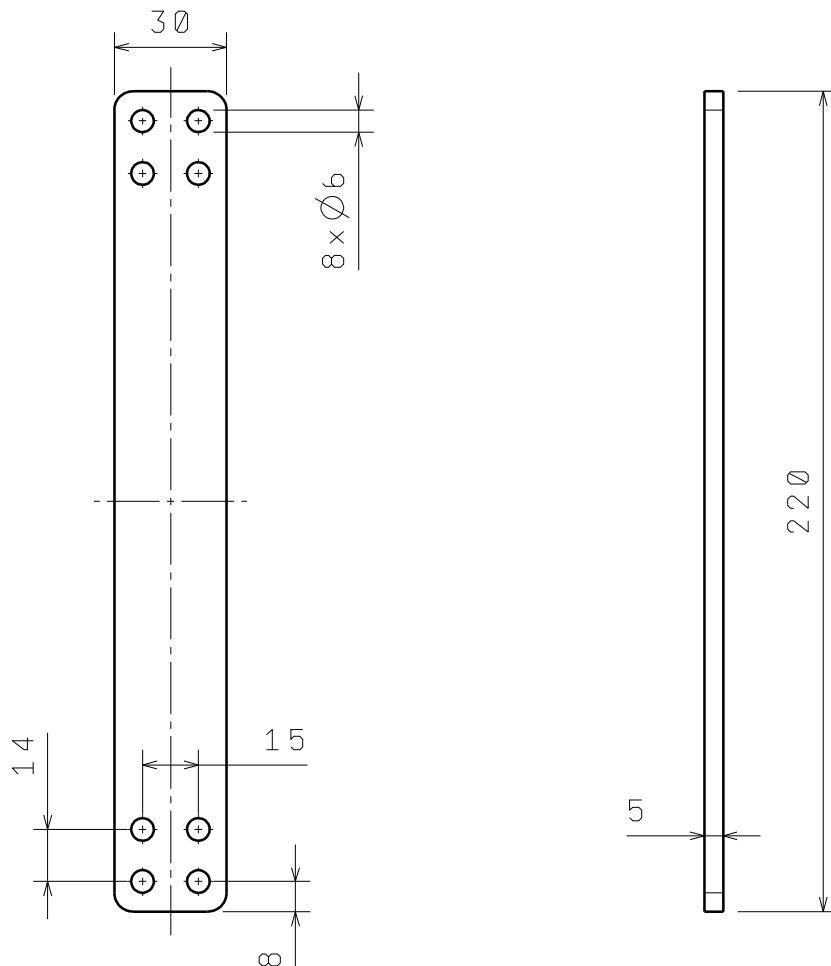
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Čelik	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	 Mjerilo originala 1:1	Naziv: Trup_L profil 2		Pozicija: 16
		Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 17



Design by CADLab

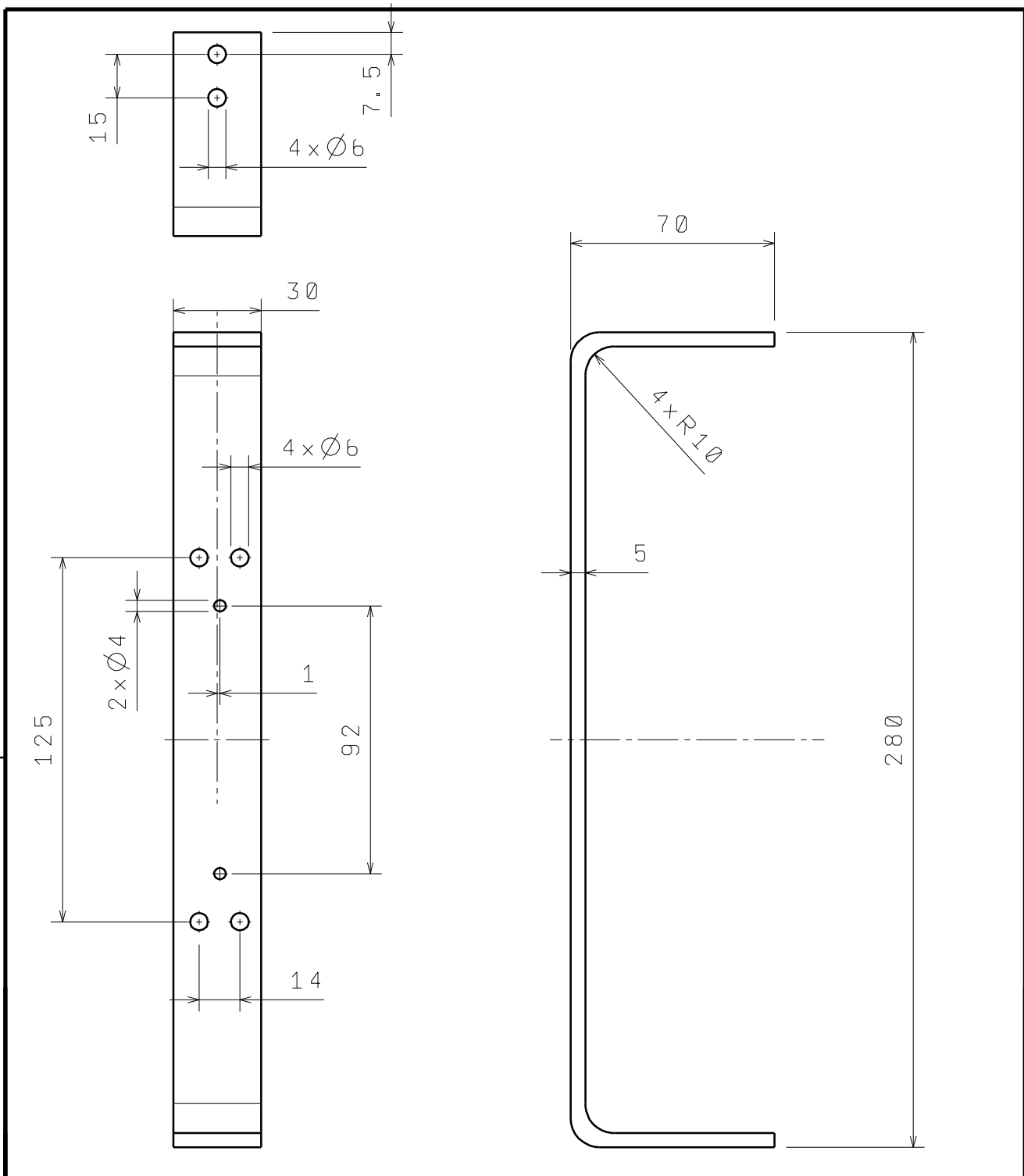




Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
	Voditelj rada	Željko Šitum		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Meatronika i robotika	
	Materijal: Plexiglass	Masa:	ZAVRŠNI RAD	Kopija
		Naziv:		Pozicija
		Trup_ploča		17
	Mjerilo originala	Crtež broj:		Format: A4
	1:2			Listova: 23
				List: 18

Design by CADLab

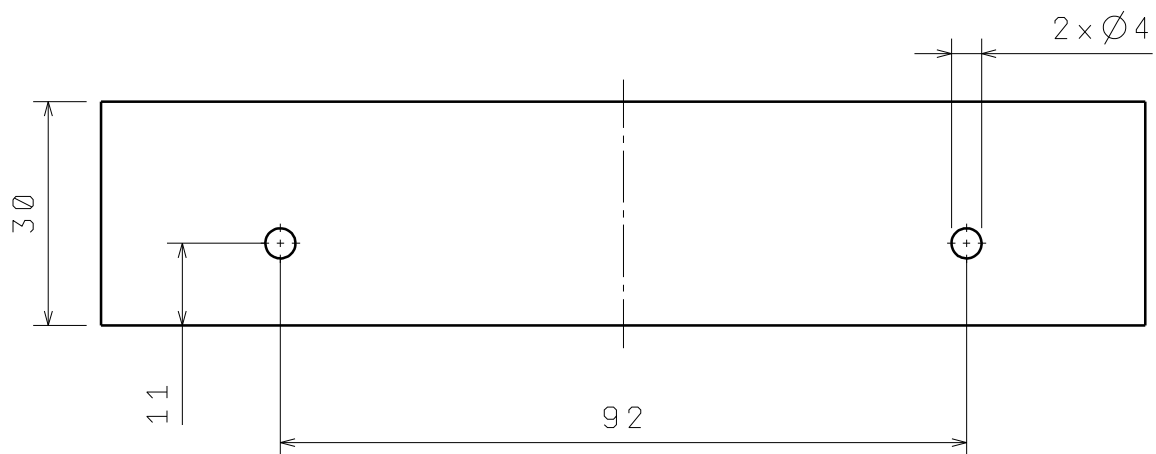
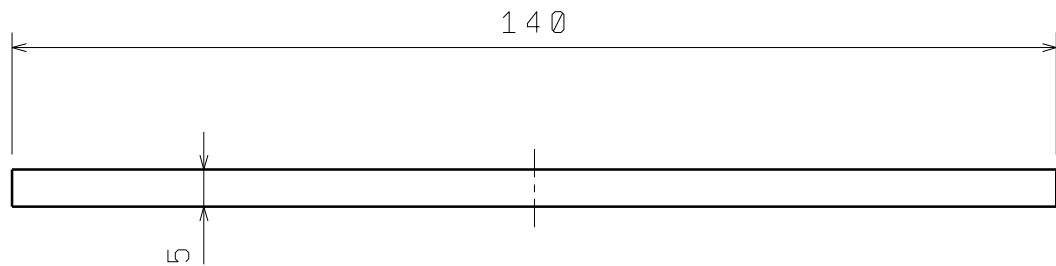



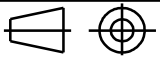
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Trup_I profil 2		18
	1:2	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 19

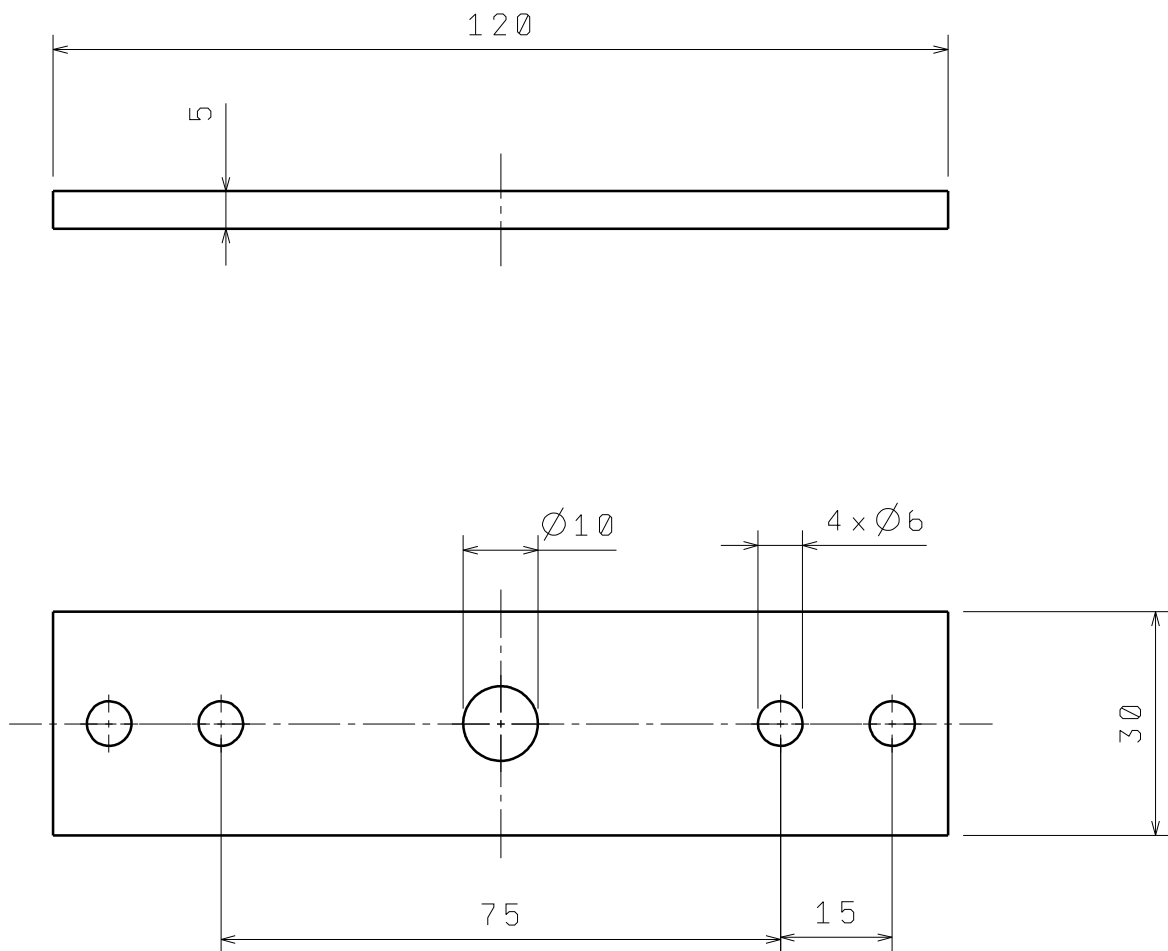




Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Trup_L profil 3		19
	1:2	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 20

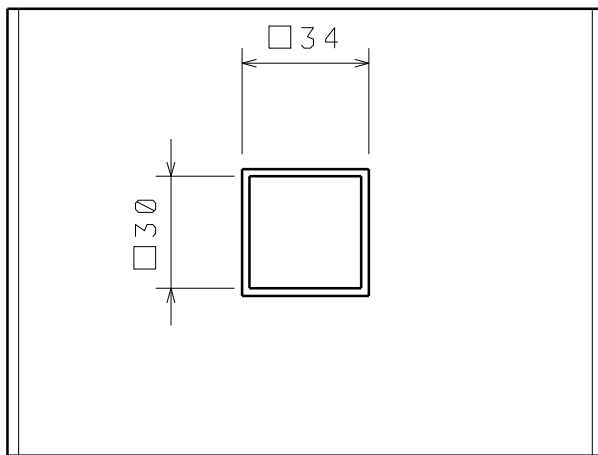
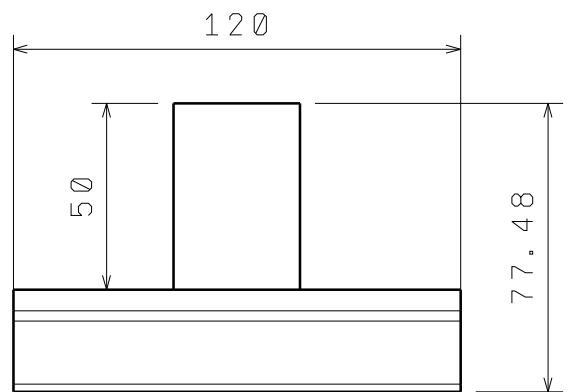
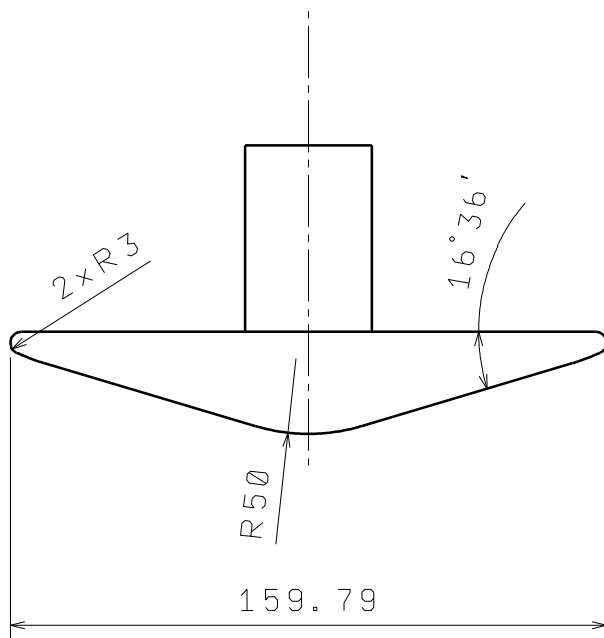
Design by CADLab





Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Filtar_I profil		20
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 21



Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Ruka_I profil		21
	1:1	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 22



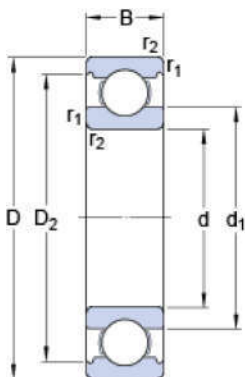
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Projektirao	Andrija Gložinić		
	Razradio	Andrija Gložinić		
	Crtao	Andrija Gložinić		
	Pregledao	Željko Šitum		
Voditelj rada	Željko Šitum			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
			R. N. broj:	
	Napomena:		Mehatronika i robotika	Kopija
	Materijal: Aluminij	Masa:	ZAVRŠNI RAD	
		Naziv:		Pozicija
	Mjerilo originala	Stopalo		22
	1:2	Crtež broj:		Format: A4
				Listova: 23
				List: 23

PRILOG III: SPECIFIKACIJE LEŽAJA

6002

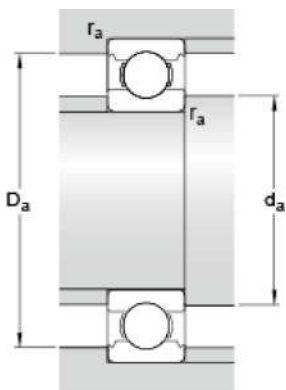
SKF Explorer

Dimensions



d	15	mm
D	32	mm
B	9	mm
d ₁	≈ 20.5	mm
D ₂	≈ 28.2	mm

Abutment dimensions



d _a	min. 17	mm
D _a	max. 30	mm
r _a	max. 0.3	mm

Calculation data

Basic dynamic load rating	C	5.8	kN
Basic static load rating	C ₀	2.8	kN
Fatigue load limit	P _u	0.12	kN
Reference speed		50000	r/min
Limiting speed		32000	r/min
Calculation factor	k _r	0.025	
Calculation factor	f ₀	14	

Mass

Mass bearing		0.0296	kg
--------------	--	--------	----

PRILOG IV: SPECIFIKACIJE KOMPRESORA



400C & 450C DUAL PERFORMANCE VALUE PACKS



(Chrome)
PART NO. 40013



(Silver)
PART NO. 45012



(Chrome)
PART NO. 45013

IMPORTANT:

It is essential that you and any other operator of this product read and understand the contents of this manual before installing and using this product.

SAVE THIS MANUAL FOR FUTURE REFERENCE

USER MANUAL



400C & 450C DUAL PERFORMANCE VALUE PACKS

COMPRESSOR APPLICATION GUIDE

To ensure that you get the highest level of satisfaction from your compressor's performance, refer to information below:

VIAIR COMPRESSOR REFERENCE CHART

COMPRESSOR SERIES	DUTY CYCLE (100 PSI @ 72°F)	MAX. WORKING PRESSURE
090 SERIES	9%	120 PSI
092 SERIES	9%	120 PSI
095 SERIES	9%	120 PSI
097 SERIES	10%	130 PSI
098 SERIES	10%	130 PSI
100 SERIES	15%	130 PSI
250 IG SERIES	100%	150 PSI
275 SERIES	25%	150 PSI
280 SERIES	30%	150 PSI
325 SERIES	33%	150 PSI
330 IG SERIES	100%	150 PSI
350 SERIES	100%	150 PSI
380 SERIES	100%	200 PSI
	*55%	
400 SERIES	33%	150 PSI
420 SERIES	33%	150 PSI
444 SERIES	100%	200 PSI
	*50%	
450 SERIES	100%	150 PSI
450 IG SERIES	100%	150 PSI
460 SERIES	100%	150 PSI
480 SERIES	100%	200 PSI
	*50%	

**Duty Cycle at 200 PSI and 72°F.*

ABOUT COMPRESSOR DUTY CYCLE:

Duty cycle refers to the amount of time a compressor can be operated in a given time period at 100 PSI, and a standard ambient temperature of 72° F. It is commonly expressed in percentage format: $\text{Compressor on time} \div (\text{on time} + \text{off time}) = \text{Duty Cycle \%}$.

ONE-HOUR DUTY CYCLE

(100 PSI @ 72°F)

	MINUTES ON / MINUTES OFF
9%	5 Min. On / 55 Min. Off
10%	6 Min. On / 54 Min. Off
15%	9 Min. On / 51 Min. Off
20%	12 Min. On / 48 Min. Off
25%	15 Min. On / 45 Min. Off
30%	18 Min. On / 42 Min. Off
33%	20 Min. On / 40 Min. Off
50%	30 Min. On / 30 Min. Off
100%	1 Hour Run Time

NOTE: All compressors, regardless of rated duty cycle, require sufficient rest time in between cycles to allow for partial or complete heat dissipation. Heat dissipation rates may vary depending on ambient temperatures and operating conditions.

ABOUT RATED WORKING PRESSURE:

To ensure trouble free service life of your compressor, always operate compressor within rated working pressure of the compressor. Never use a pressure switch with a higher cut-off pressure than compressor's rated working pressure.

400C & 450C DUAL PERFORMANCE VALUE PACKS

TROUBLESHOOTING GUIDE:

PROBLEM:	POSSIBLE CAUSE(S)	CORRECTIVE ACTION
Tank pressure drops when compressor(s) shut off	<ol style="list-style-type: none"> 1. Loose drain cock 2. Check valve leaking 3. Loose connections 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tighten drain cock 2. Replace check valve or compressor(s) 3. Check all connections with soap and water solution and tighten
Compressor runs continuously and air flow lower than normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excessive air usage 2. Loose connections 3. Worn piston ring or inlet valve. 4. Clogged air filter element 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decrease air usage 2. Check all connections with soap and water solution and tighten. 3. Repair or replace compressor 4. Replace air filter element
Compressor runs continuously causing safety valve (if equipped) to open	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bad pressure switch 2. Defective safety valve 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Replace pressure switch 2. Replace safety valve
Excessive moisture in discharge	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excessive water in air tank 2. High humidity 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Drain tank, tilt tank to drain. Drain tank more frequently 2. Move compressor to area with less humidity, or use air line filter.
Compressor will not run	<ol style="list-style-type: none"> 1. No power, or power switch in OFF position 2. Blown fuse 3. Motor overheats 4. Faulty pressure switch. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Make sure compressor switch is ON 2. Disconnect compressors from power source, replace fuse. (Refer to Specifications section for correct fuse amperage.) 3. Let compressors cool off for about 30 Minutes to allow thermal overload switch reset. 4. Replace pressure switch
Thermal overload protector cuts out repeatedly	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lack of proper ventilation or ambient temperature too high 2. Compressor valves failed 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Move compressor to well ventilated area, or area with lower ambient temperature 2. Repair or replace compressor
Excessive knocking or rattling	<ol style="list-style-type: none"> 1. Loose mounting bolts 2. Worn bearing on eccentric or motor shaft 3. Cylinder or piston ring is worn 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tighten mounting bolts 2. Repair or replace compressor 3. Repair or replace compressor

CAUTION: NEVER DISASSEMBLE COMPRESSOR WHILE COMPRESSOR IS PRESSURIZED.

400C & 450C DUAL PERFORMANCE VALUE PACKS

SPECIFICATIONS

- Part No. 40013 / Dual 400C Value Pack / Chrome

Motor Voltage:	12 Volts
Combined Max. Current Consumption:	60 Amps
Motor Type:	Permanent Magnetic
Horsepower:	1/4
Max. Working Pressure:	150 PSI
Max. Duty Cycle (@ 72°F & 100 PSI):	33%
Minutes On/Off (@ 72°F & 100 PSI):	20 min. / 40 min.
Max. Restart Pressure:	150 PSI
Max. Ambient Temperature:	158°F
Min. Ambient Temperature:	-40°F
Auto. Reset Thermal Protection:	Yes

- Part No. 45012 / Dual 450C Value Pack / Silver
- Part No. 45013 / Dual 450C Value Pack / Chrome

Motor Voltage:	12 Volts
Combined Max. Current Consumption:	44 Amps
Motor Type:	Permanent Magnetic
Horsepower:	1/4
Max. Working Pressure:	150 PSI
Max. Duty Cycle (@ 72°F & 100 PSI):	100%
Minutes On/Off (@ 72°F & 100 PSI):	Continuous
Max. Restart Pressure:	150 PSI
Max. Ambient Temperature:	158°F
Min. Ambient Temperature:	-40°F
Auto. Reset Thermal Protection:	Yes

LIMITED WARRANTY:

VIAIR Corporation warrants this product, when properly installed and under normal conditions of use, to be free from defects in workmanship and materials for a period of one year from its original date of purchase. To receive warranty service or repair, please contact VIAIR Corporation.

Returns should be made within one year of the date of purchase, after a Return Goods Authorization (RGA) number has been assigned by VIAIR Corporation. To obtain RGA, fax a copy of your receipt to (949) 585-0188. For complete warranty details, please visit: www.viaircorp.com/warranty

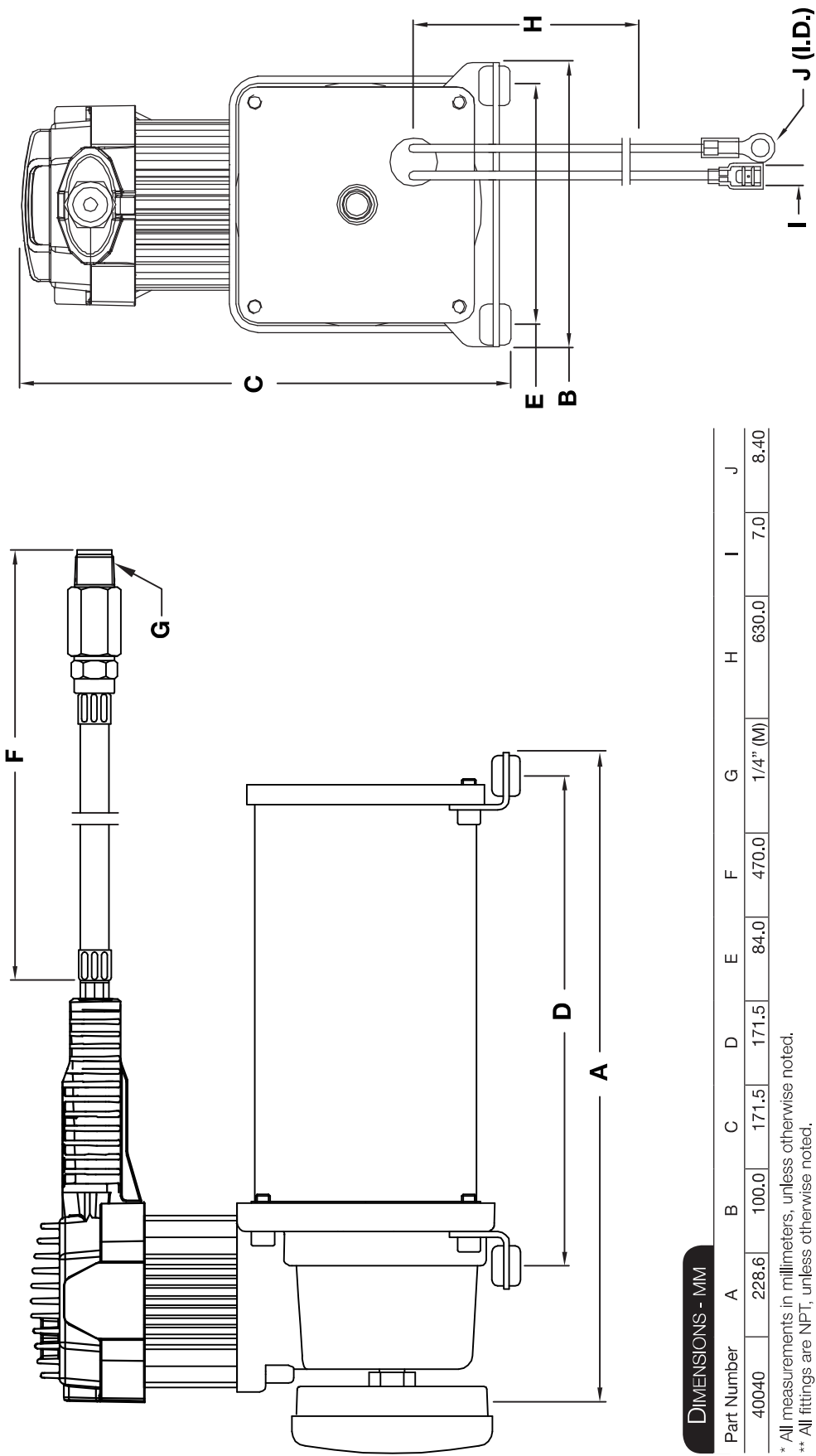
PLEASE NOTE:

THIS WARRANTY COVERS PRODUCT DEFECTS ONLY; IT DOES NOT COVER INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES AS RESULT OF MISUSE OR ABUSE.



15 EDELMAN • IRVINE, CA 92618
TEL: (949) 585-0011 • FAX: (949) 585-0188
www.viaircorp.com

USER MANUAL



DIMENSIONS - MM

Part Number	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
40040	228.6	100.0	171.5	171.5	84.0	470.0	1/4" (M)	630.0	7.0	8.40

* All measurements in millimeters, unless otherwise noted.

