

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Denis KRAJNC

**STROJ ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH  
CEVI**

Magistrsko delo  
študijskega programa 2. stopnje  
Meatronika

Maribor, avgust 2013



**Univerza v Mariboru**

*Fakulteta za strojništvo*

# **STROJ ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI**

Magistrsko delo

Študent: Denis KRAJNC

Študijski program  
2. stopnje:

Mehatronika

Mentor FS: izr. prof. dr. Ivan PAHOLE

Mentor FERI: Izr. prof. dr. Aleš HACE

Somentor: Izr. prof. dr. Karl GOTLIH

Maribor, avgust 2013



Univerza v Mariboru

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Smetanova ulica 17  
2000 Maribor, Slovenija  
www.fs.um.si

Številka: M-BM0001

Datum: 09.04.2013

Na osnovi 330. člena Statuta Univerze v Mariboru (Uradni list RS, št. 46/2012 – UPB10) izdajam:

### SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

**DENISU KRAJNCU**, študentu študijskega programa 2. stopnje **Mehatronika**, se dovoljuje izdelati magistrsko delo.

Tema magistrskega dela je pretežno s področja **Katedre za proizvodno strojništvo**.

Mentor (FS): **izr. prof. dr. Ivan Pahole**

Mentor (FERI): **izr. prof. dr. Aleš Hace**

Datum veljavnosti teme: **09.04.2014**

Tema podaljšana: /

Naslov magistrskega dela: **Stroj za razširjanje tankostenskih cevi**

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku: **Machine for the extension of thin-walled tubes**

Magistrsko delo je potrebno izdelati skladno z »Navodili za izdelavo magistrskega dela« in ga do 09.04.2014 v treh izvodih oddati v referat za študentske zadeve.

V skladu z Navodili o pripravi in oddaji e-diplom je potrebno magistrsko delo oddati v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na senat članice v roku 15 dni.

Dekan:

red. prof. dr. Niko Samec

- Obvestiti:
- kandidata
  - mentorja FS
  - mentorja FERI
  - odložiti v arhiv



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorjema izr. prof. dr. Ivanu Paholeju in izr. prof. dr. Alešu Haceju za pomoč in vodenje pri opravljanju magistrskega dela. Zahvaljujem se tudi somentorju izr. prof. dr. Karlu Gotlihu, lektorju Aljošu Harlamovu ter lektorju angleškega povzetka Georgu Yoemanu.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi omogočili študij.

# KAZALO

<b>1</b>	<b><u>UVOD</u></b> .....	<b>1</b>
1.1	<u>OPIS SPLOŠNEGA PODROČJA MAGISTRSKEGA DELA</u> .....	1
1.2	<u>NAMEN MAGISTRSKEGA DELA</u> .....	2
<b>2</b>	<b><u>PREGLED STANJA OBRAVNAVANE PROBLEMATIKE</u></b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b><u>STROJ ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI</u></b> .....	<b>4</b>
3.1	<u>ORODJE</u> .....	4
3.1.1	<u>Novo orodje</u> .....	5
3.1.2	<u>Testiranje novega orodja</u> .....	7
3.1.3	<u>Izbira orodja</u> .....	10
3.1.4	<u>Testiranje obstoječega orodja</u> .....	12
3.2	<u>IZVEDBE STROJA ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI</u> .....	15
3.3	<u>MODEL STROJA ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI</u> .....	15
3.4	<u>KOMPONENTE STROJA ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI</u> .....	17
3.4.1	<u>Mehanske komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi</u> .....	18
3.4.2	<u>Električne komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi</u> .....	24
3.5	<u>PROGRAMSKI DEL STROJA ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKI CEVI</u> .....	38
3.5.1	<u>Uporabniški vmesnik STEP 7 micro/WIN 32</u> .....	39
3.5.2	<u>Testiranje programa</u> .....	40
3.5.3	<u>Tehnološka shema stroja za razširjanje in robljenje tankostenskih cevi</u> .....	41
3.5.4	<u>Besedni opis tehnoloških zahtev</u> .....	42
3.5.5	<u>Prireditvena tabela</u> .....	42
<b>4</b>	<b><u>REZULTATI</u></b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b><u>SKLEP</u></b> .....	<b>44</b>
<b>6</b>	<b><u>SEZNAM UPORABLJENIH VIROV</u></b> .....	<b>NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.</b>
<b>7</b>	<b><u>PRILOGE</u></b> .....	<b>NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.</b>

## **STROJ ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI**

**Ključne besede:** razširjanje, tankostenske cevi, modeliranje, posebni postopki obdelave, pločevine, orodje za razširjanje, mehatronski sistemi

**UDK klasifikacija:** 681.52:621.774.7(043.2)

### **POVZETEK**

*Namen je bil izdelati stroj za razširjanje tankostenskih cevi na enem koncu po upogibanju. Te cevi so poljubnih dolžin od 1,5 metra do največ 6 metrov. Premeri cevi znašajo 80 mm, 100 mm in 125 mm. Cevi se izdelujejo iz pločevine. Časovni obseg razširjanja ene cevi se spreminja sorazmerno z dolžino cevi. Pri montaži oziroma spajanju cevi, je potrebno na enem koncu cev razširiti, tako da je možna montaža brez orodja. Testirali smo sile med obdelovalnim postopkom razširjanja in izbrali pravo orodje. S programskim orodjem Solidworks smo izdelali model stroja za razširjanje tankostenskih cevi, za katerega smo zapisali tudi program v uporabniškem vmesniku STEP 7 micro/WIN in ga testirali ter predstavili rezultate. Izbrali smo tudi najprimernejše komponente stroja ter jih podrobneje opisali.*