** All fittings are NPT, unless otherwise noted.

DIMENSIONS - IN

Part Number	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
40040	9.0	3.94	6.75	6.75	3.31	18.50	1/4" (M)	24.80	0.28	0.33

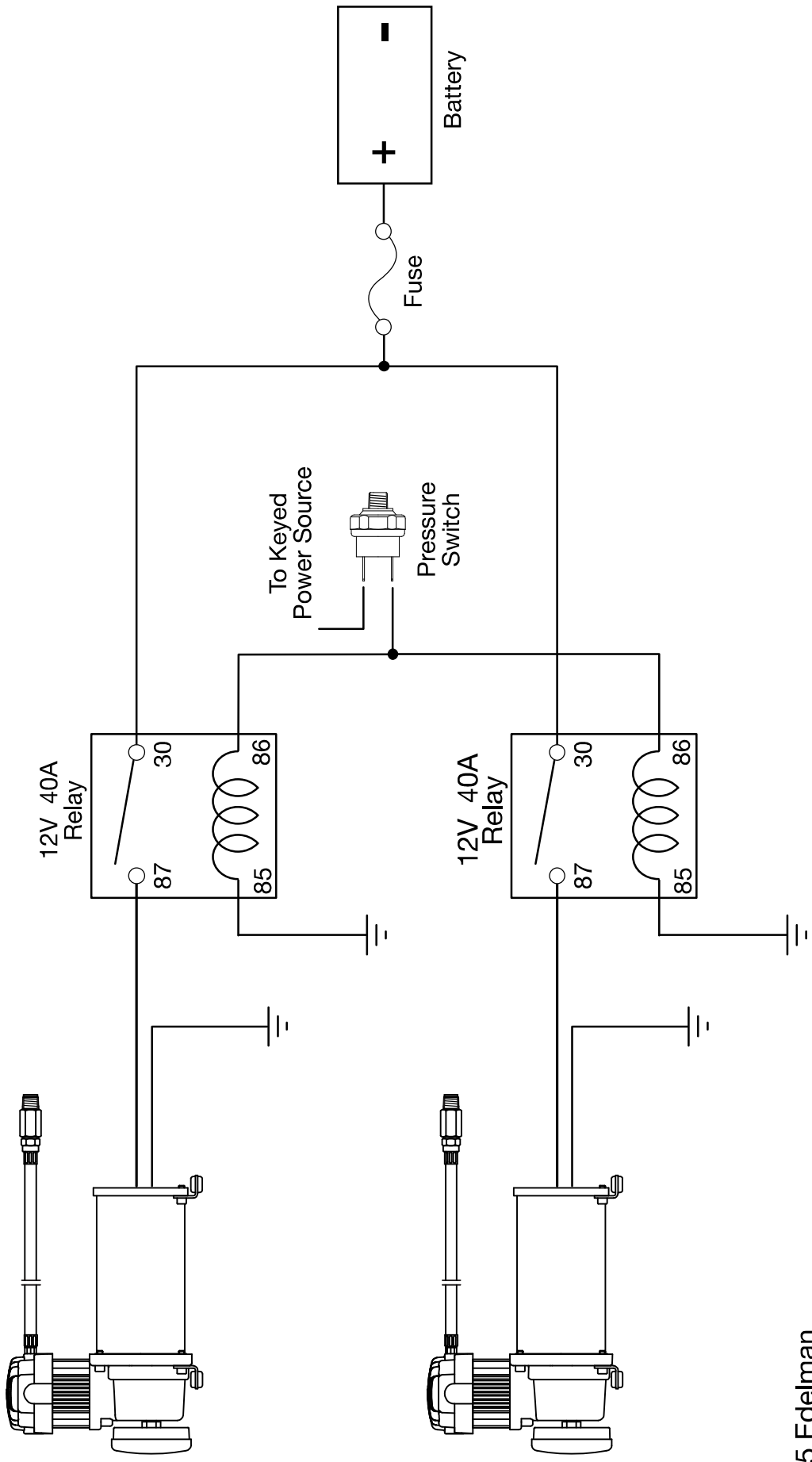
* All measurements in inches, unless otherwise noted.

** All fittings are NPT, unless otherwise noted.



Your Vital Air Source

DUAL "C" MODEL COMPRESSOR WIRING DIAGRAM



15 Edelman
Irvine, CA 92618
949-585-0011
www.viaircorp.com

PRILOG V: SPECIFIKACIJE SPREMNIKA

Air reservoirs

FESTO

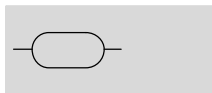


Air reservoirs CRVZS

Technical data

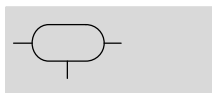
Function

CRVZS-0.1/0.4/0.75/2



CRVZS-5/10/20

with condensate drain



Temperature range
-10 ... +100 °C

Operating pressure
-0.95 ... 16 bar



- The reservoirs can be used to compensate pressure fluctuations, and act as accumulators in the event of sudden air consumption
- They can also be used to provide large quantities of compressed air for supplying fast pulsing drives
- Time delays for pressure build-up can be achieved in combination with flow control valves

Technical data							
Type	CRVZS-0.1	CRVZS-0.4	CRVZS-0.75	CRVZS-2	CRVZS-5	CRVZS-10	CRVZS-20
Pneumatic connection	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$		G $\frac{1}{2}$	G1		
Condensate drain connection	-				G $\frac{3}{8}$		
Type of mounting	Retaining clips			Via through-holes			
Installation position	Any				Condensate drain downwards		
Volume [l]	0.1 ±20%	0.4 ±20%	0.75 ±20%	2 ±10%	5 ±10%	10 ±10%	20 ±10%
Weight [g]	226	543	736	1,681	3,581	6,459	10,208

† Note: This product conforms to ISO 1179-1 and to ISO 228-1

Operating and environmental conditions							
Type	CRVZS-0.1	CRVZS-0.4	CRVZS-0.75	CRVZS-2	CRVZS-5	CRVZS-10	CRVZS-20
Operating pressure [bar]	-0.95 ... +16						
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [--:--] Nitrogen						
Ambient temperature [°C]	-10 ... +100 (observe operating range of tubing and pipe)						
Temperature of medium [°C]	-10 ... +100 (observe operating range of tubing and pipe)						
Corrosion resistance class CRC ¹⁾	3						
Conforms to standard	AD 2000						
CE symbol (see declaration of conformity) ²⁾	-				In accordance with EU Pressure Equipment Directive		
Food-safe ²⁾	See supplementary material information						
Approval ²⁾	German Technical Control Board (TÜV)				CRN		
RISK criterion	-				Pressure equipment CRN		
Certificate issuing department	-				CRNOH15669.5C	TSSA0H15669.5	CRNOH15669.5C

1) Corrosion resistance class CRC 3 to Festo standard FN 940070
High corrosion stress. Outdoor exposure under moderate corrosive conditions. External visible parts with primarily functional requirements for the surface and which are in direct contact with a normal industrial environment.

2) Additional information www.festo.com/sp → Certificates.

Air reservoirs CRVZS

Technical data

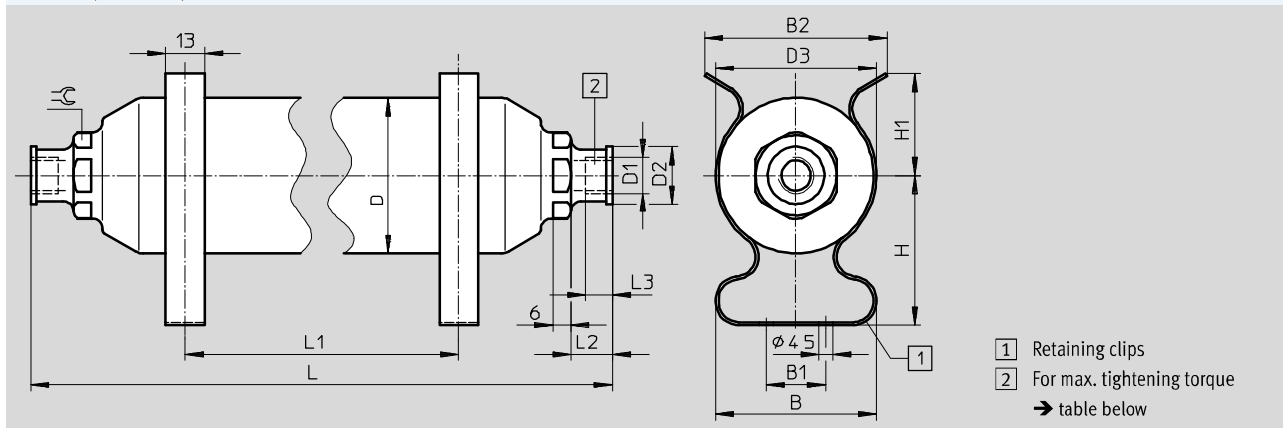


Materials							
Type	CRVZS-0.1	CRVZS-0.4	CRVZS-0.75	CRVZS-2	CRVZS-5	CRVZS-10	CRVZS-20
Air reservoir	High-alloy stainless steel						
Retaining clips	High-alloy stainless steel			-			
Note on materials	Free of copper and PTFE						
	Conforms to RoHS						

Dimensions

Download CAD data → www.festo.com

CRVZS-0.1/CRVZS-0.4/CRVZS-0.75



- 1 Retaining clips
- 2 For max. tightening torque → table below

Type	B ±2	B1	B2 ±2	D ∅	D1	D2 ∅	D3 ∅	H ±1	H1 ±1
CRVZS-0.1	51	14	-	40	G1/8	15	42	43	28
CRVZS-0.4	54	14	-	52	G1/4	19	54	50	34
CRVZS-0.75	60	20	79	70	G1/4	19	72	61	34

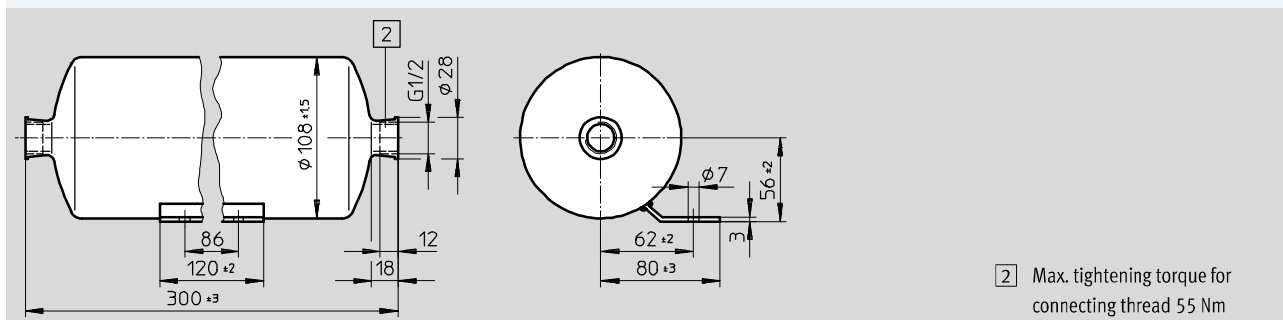
Type	L ±1	L1		L2	L3	∠	Max. tightening torque for connecting thread [Nm]
		min.	max.				
CRVZS-0.1	132	13	50	10	6	19	15
CRVZS-0.4	240	13	150	14	9	27	23
CRVZS-0.75	248	13	140	14	9	27	23

Note: This product conforms to ISO 1179-1 and to ISO 228-1

Dimensions

Download CAD data → www.festo.com

CRVZS-2



- 2 Max. tightening torque for connecting thread 55 Nm

Note: This product conforms to ISO 1179-1 and to ISO 228-1

PRILOG VI: SPECIFIKACIJE PRIPREMNE GRUPE

Filter regulators LFR/LFRS, D series

FESTO



Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design

Type codes

LFR - 3/8 - D - 7 - - - 0 - - - MIDI - A

Basic function	
LFR	Filter regulator
LFRS	Filter regulator, lockable

Pneumatic connection	
MICRO (LFR only)	
M5	Connecting thread M5 in housing
M7	Connecting thread M7 in housing
1/8	Connecting plates with connecting thread G1/8
QS4	Connecting plates with push-in connector QS-4
QS6	Connecting plates with push-in connector QS-6
MINI	
1/8	Connecting plates with connecting thread G1/8
1/4	Connecting plates with connecting thread G1/4
3/8	Connecting plates with connecting thread G3/8
MIDI	
1/4	Connecting plates with connecting thread G1/4
3/8	Connecting plates with connecting thread G3/8
1/2	Connecting plates with connecting thread G1/2
3/4	Connecting plates with connecting thread G3/4
MAXI	
1/2	Connecting plates with connecting thread G1/2
3/4	Connecting plates with connecting thread G3/4
1	Connecting plates with connecting thread G1

Series	
D	Series

Pressure regulation range	
7	0.5 ... 7 bar
	0.5 ... 12 bar

Grade of filtration	
	40 µm
5M	5 µm

Pressure gauge	
	With pressure gauge
0	Without pressure gauge

Function (optional)	
DI	Directly actuated pressure regulator with integrated return flow function (MAXI only)

Size	
MICRO	Grid dimension 25 mm (without connecting plates)
MINI	Grid dimension 40 mm (without connecting plates)
MIDI	Grid dimension 55 mm (without connecting plates)
MAXI	Grid dimension 66 mm (without connecting plates)

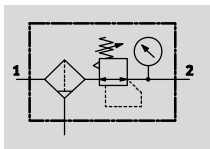
Condensate drain	
	Turned manually
H	Semi-automatic
A	Fully automatic

Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design

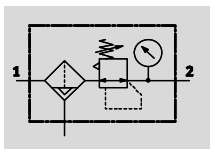
Technical data

LFR/LFRS

Manual rotary condensate drain, with pressure gauge

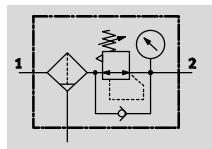


Semi or fully automatic condensate drain, with pressure gauge

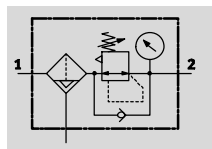


LFR/LFRS-...-DI-MAXI

Manual rotary condensate drain, with pressure gauge



Fully automatic condensate drain, with pressure gauge



- Flow rate
110 ... 11,000 l/min
- Temperature range
-10 ... +60 °C
- Operating pressure
1 ... 16 bar

- Space-saving design with filter and regulator in a single unit
- Good particle separation and high flow rate
- Good regulating characteristics with minimal hysteresis
- Two pressure regulation ranges: 0.5 ... 7 bar and 0.5 ... 12 bar
- Two pressure gauge connections for flexible installation
- Setting values are secured by locking the rotary knob
- With manual, semi-automatic or fully automatic condensate drain
- Choice of filter cartridges: 5 µm or 40 µm
- New filter cartridges → 31
- Pressure sensor (optional) → 32

General technical data				
Size	Micro	Mini	Midi	Maxi
Pneumatic connection 1, 2 ¹⁾	M5 ²⁾ , M7 ²⁾ , G1/8, QS-4 ³⁾ , QS-6 ³⁾	G1/8, G1/4, G3/8	G1/4, G3/8, G1/2, G3/4	G1/2, G3/4, G1
Design	Filter regulator with/without pressure gauge			
Type of mounting	Via accessories In-line installation			
Assembly position	Vertical ±5°			
Grade of filtration [µm]	5	5 40		
Air purity class at the output	Compressed air according to ISO 8573-1:2010 [6:8:4] (grade of filtration 5 µm)			
	Compressed air according to ISO 8573-1:2010 [7:8:4] (grade of filtration 40 µm)			
	Inert gases			
Bowl guard	- Metal bowl guard			
Condensate drain	Manual rotary Semi-automatic Fully automatic			
Regulator lock	Rotary knob with detent - Rotary knob with integrated lock			
Pressure regulation range [bar]	0.5 ... 7	0.5 ... 7 0.5 ... 12		
Max. hysteresis [bar]	0.3	0.2		0.4
Pressure indication	Via pressure gauge M5 prepared G1/8 prepared G1/4 prepared G1/4 prepared			
Max. condensate volume [cm ³]	3	22	43	80 ⁴⁾

1) Connecting plates with connecting thread
 2) Without connecting plates, connecting thread in housing
 3) Connecting plates with push-in connector
 4) The max. condensate volume for the LFR/LFRS-...-DI-MAXI is 43 cm³.
 - † Note: This product conforms to ISO 1179-1 and to ISO 228-1

Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design

FESTO

Technical data

Standard nominal flow rate $q_{nN}^{1)}$ [l/min]						
Size	Micro					
Pneumatic connection 1, 2	M5	M7	G $\frac{1}{8}$	QS-4	QS-6	
Pressure regulation range	0.5 ... 7 bar	110	280	410	150	410

- 1) Measured at $p_1 = 10$ bar, $p_2 = 6$ bar and $\Delta p = 1$ bar.
A minimum flow rate of 125 l/min is required for correct operation.

Standard nominal flow rate $q_{nN}^{1)}$ [l/min]											
Size	Mini				Midi				Maxi		
Pneumatic connection 1, 2	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{1}{2}$	G $\frac{3}{4}$	G $\frac{1}{2}$	G $\frac{3}{4}$	G1	
Pressure regulation range, grade of filtration	0.5 ... 7 bar, 40 μ m	900	1,500	1,700	2,100	3,200	3,900	4,000	9,500 (7,600) ²⁾	10,000 (7,700) ²⁾	11,000 (7,800) ²⁾
	0.5 ... 12 bar, 5 μ m	650	1,200	1,350	1,600	2,400	2,600	2,600	7,500 (4,000) ²⁾	7,600 (5,800) ²⁾	8,000 (6,000) ²⁾
	0.5 ... 12 bar, 40 μ m	750	1,400	1,600	2,000	3,100	3,400	3,400	9,400 (4,500) ²⁾	9,700 (6,800) ²⁾	10,000 (7,000) ²⁾

- 1) Measured at $p_1 = 10$ bar, $p_2 = 6$ bar and $\Delta p = 1$ bar.
A minimum flow rate of 125 l/min is required for correct operation.
2) For the LR/LRS-...-DI.

Operating and environmental conditions				
Condensate drain	Manual rotary		Semi-automatic	Fully automatic
Size	Micro		Micro	Mini/Midi/Maxi
Operating pressure [bar]	1 ... 10		1 ... 10	2 ... 12
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:9:-]		Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:9:-]	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:9:-]
	Inert gases			
Ambient temperature [°C]	-10 ... +60			+5 ... +60
Temperature of medium [°C]	-10 ... +60			+5 ... +60
Storage temperature [°C]	-10 ... +60			
Corrosion resistance class CRC ¹⁾	2			
Certification	Germanischer Lloyd			

- 1) Corrosion resistance class CRC 2 to Festo standard FN 940070
Moderate corrosion stress. Indoor applications in which condensation may occur. External visible parts with primarily decorative requirements for the surface and which are in direct contact with the ambient atmosphere typical for industrial applications.

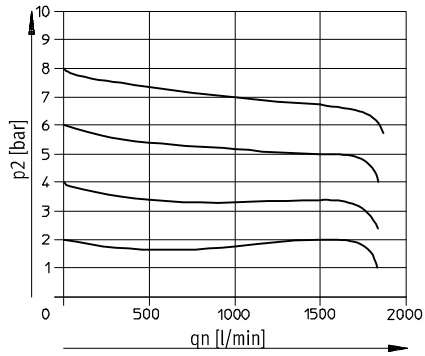
Weight [g]						
Size	Micro		Mini	Midi	Maxi	
	Connecting thread	Connecting plate			Connection G $\frac{1}{2}$, G $\frac{3}{4}$	Connection G1
With pressure gauge						
LFR-...	104	124	460	920	1,370	1,470
LFR-...-DI	-	-	-	-	1,670	1,670
LFRS-...	-	-	560	1,160	1,470	1,570
LFRS-...-DI	-	-	-	-	1,950	1,950
Without pressure gauge						
LFR-...	94	114	410	830	1,300	1,400
LFR-...-DI	-	-	-	-	1,600	1,600
LFRS-...	-	-	510	1,070	1,400	1,500
LFRS-...-DI	-	-	-	-	1,880	1,880

Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design

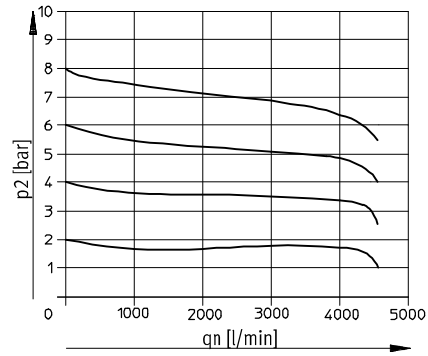
Technical data

Standard flow rate q_n as a function of the output pressure p_2

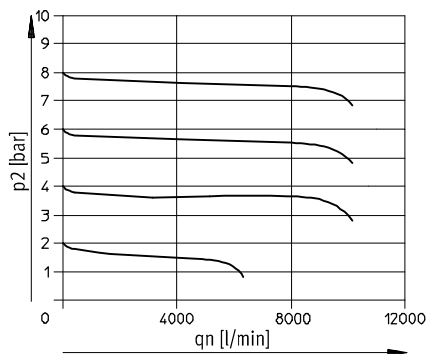
LFR/LFRS-1/4-D-MINI



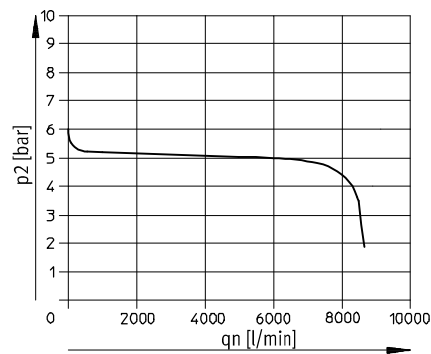
LFR/LFRS-1/2-D-MIDI




LFR/LFRS-1-D-MAXI



LFR/LFRS-1-D-DI-MAXI

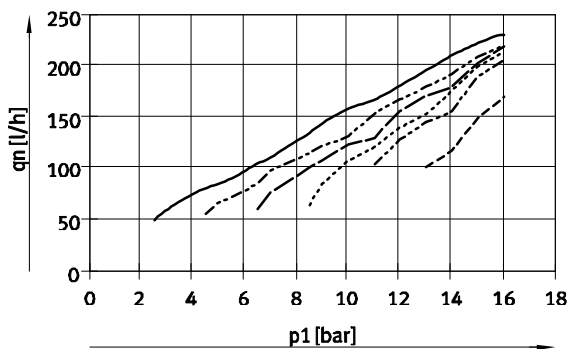


Primary pressure $p_1 = 10$ bar

 Note
In order to improve control behaviour, primary-pressure dependent internal air consumption is provided on the LFR/LFRS-...-MAXI.

Internal air consumption q_n as a function of input pressure p_1

LFR/LFRS-...-MAXI



- $p_2 = 2$ bar
- - - $p_2 = 4$ bar
- · - $p_2 = 6$ bar
- · · $p_2 = 8$ bar
- - - $p_2 = 10$ bar
- - - $p_2 = 12$ bar

Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design

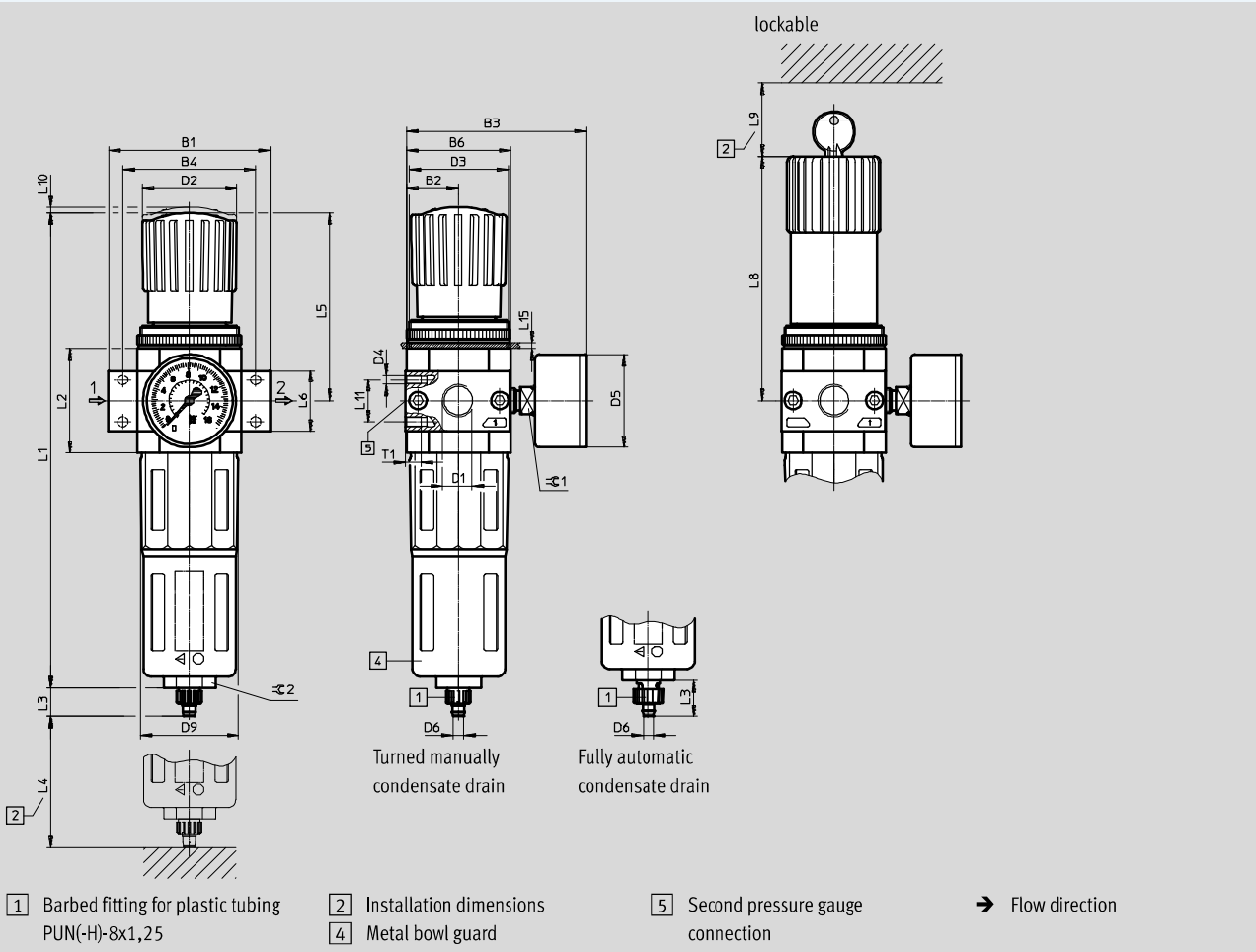


Technical data

Dimensions

Download CAD data → www.festo.com

Mini/Midi/Maxi



Type	B1	B2	B3	B4	B6	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D9
Mini												
LFR/LFRS-1/8-D-MINI (A)	64	20	76	~52	40	G1/8	31	M36x1.5	M4	41	5.6	38
LFR/LFRS-1/4-D-MINI (A)						G1/4						
LFR/LFRS-3/8-D-MINI (A)	70					G3/8						
Midi												
LFR/LFRS-1/4-D-MIDI (A)	~85	27.5	~94.5	~70	55	G1/4	50	M52x1.5	M5	49	5.6	52
LFR/LFRS-3/8-D-MIDI (A)						G3/8						
LFR/LFRS-1/2-D-MIDI (A)						G1/2						
LFR/LFRS-3/4-D-MIDI (A)						G3/4						
Maxi												
LFR/LFRS-1/2-D-MAXI (A)	96	33	106	80	66	G1/2	31	M36x1.5	M5	49	5.6	65
LFR/LFRS-1/2-D-DI-MAXI (A)			105				49	M52x1.5				
LFR/LFRS-3/4-D-MAXI (A)			106			49	M36x1.5					
LFR/LFRS-3/4-D-DI-MAXI (A)			105				M52x1.5					
LFR/LFRS-1-D-MAXI (A)	116		106	91		G1	31	M36x1.5				
LFR/LFRS-1-D-DI-MAXI (A)			105				49	M52x1.5				

† Note: This product conforms to ISO 1179-1 and to ISO 228-1

Filter regulators LFR/LFRS, D series, metal design



Technical data

Type	L1	L2	L3	L4 min.	L5	L6	L8	L9	L10	L11 ±0.2	L15 max.	T1 min.	≈C 1	≈C 2
Mini														
LFR/LFRS-1/8-D-MINI (A)	192.9	40	15 (19) ¹⁾	60	~69	20	98	60	3	11	3	7	14	22
LFR/LFRS-1/4-D-MINI (A)														
LFR/LFRS-3/8-D-MINI (A)														
Midi														
LFR/LFRS-1/4-D-MIDI (A)	250	55 ±0.1	15 (19) ¹⁾	80	99	32 ±0.3	130	60	3	22	5	8	14	24
LFR/LFRS-3/8-D-MIDI (A)														
LFR/LFRS-1/2-D-MIDI (A)														
LFR/LFRS-3/4-D-MIDI (A)														
Maxi														
LFR/LFRS-1/2-D-MAXI (A)	252	66	15 (19) ¹⁾	90	82	32	111	60	3	22	4	8	14	24
LFR/LFRS-1/2-D-DI-MAXI (A)	275				~105	32	135		4					
LFR/LFRS-3/4-D-MAXI (A)	252				82	32	111		3					
LFR/LFRS-3/4-D-DI-MAXI (A)	275				~105	36	135		4					
LFR/LFRS-1-D-MAXI (A)	252				82	40	111		3					
LFR/LFRS-1-D-DI-MAXI (A)	275				~105	41	135		4					

1) Value in brackets applies to the fully automatic condensate drain.

PRILOG VII: SPECIFIKACIJE VENTILSKOG BLOKA

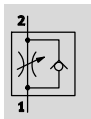
Zbog opširnosti kataloga u kojem su navedene sve moguće kombinacije ventilskog bloka on nije specificiran u prilogu. Katalog se može naći na službenoj stranici tvrtke Festo.




**PRILOG VIII: SPECIFIKACIJE PRIGUŠNO-NEPOVRATNOG
VENTILA**

One-way flow control valves GR, in-line installation

Technical data – Push-in connector QS, polymer

One-way flow control function



-  - Flow rate
40 ... 250 l/min
-  - Temperature range
-10 ... +60 °C
-  - Operating pressure
0.2 ... 10 bar



General technical data				
Valve function	One-way flow control function			
Pneumatic connection 2	QS-3	QS-4	QS-6	QS-8
Pneumatic connection 1	QS-3	QS-4	QS-6	QS-8
Adjustment component	Knurled screw			
Type of mounting	Via through-hole			
	Front panel mounting			
	Via accessories			
Mounting position	Any			

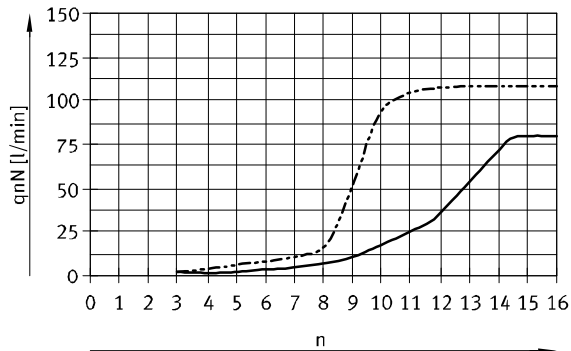
Operating and environmental conditions	
Operating pressure [bar]	0.2 ... 10
Operating medium	Compressed air in accordance with ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Note on operating/pilot medium	Operation with lubricated medium possible (in which case lubricated operation will always be required)
Ambient temperature [°C]	-10 ... +60
Temperature of medium [°C]	-10 ... +60
Storage temperature [°C]	-10 ... +40

One-way flow control valves GR, in-line installation

Technical data – Push-in connector QS, polymer

Standard nominal flow rate q_{nN} at 6 \rightarrow 5 bar as a function of turns of the adjusting screw n

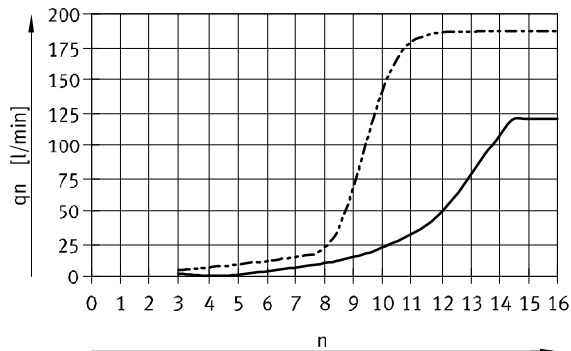
GR-QS-3, GR-QS-4



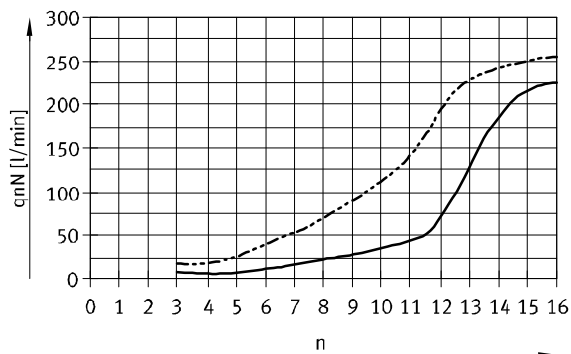
— GR-QS-3
 - - - GR-QS-4

Standard flow rate q_n at 6 \rightarrow 0 bar as a function of turns of the adjusting screw n

GR-QS-3, GR-QS-4

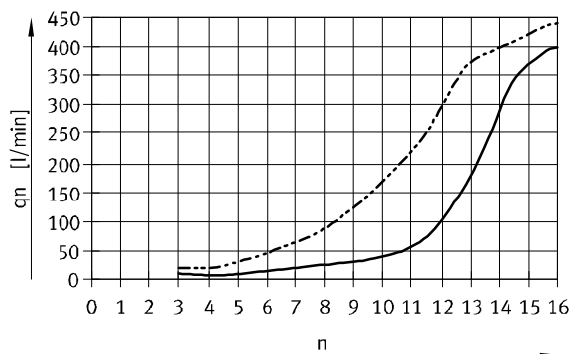


GR-QS-6, GR-QS-8



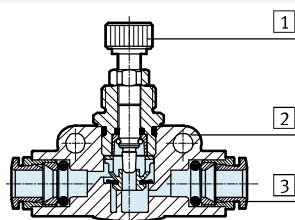
— GR-QS-6
 - - - GR-QS-8

GR-QS-6, GR-QS-8



Materials

Sectional view



One-way flow control valve

1	Adjusting screw	High-alloy steel
2	Housing	PA, reinforced
3	Releasing ring	POM
-	Seals	NBR
Note on materials		RoHS-compliant

- 7 - Type discontinued
Available up until 2017

One-way flow control valves GR, in-line installation

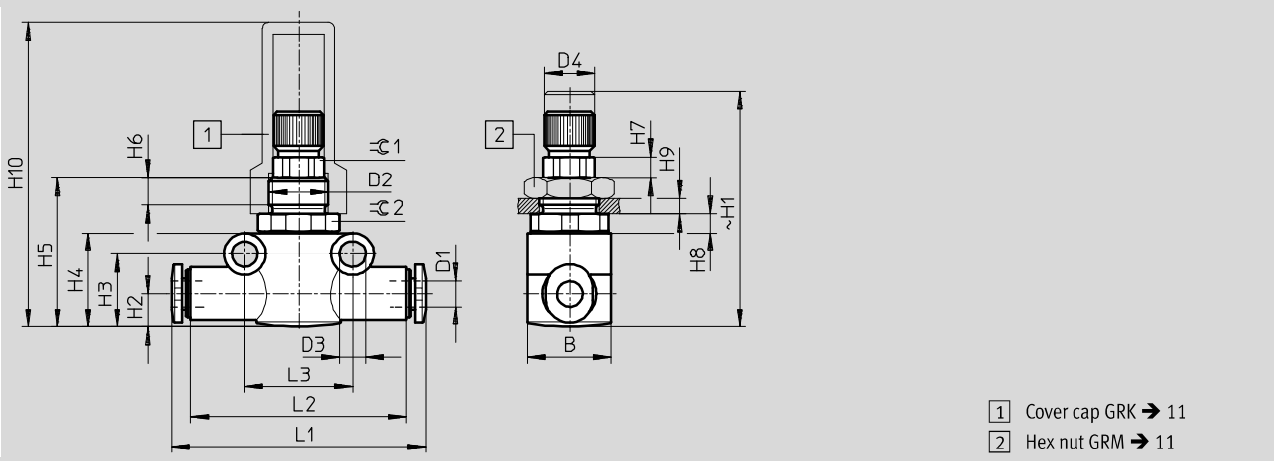
FESTO

Technical data – Push-in connector QS, polymer

Dimensions

Download CAD data → www.festo.com

Knurled screw



- 1 Cover cap GRK → 11
2 Hex nut GRM → 11

Type	Tubing O.D. D1	B	D2	D3 ∅	D4 ∅	H1		H2	H3	H4
						min.	max.			
GR-QS-3	3	14	M10x1	4.3 ±0.1	7.9 -0.3	35	41.5	5.55	12.2	15.7
GR-QS-4	4	14	M10x1	4.3 ±0.1	7.9 -0.3	35	41.5	5.55	12.2	15.7
GR-QS-6	6	16	M12x1	4.3 ±0.1	7.9 -0.3	40	46	8.4	17.3	21.3
GR-QS-8	8	16	M12x1	4.3 ±0.1	7.9 -0.3	40	46	8.4	17.3	21.3

Type	H5	H6	H7	H8	H9 max.	H10	L1	L2	L3	⊙ 1	⊙ 2
GR-QS-3	24.9	4.5	3.5	3.2	2.5	50.9	41.8	36	18	8	13
GR-QS-4	24.9			3.2	2.5	50.9	42.4	36	18		13
GR-QS-6	30.1			2.8	3.5	46.1	51.6	43	24		14
GR-QS-8	30.1			2.8	3.5	46.1	53.4	43	24		14

Ordering data – One-way flow control function

	Pneumatic connection		Standard nominal flow rate qnN at 6 → 5 bar		Standard flow rate qn at 6 → 0 bar		Weight [g]	Part No.	Type
			in direction of flow control	in non-return direction	in direction of flow control	in non-return direction			
	2	1	[l/min]	[l/min]	[l/min]	[l/min]			
Knurled screw									
	QS-3	QS-3	85	120	-	-	12	193965	GR-QS-3
	QS-4	QS-4	40	100 ... 110	130	170 ... 185	15	193966	GR-QS-4-LF - 7
			110	165	-	-	12	193967	GR-QS-4
	QS-6	QS-6	75	260 ... 270	110	500 ... 510	25	193968	GR-QS-6-LF - 7
			230	430	-	-	22	193969	GR-QS-6
QS-8	QS-8	250	500	-	-	23	193970	GR-QS-8	

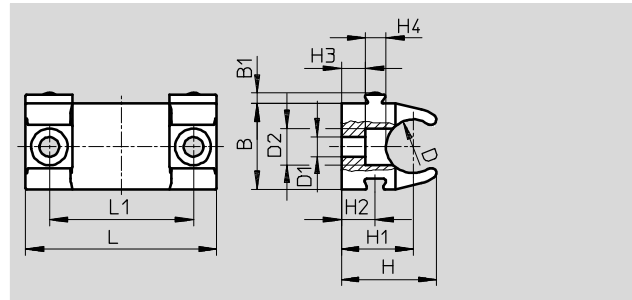
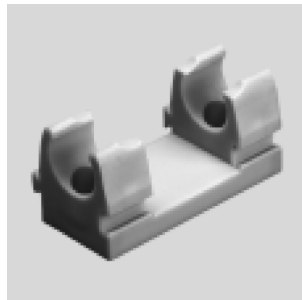
One-way flow control valves GR, in-line installation

Accessories

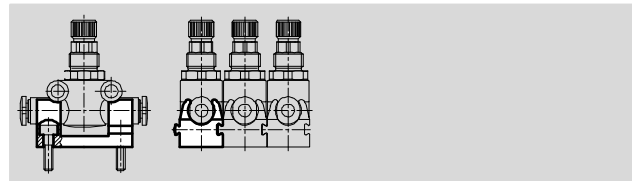
Retainer GR-H

For mounting on a flat surface via M3 screws. The one-way flow control valve is snapped into the retainer. The retainer can be fitted in any position.

Material: POM
Free of copper and PTFE



Linking of multiple retainers via dovetail slot



Dimensions and ordering data								
For type	B	B1	D	D1	D2	H	H1	H2
GR-QS-3, GR-QS-4	14.3	1.9	9	3.2	6	16	12	5.7
GR-QS-6, GR-QS-8	19.8	1.9	14.5	3.2	6	19.2	13	5.7

For type	H3	H4	L	L1	Weight [g]	Part No.	Type
GR-QS-3, GR-QS-4	4.1	3.4	31.8	24	4	195495	GR-H-QS-3-4
GR-QS-6, GR-QS-8	2.3	3.4	31.8	24	5	195496	GR-H-QS-6-8

Hex nut GRM

For front panel mounting

Material: Steel



Ordering data			
For type	Description	Part No.	Type
GR-QS-3, GR-QS-4	Thread M10x1	6444	GRM-M5
GR-QS-6, GR-QS-8	Thread M12x1	2107	GRM-1/8

Cover cap GRK

Material: PP



Ordering data			
For type	Description	Part No.	Type
GR-QS-3, GR-QS-4	Thread M10x1	6436	GRK-M5
GR-QS-6, GR-QS-8	Thread M12x1	2105	GRK-1/8

PRILOG IX: SPECIFIKACIJE PNEUMATSKOG MIŠIĆA

Fluidic Muscle DMSP/MAS

FESTO



Fluidic Muscle DMSP/MAS

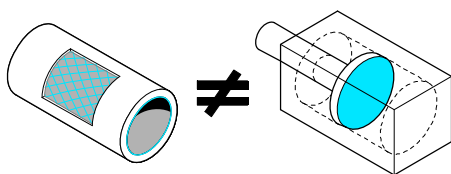
Key features

Mode of operation

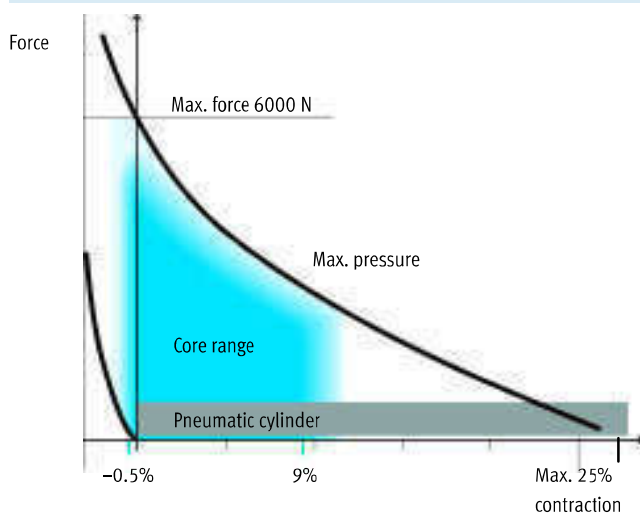


Fluidic Muscle is a tensile actuator which mimics the natural movement of a muscle. It consists of contractible tubing and appropriate connectors. The contractible tubing is made up of a rubber diaphragm with a non-crimped fibre made of aramid yarns on the inside. The diaphragm provides a hermetic seal enclosing the operating medium. The yarns serve as a reinforcement and trans-

mit power. When internal pressure is applied, diaphragm extends in the circumferential direction. This creates a tensile force and a contraction motion in the longitudinal direction. The usable tensile force is at its maximum at the start of the contraction and then decreases with the stroke.



Force profile and operating range



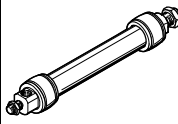
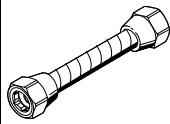
The muscle expands lengthways when it is pretensioned by an external force. When pressurised, on the other hand, the muscle contracts, i.e. its length decreases.

Areas of application

Clamping	Vibrating and shaking	Pneumatic spring	Other
<ul style="list-style-type: none"> • High force combined with a small diameter • Insensitive to dirt • Frictionless movement • Hermetically sealed 	<ul style="list-style-type: none"> • Frequency up to 150 Hz • Amplitude/frequency can be adjusted independently of each other • Insensitive to dirt 	<ul style="list-style-type: none"> • Adjustable spring force • Frictionless movement • Hermetically sealed • Easy to handle 	<ul style="list-style-type: none"> • Positioning using pressure • High acceleration of a load

Fluidic Muscle DMSP/MAS

Product range overview

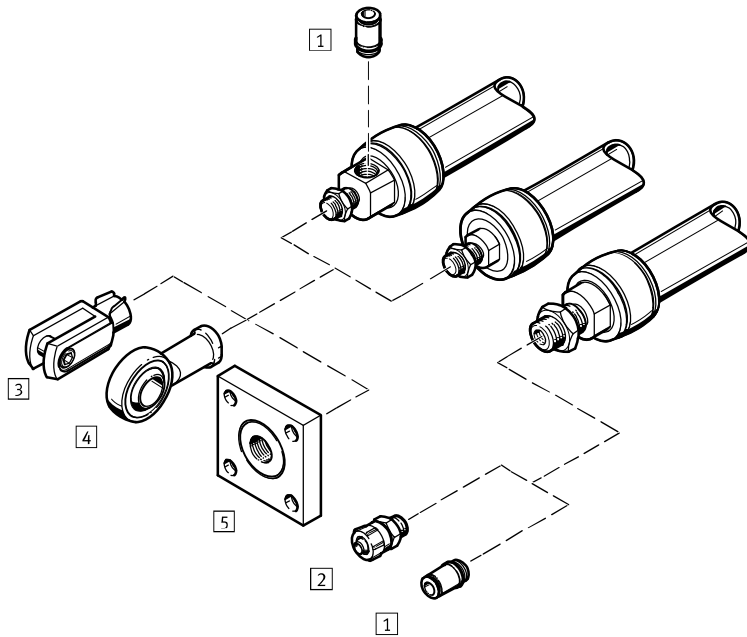
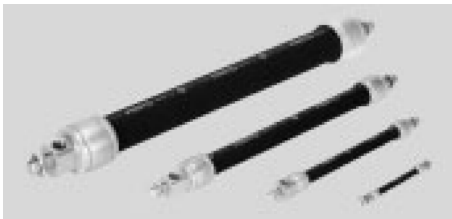
Function	Version	Type	I.D. [mm]	Nominal length [mm]	Lifting force [N]
Single-acting, pulling	Fluidic Muscle with press-fitted connection				
		DMSP	5	30 ... 1000	0 ... 140
			10	40 ... 9000	0 ... 630
			20	60 ... 9000	0 ... 1500
			40	120 ... 9000	0 ... 6000
	Fluidic Muscle with screwed connection				
		MAS	10	40 ... 9000	0 ... 630
			20	60 ... 9000	0 ... 1500
40			120 ... 9000	0 ... 6000	

Type	I.D. [mm]	Max. permissible pretensioning	Max. permissible contraction	Operating pressure [bar]	→ Page/Internet
Fluidic Muscle with press-fitted connections					
DMSP	5	1% of nominal length	20% of nominal length	0 ... 6	11
	10	3% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 8	
	20	4% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 6	
	40	5% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 6	
Fluidic Muscle with screwed connection					
MAS	10	3% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 8	20
	20	4% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 6	
	40	5% of nominal length	25% of nominal length	0 ... 6	

New
DMSP-5

Fluidic Muscle DMSP with press-fitted connection

Peripherals overview



Accessories		Description	Size				→ Page/Internet
			5	10	20	40	
1	Push-in fittings QSM/QS	For connecting compressed air tubing with standard outside diameters	■	■	■	■	qs
2	Quick connectors CK	For connecting compressed air tubing with standard internal diameters	-	■	■	■	ck
3	Rod clevis SG	Permits swivel motion of the Fluidic Muscle in one plane	■	■	■	■	19
4	Rod eye SGS	With spherical bearing	■	■	■	■	19
5	Coupling pieces KSZ	To compensate for radial deviations	■	■	■	■	19
	Coupling pieces KSG	To compensate for radial deviations	-	■	■	■	19

New
DMSP-5

FESTO

Fluidic Muscle DMSP with press-fitted connection

Technical data



Size
5 ... 40

Nominal length
30 ... 9000 mm

Lifting force
0 ... 6000 N



General technical data				
Size	5	10	20	40
Pneumatic connection	M3	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$
Design	Contracting diaphragm			
Mode of operation	Single-acting, pulling			
I.D. [mm]	5	10	20	40
Nominal length [mm]	30 ... 1000	40 ... 9000	60 ... 9000	120 ... 9000
Stroke [mm]	0 ... 200	0 ... 2250	0 ... 2250	0 ... 2250
Max. additional load, freely suspended [kg]	5	30	80	250
Max. permissible pretensioning ¹⁾	1% of nominal length	3% of nominal length	4% of nominal length	5% of nominal length
Max. permissible contraction	20% of nominal length	25% of nominal length		
Max. perm. offset of connections	Angle tolerance: $\leq 1.0^\circ$			
	Parallelism tolerance: $\pm 0.5\%$ (up to 400 mm nominal length), ≤ 2 mm (from 400 mm nominal length)			
Type of mounting	Via accessories			
Mounting position	Any (an external guide is required if lateral forces occur)			

1) The max. pretensioning is achieved when the max. permissible freely suspended payload is attached.

Operating and environmental conditions				
Size	5	10	20	40
Operating pressure [bar]	0 ... 6	0 ... 8	0 ... 6	0 ... 6
Operating medium	Compressed air according to ISO 8573-1:2010 [7:-:-]			
Note on operating/pilot medium	Lubricated operation possible (in which case lubricated operation will always be required)			
Ambient temperature [°C]	-5 ... +60			
Corrosion resistance class CRC ¹⁾	2			
Certification	TÜV			

1) Corrosion resistance class CRC 2 to Festo standard FN 940070
Moderate corrosion stress. Indoor applications in which condensation may occur. External visible parts with primarily decorative requirements for the surface and which are in direct contact with the ambient atmosphere typical for industrial applications.

Forces [N] at max. permissible operating pressure				
Size	5	10	20	40
Theoretical force ¹⁾	140	630	1500	6000

1) For minimum nominal length, the force is reduced by approx. 10%.

Fluidic Muscle DMSP with press-fitted connection

Technical data

Permissible force F [N] as a function of the contraction h [%] of the nominal length

Force/displacement diagrams and sizing ranges

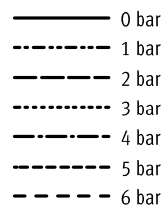
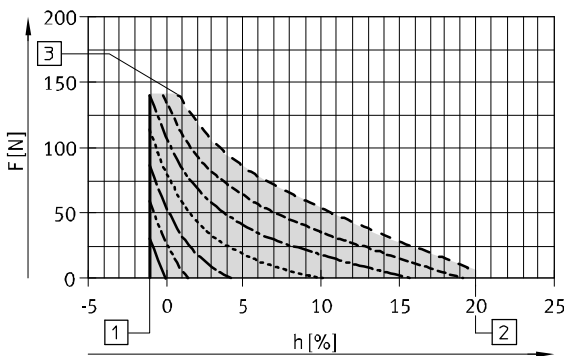
The limits specified in the technical data must be complied with when using the Fluidic Muscle. The graphs below illustrate the operating range of the Fluidic Muscle as a function of the diameter, within the limits shown below.

Using the graphs

1. The upper limit of the grey area indicates the maximum permissible force.
2. The right limiting curve of the grey area indicates the maximum permissible operating pressure.
3. The right vertical limit of the grey area indicates the maximum permissible contraction.
4. The left limit of the grey area indicates the load limit of the muscle in terms of the maximum permissible pretensioning.

Operating range DMSP-5-100N-...

Sizing examples → 33

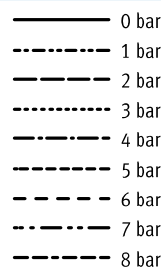
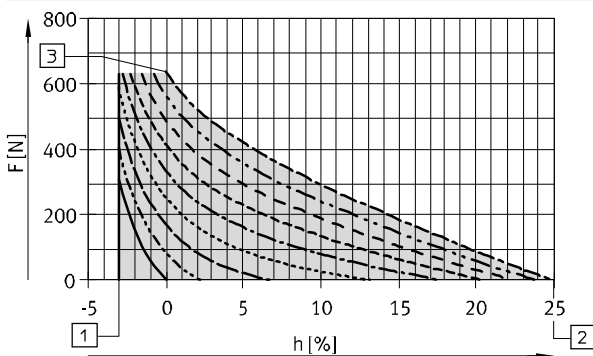


- [1] Max. permissible pretensioning
- [2] Max. permissible contraction
- [3] Theoretical force (140 N) at max. operating pressure

■ Permissible operating range

Operating range DMSP-10-100N-...

Sizing examples → 33



- [1] Max. permissible pretensioning
- [2] Max. permissible contraction
- [3] Theoretical force (630 N) at max. operating pressure

■ Permissible operating range

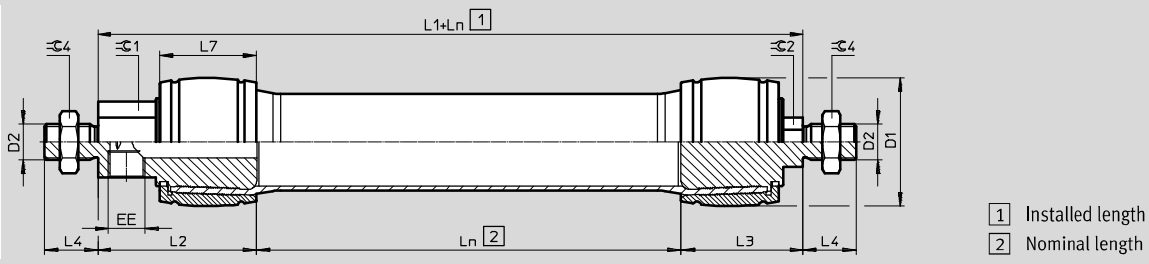
Fluidic Muscle DMSP with press-fitted connection

Technical data

Dimensions

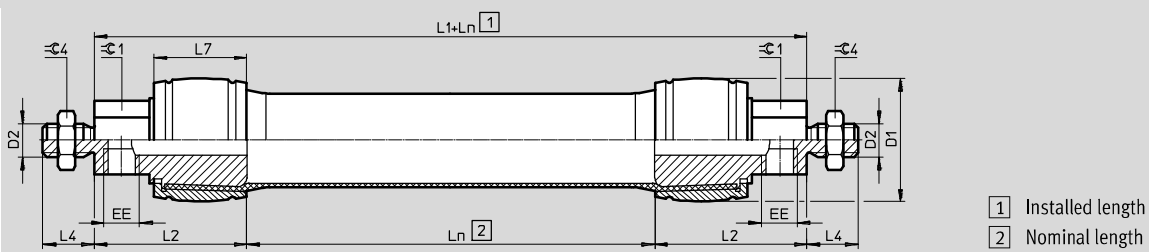
Download CAD data → www.festo.com

DMSP-...-RM-CM – pneumatic connection, radial – no connection, with male thread



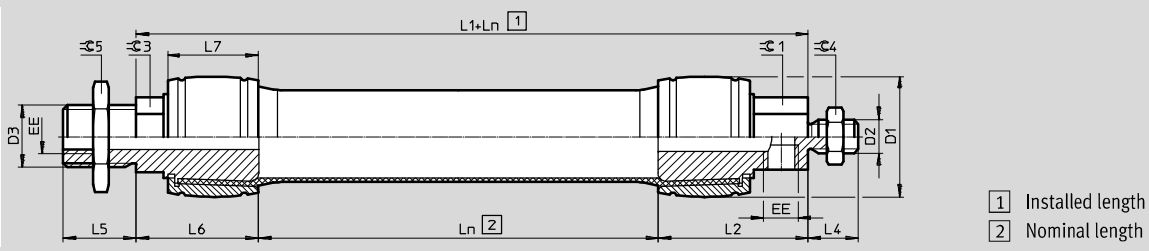
- 1 Installed length
- 2 Nominal length

DMSP-...-RM-RM – pneumatic connection, radial – pneumatic connection, radial



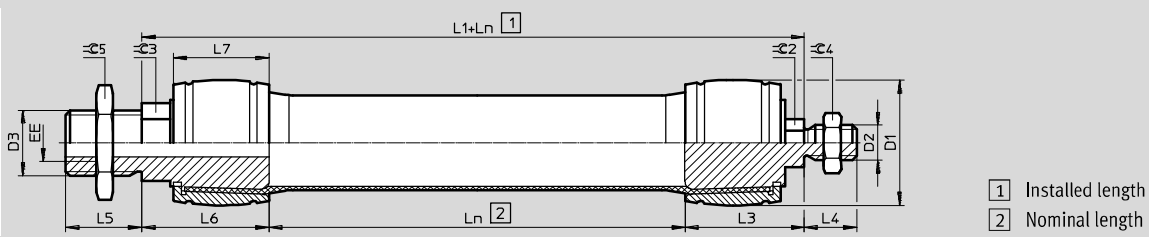
- 1 Installed length
- 2 Nominal length

DMSP-...-AM-RM – pneumatic connection, axial – pneumatic connection, radial



- 1 Installed length
- 2 Nominal length

DMSP-...-AM-CM – pneumatic connection, axial – no connection, with male thread



- 1 Installed length
- 2 Nominal length

Size	D1 max.	D2	D3	EE ²⁾	Ln ¹⁾		L1				L2
					min.	max.	RM-CM	RM-RM	AM-RM	AM-CM	
5	11	M6	M8	M3	30	1000	33	37	33	29	18.5
10	22	M8	M16x1.5	G1/8	40	9000	62	72	63	53	36
20	35	M10x1.25	M20x1.5	G1/4	60		95	113	97	79	56.5
40	57	M16x1.5	M30x1.5	G3/8	120		127	144	131	114	72





Size	L3	L4	L5	L6	L7	≈C1 ²⁾	≈C2 ²⁾	≈C3 ²⁾	≈C4	≈C5
5	14.5	10	10	14.5	10	8	8	10	13	13
10	26	15	16	27	19	17	10	17	13	24
20	38.5	20	18	40.5	30	19	12	20	17	30
40	55	24	35	59	44	30	19	30	24	46


1) Tolerance < 100 mm ±1 mm, 100 ... 400 mm ±1%, > 400 mm ±4 mm.

2) Parallel orientation of the spanner flats on the left and right connection side can lead to deviations (for production reasons).

Fluidic Muscle DMSP with press-fitted connection

Accessories

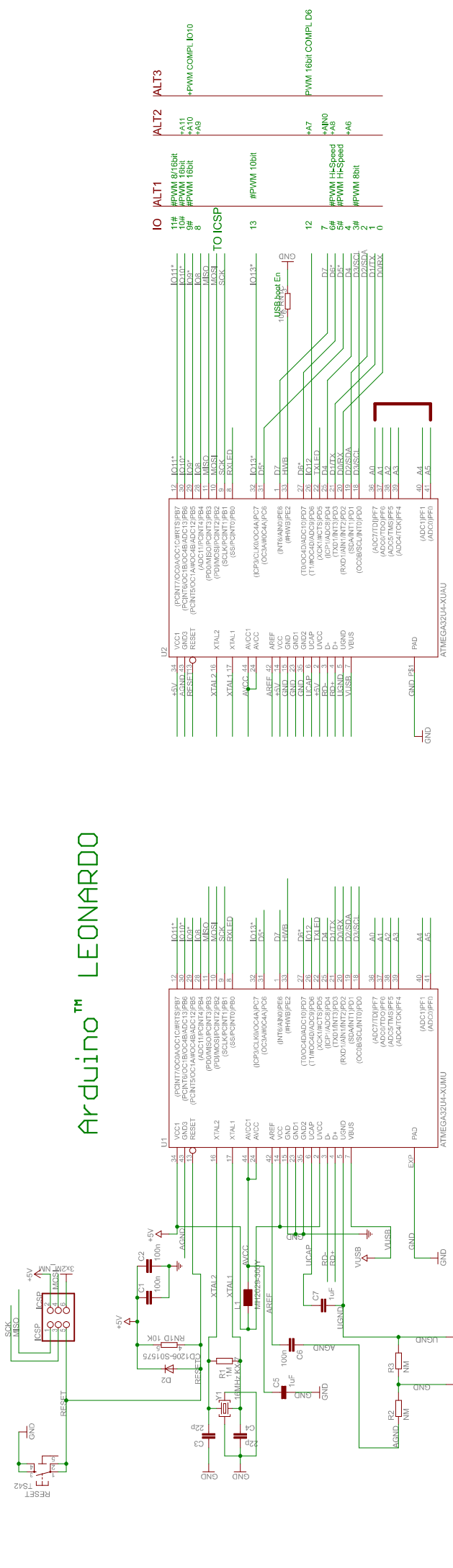
Ordering data				Technical data → Internet: piston-rod attachment			
Description	For size	Part No.	Type	Description	For size	Part No.	Type
Rod eye SGS				Coupling piece KSG			
	5	9254	SGS-M6		5	–	
	10	9255	SGS-M8		10	–	
	20	9261	SGS-M10x1,25		20	32963	KSG-M10x1,25
	40	9263	SGS-M16x1,5¹⁾		40	32965	KSG-M16x1,5
Rod clevis SG				Coupling piece KSZ			
	5	3110	SG-M6		5	36123	KSZ-M6
	10	3111	SG-M8		10	36124	KSZ-M8
	20	6144	SG-M10x1,25		20	36125	KSZ-M10x1,25
	40	6146	SG-M16x1,5¹⁾		40	36127	KSZ-M16x1,5

 Note

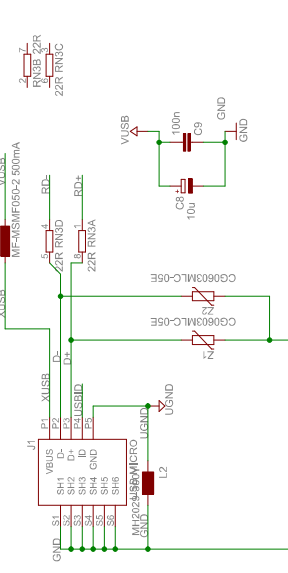
- 1) If there is a dynamic load on the DMSP40, the technical data will be subject to restrictions because of the accessories.
Fundamentals: rated load, friction torque where $\mu = 0.2$:
- Endurance limit at 6000 N: 1 million load cycles (higher values on request)
 - Endurance limit at 4000 N: 10 million load cycles

PRILOG X: SPECIFIKACIJE MIKROKONTROLERA

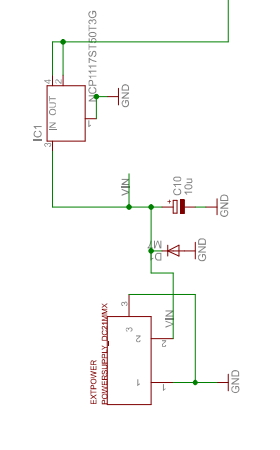
Arduino™ LEONARDO



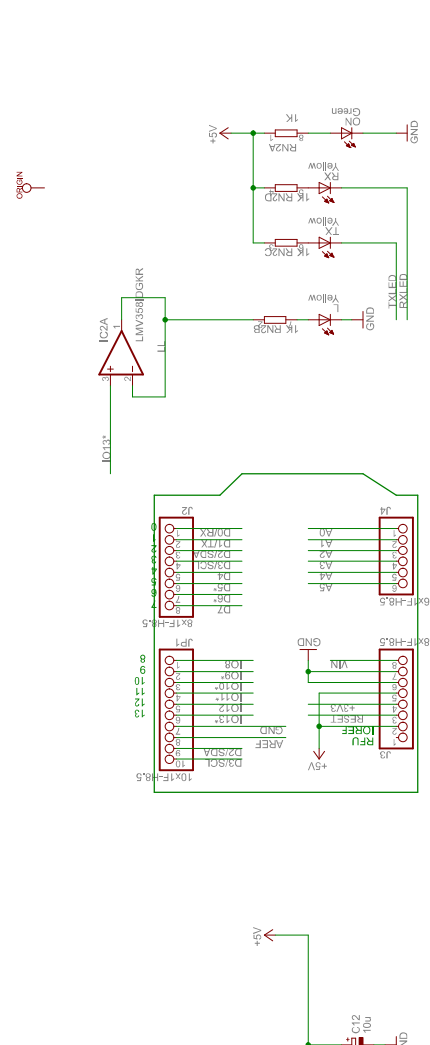
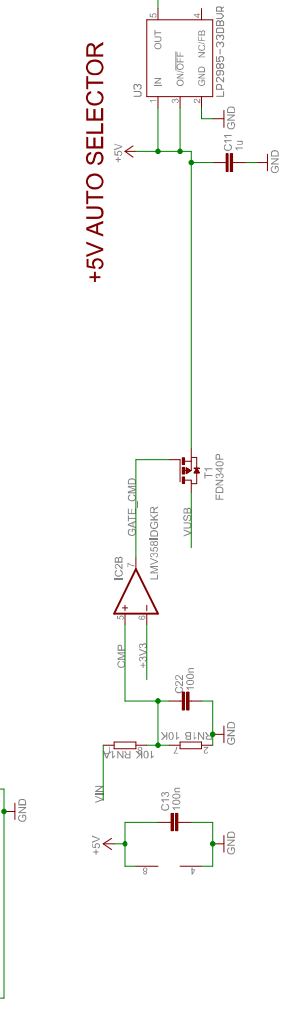
USB



NOT USED

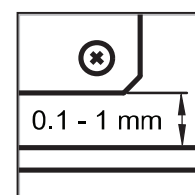


+5V AUTO SELECTOR



PRILOG XI: SPECIFIKACIJE INKREMENTALNOG ENKODERA

LM13 magnetic ring encoder system



The LM13 is a contactless high-speed magnetic ring encoder designed for use in harsh environments.

The LM13 features a compact sealed readhead that rides at up to 1.0 mm from the ring's surface. Simple to install, the LM13 features an integral set-up LED on the readhead and wide installation tolerances.

Engineered for extreme service, the solid-state LM13 encoder operates from -10 °C to +80 °C, has water-proof sealing to IP68 and is highly resistant to shock, vibrations and pressure. The robust magnetic ring is also resistant to a range of chemicals commonly found in industry.

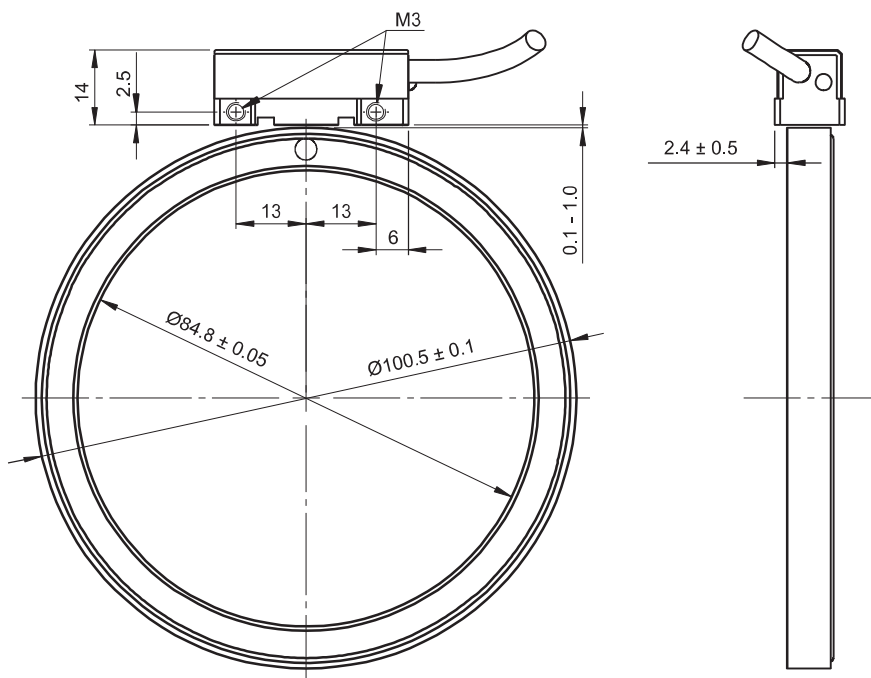
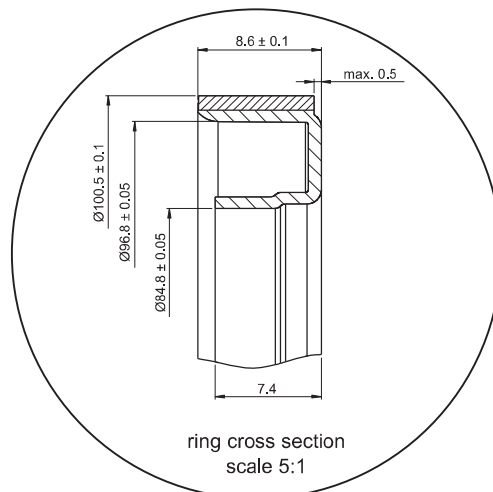
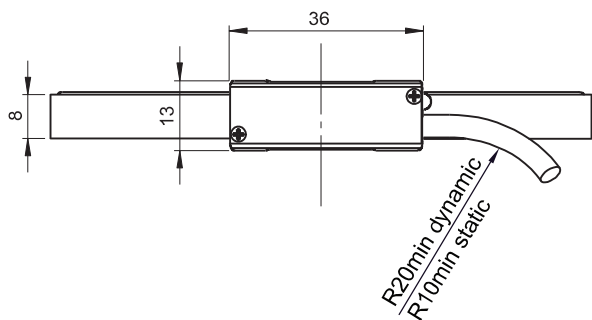
The non-contact, frictionless design eliminates wear while reducing hysteresis.

The LM13 encoders brings reliable solutions to tough, hard-working applications including woodworking, stone-cutting, sawing, metalworking, textiles, printing, packaging, plastics processing, automation and assembly systems, laser/flame/water-jet cutting, electronic assembly equipment etc.

- Resolutions from 1,280 to 327,680 counts per revolution
- High speed operation to 20,000 revolutions per minute
- Excellent dirt immunity
- Integral set-up LED
- High reliability from proven non-contact sensing technology
- Industry standard digital and analogue outputs

LM13 dimensions

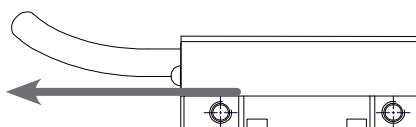
Dimensions and tolerances in mm.



Positive direction

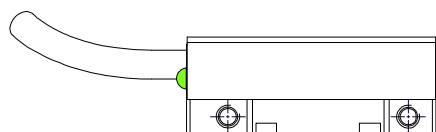
Digital output signals – A leads B

Analogue output signals ($1 V_{pp}$) – V_1 leads V_2

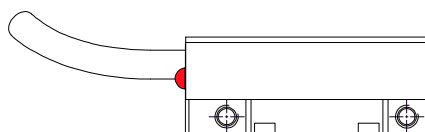


Set-up LED

The readhead can be easily adjusted on the machine using the set-up LED indicator.



Green LED = good signal strength / set-up



Red LED = poor signal strength - adjustment required
A, B, A-, B- outputs become high impedance

LM13 technical specifications

System data

Pole length	2.25° (approx. 2 mm)
Available resolutions and maximum speed	For analogue voltage output type: 8,000 rpm For digital output type:

Resolution (counts per revolution)	Interpolation factor	Maximum speed (revolutions per minute)				
		759	191	95	45	23
327,680	2,048	759	191	95	45	23
320,000	2,000	780	195	98	46	24
256,000	1,600	975	244	122	58	30
163,840	1,024	1,521	378	190	91	46
160,000	1,000	1,560	390	195	93	48
128,000	800	1,950	486	244	116	59
81,920	512	3,045	759	293	181	93
80,000	500	3,120	780	390	186	95
64,000	400	3,900	975	486	232	119
51,200	320	4,875	1,218	609	290	149
40,960	256	6,093	1,521	759	360	186
32,000	200	7,800	1,950	975	462	238
25,600	160	4,875	1,218	609	303	149
20,480	128	8,000*	3,045	1,521	723	369
16,000	100	7,800	1,950	975	462	238
12,800	80	4,875	1,218	609	303	149
10,240	64	8,000**	6,093	3,045	1,449	741
6,400	40	4,875	1,218	609	290	149
5,120	32	8,000**	8,000*	6,093	2,901	1,485
2,560	16	N/A	8,000**	8,000*	5,802	2,970
1,280	8	N/A	8,000**	8,000**	8,000*	5,943
Edge separation (µs)		0.12	0.50	1	2	4
Count frequency (kHz)		8333	2000	1000	500	250

* 12,000 rpm when special requirement 20 chosen.
** 20,000 rpm when special requirement 20 chosen.

Repeatability	Better than unit of resolution
Hysteresis	< 12 arc sec up to 0.5 mm ride height
Sub divisional error	±14 arc sec for < 0.7 mm ride height ±30 arc sec for 1 mm ride height
Mass	Readhead (1 m cable, no connector) 79.6 g, Readhead (1 m cable, with connector) 132.4 g, Cable (1 m) 34 g, Magnetic ring 42 g

Cable data

Voltage drop over cable	13 mV/m – without load 54 mV/m – with 120 Ω load
Cable	Ø4.2 ^{+0.2} mm, PUR high flexible cable, drag-chain compatible, double-shielded 8 × 0.05 mm ² ; durability: 20 million cycles at 20 mm bend radius

Environmental conditions

Temperature	Readhead	Operating	-10 °C to +80 °C (cable under non-dynamic conditions: -20 °C to +85 °C)
		Storage	-40 °C to +85 °C
	Ring	Operating and storage	-40 °C to +120 °C
Environmental sealing	IP68 (according to IEC 60529)		
EMC Immunity	IEC 61000-6-2 (particularly: ESD: IEC 61000-4-2; EM fields: IEC 61000-4-3; Burst: IEC 61000-4-4; Surge: IEC 61000-4-5; Conducted disturbances: IEC 61000-4-6; Power frequency magnet fields: IEC 61000-4-8; Pulse magnetic fields: IEC 61000-4-9)		
EMC Interference	IEC 61000-6-4 (for industrial, scientific and medical equipment: IEC 55011)		
Vibrations (55 Hz to 2000 Hz)	300 m/s ² (IEC 60068-2-6)		
Shocks (11 ms)	300 m/s ² (IEC 60068-2-27)		

LM13IC – Digital output signals, RS422

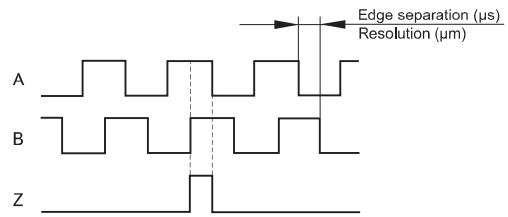
Square wave differential line driver to EIA RS422

Power supply *	4.7 V to 7 V – voltage on readhead Reverse polarity protection
Power supply rise time (for PRG option only)	< 1 ms
Power consumption (without any load)	< 35 mA
Output signals	3 square-wave signals A, B, Z and their inverted signals A-, B-, Z-
Reference signal	1 or more square-wave pulse Z and its inverted pulse Z-
Signal level	Differential line driver to EIA standard RS422: $U_H \geq 2.5 \text{ V}$ at $I_H = 20 \text{ mA}$ $U_L \leq 0.5 \text{ V}$ at $I_L = 20 \text{ mA}$
Permissible load	$Z_0 \geq 100 \Omega$ between associated outputs $I_L \leq 20 \text{ mA}$ max. load per output Capacitive load $\leq 1000 \text{ pF}$ Outputs are protected against short circuit to 0 V and to +5 V
Alarm	High impedance on output lines A, B, A-, B-
Switching time (10 to 90 %)	t_+ , $t_- < 30 \text{ ns}$ (with 1 m cable and recommended input circuit)
Cable length *	max. 100 m

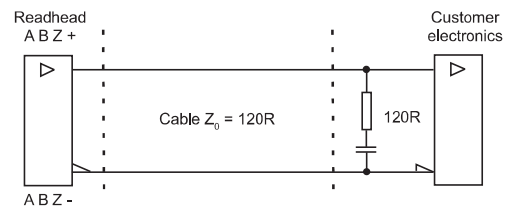
* Please consider voltage drop over cable.

Timing diagram

Complementary signals not shown



Recommended signal termination



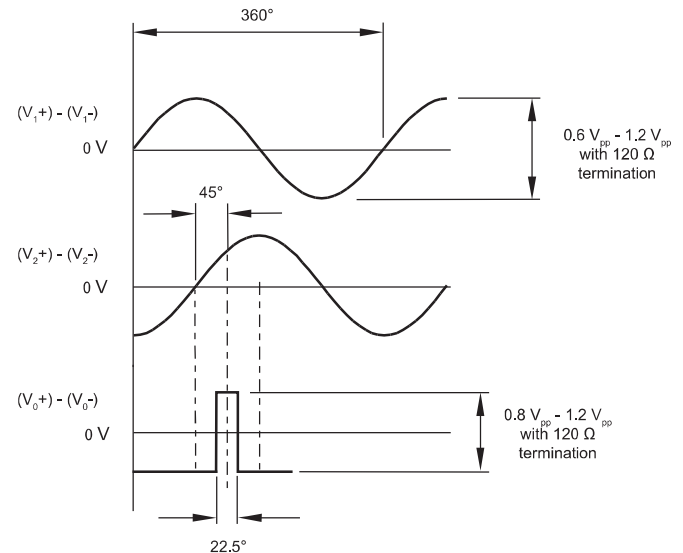
LM13AV – Analogue output signals (1 V_{pp})

2 channels V_1 and V_2 differential sinusoidals (90° phase shifted)

Power supply *	4.7 V to 7 V – voltage on readhead Reverse polarity protection	
Power consumption (without any load)	< 50 mA	
Output signals	V_1 , V_2 , V_0	
Sine / cosine signals	Amplitude	0.6 V _{pp} to 1.2 V _{pp} (with 120 Ω termination)
	Phase shift	90° ± 0.5°
Reference signal	Amplitude	0.8 V _{pp} to 1.2 V _{pp} (with 120 Ω termination)
	Position	45°
	Width	22.5°
Termination	$Z_0 = 120 \Omega$ between associated outputs	
Cable length *	max. 50 m	

* Please consider voltage drop over cable.

Timing diagram



Programming (for IC output type only)

Readheads can be ordered preset to the required resolution or provided so that they can be programmed as needed on the machine to the chosen resolution. This programming is carried out by connecting the readhead to a computer via a programming interface. The readhead must be ordered with the PRG option to use this function.

LM13 readhead part numbering

LM13 magnetic ring encoder system

= Readhead

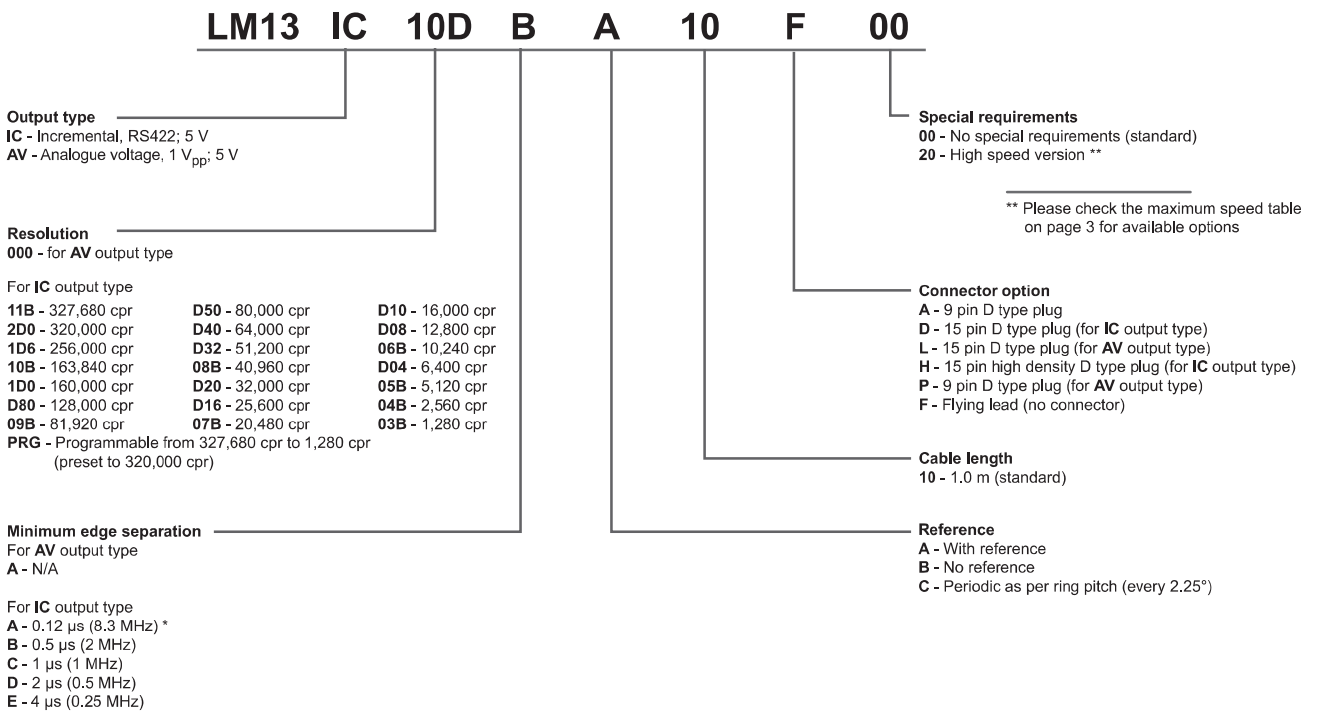


Readhead part number
eg LM13IC10DBA10F00

+ Ring



Ring part number
eg MN00134



* Default for PRG option.
 NOTE: Not available with 1,280 cpr and 2,560 cpr resolution options.

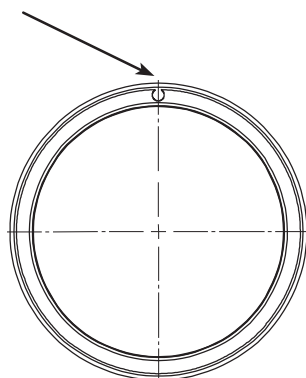
100.5 mm diameter ring part number

MN00134

100.5 mm diameter ring with reference mark part number

MN00147

Position of reference mark



Head office

RLS merilna tehnika d.o.o.
 Poslovna cona Žeje pri Komendi
 Pod vrbami 2
 SI-1218 Komenda
 Slovenia

T +386 1 5272100
 F +386 1 5272129
 E mail@rls.si
www.rls.si

Document issues

Issue	Date	Page	Corrections made
1	6. 1. 2009	-	New document
2	19. 6. 2009	5	Added connector option H
3	16. 9. 2009	2, 4	Amended the diimensions image and positive direction image added
4	5. 5. 2011	3	Maximum speed table updated
		4	Analogue voltage output added
		5	High speed version as special requirement option added

RENISHAW  is our worldwide sales support partner for Magnetic Encoders.

Australia
 T +61 3 9521 0922
 E australia@renishaw.com

Germany
 T +49 7127 9810
 E germany@renishaw.com

The Netherlands
 T +31 76 543 11 00
 E benelux@renishaw.com

Sweden
 T +46 8 584 90 880
 E sweden@renishaw.com

Austria
 T +43 2236 379790
 E austria@renishaw.com

Hong Kong
 T +852 2753 0638
 E hongkong@renishaw.com

Poland
 T +48 22 577 11 80
 E poland@renishaw.com

Switzerland
 T +41 55 415 50 60
 E switzerland@renishaw.com

Brazil
 T +55 11 4195 2866
 E brazil@renishaw.com

Hungary
 T +36 23 502 183
 E hungary@renishaw.com

Russia
 T +7 495 231 1677
 E russia@renishaw.com

Taiwan
 T +886 4 2473 3177
 E taiwan@renishaw.com

Canada
 T +1 905 828 0104
 E canada@renishaw.com

India
 T +91 20 6674 6751
 E india@renishaw.com

Singapore
 T +65 6897 5466
 E singapore@renishaw.com

UK
 T +44 1453 524524
 E uk@renishaw.com

The People's Republic of China
 T +86 10 8448 5306
 E beijing@renishaw.com

Israel
 T +972 4 953 6595
 E israel@renishaw.com

Slovenia
 T +386 1 52 72 100
 E mail@rls.si

USA
 T +1 847 286 9953
 E usa@renishaw.com

Czech Republic
 T +420 5 4821 6553
 E czech@renishaw.com

Italy
 T +39 011 966 10 52
 E italy@renishaw.com

South Korea
 T +82 2 2108 2830
 E southkorea@renishaw.com

**For all other countries
 Please contact RLS' head
 office**

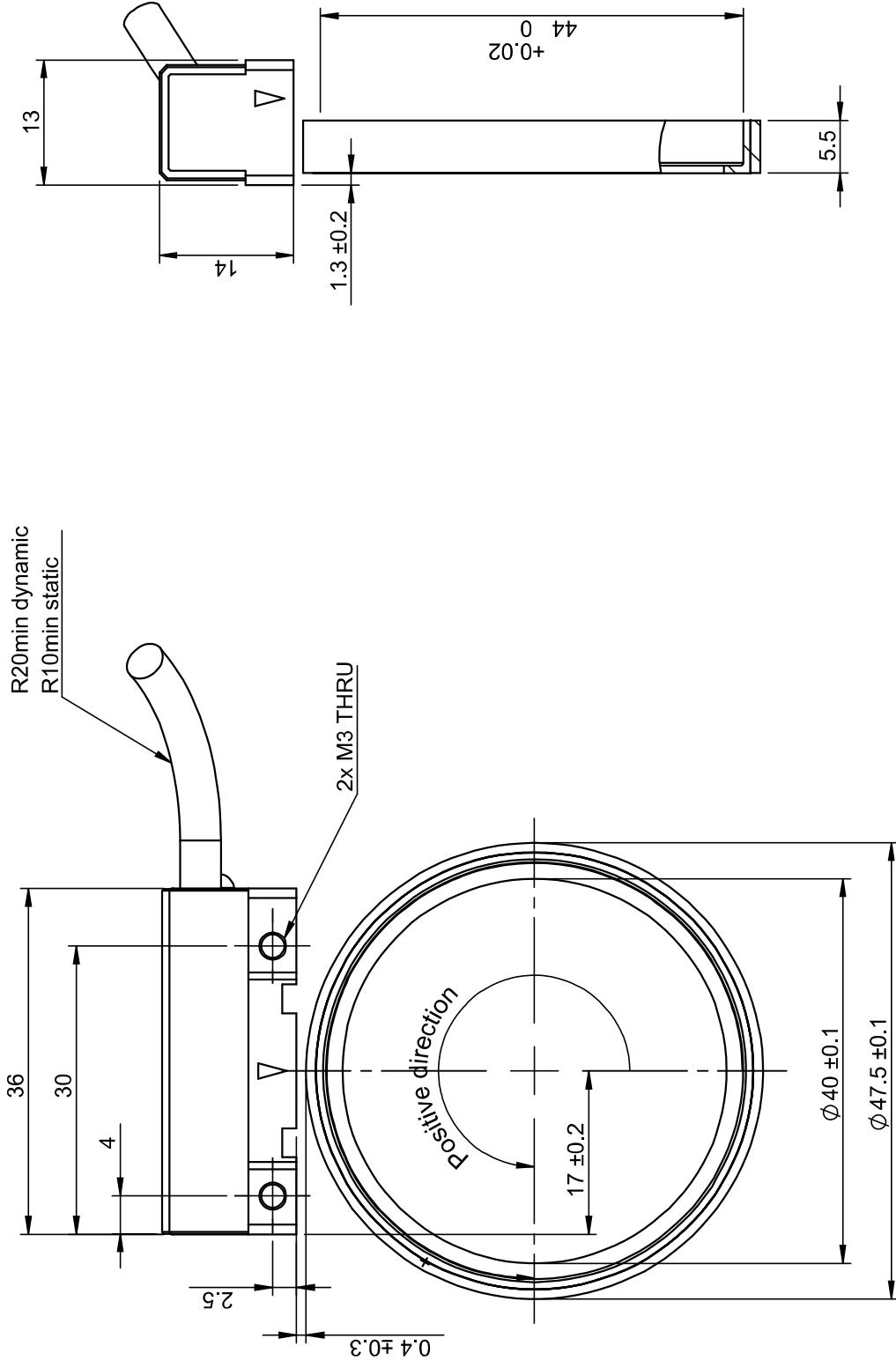
France
 T +33 1 64 61 84 84
 E france@renishaw.com

Japan
 T +81 3 5366 5316
 E japan@renishaw.com

Spain
 T +34 93 663 34 20
 E spain@renishaw.com

T +386 1 52 72 100
 E mail@rls.si

LM13



PRILOG XII: SPECIFIKACIJE AKCELEROMETRA

Zbog opširnosti kataloga on nije naveden u prilogu. Katalog se može naći na službenoj stranici tvrtke MURata.