## **MACHINE FOR THE EXTENSION OF THIN-WALLED TUBES**

**Key words:** extension, thin-walled tubes, modeling, special processing of steel, steel, tool for extension, mechatronic systems

### **ABSTRACT**

*The purpose was to form a machine for extending thin-walled tubes at one end, after bending. These tubes are of optional lengths from 1.5 to a maximum of 6 metres. The diameters are 80, 100, and 152 milimetres in length. The tubes are made of sheet metal. The time dimension when extending each tube changes in proportion to the tube's length. When fitting or joining the tubes, it is necessary to extend the tube at one end, so that it is possible to set it up without any tools. We tested the forces between the handling procedures when extending, and thus chose the correct tool. Using the programming tool, "Solidworks" we manufactured a model of the machine for the extensions of thin-walled tubes, for which we wrote a program within the user interface STEP 7 micro/WIN, tested it, and presented the results. We then chose the more appropriate components of the machine, and fully described them.*

## UPORABLJENI SIMBOLI

$F$	-	sila
$F_{voz}$	-	sila vozička
$F_{sir}$	-	potrebna sila za širjenje cevi
$r_z$	-	polmer zobnika
$M_{zob}$	-	moment na zobniku
$M_{zob\_dop}$	-	dopustni moment na zobniku
$s$	-	maksimalen hod orodja
$t$	-	zahtevan čas obdelovanja
$v_{lin}$	-	linearna hitrost obdelovanja
$v_{ob}$	-	obodna hitrost zobnika na izstopni gredi gonila
$n_{2\_gon}$	-	potrebna vrtilna frekvenca izstopne gredi gonila
$t_{all}$	-	skupni čas pomikanja
$a_{acc}$	-	pospešek v tretjini pospeševanja
$a_{dec}$	-	pospešek v tretjini pojemanja
$t_{acc}$	-	čas v tretjini pospeševanja
$t_{dec}$	-	čas v tretjini pojemanja
$t_{con}$	-	čas v tretjini konstantne hitrosti
$n$	-	imenski vrtljaji gonila
$\omega$	-	kotna hitrost
$v_{max}$	-	maksimalna hitrost
$F_{acc}$	-	sila potrebna za pospeševanje vozička
$F_{dec}$	-	sila potrebna za zaustavljanje vozička
$m_{voz}$	-	masa vozička
$Mt_2$	-	vrtilni moment na zobniku

## UPORABLJENE KRATICE

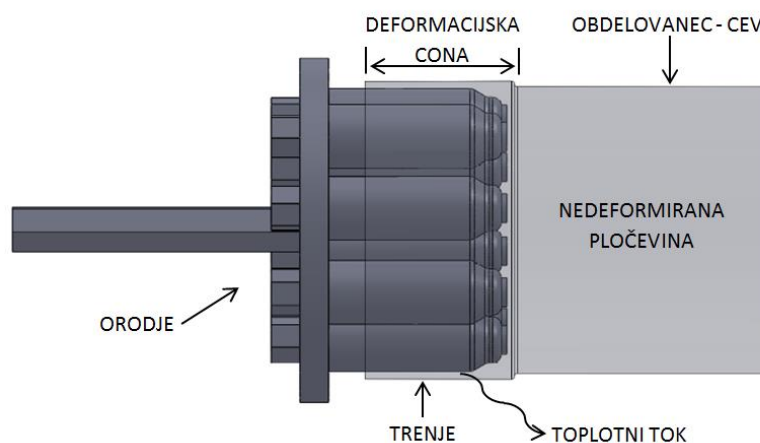
HMI -	Human Machine Interface (vmesnik človek – stroj)
GMP -	Motorno Polžasto Gonilo
CPU -	Central Process Unit (centralna procesna enota)
STL -	Statement List (nabor instrukcij)
LAD -	Ladder diagram (lestvični diagram)
FBD -	Function Block Diagram (funkcijski blokovni diagram)
IEC -	International Electrotechnical Commission
MB -	Megabyte
PC -	Personal Computer (osebni računalnik)
VGA -	Video Graphics Array
LED -	Light-Emitting Diode



# 1 UVOD

## 1.1 Opis splošnega področja magistrskega dela

Postopek razširjanja tankostenskih cevi spada med postopke sekundarnega plastičnega preoblikovanja, kar pomeni, da gre za postopek preoblikovanja pločevine, pri katerem dobi material končno obliko. Pri postopku preoblikovanja ni pomembna samo sprememba oblike obdelovanca, ampak tudi primerna izbira načrtovanega procesa, s katerim dosežemo ustrezne mehanske lastnosti. Med procesom preoblikovanja je potrebno natančno nadzirati deformacijo, hitrost deformacije in temperaturo, da dosežemo optimalne lastnosti ter ustrezno mikrostrukturo.



**Slika 1.1:** Shema deformacijskega procesa

Shema deformacijskega procesa prikazuje proces preoblikovanja tankostenskih cevi. V deformacijski coni se material obdelovanca preoblikuje. Med procesom prihaja do utrjevanja, lahko tudi do dinamičnega procesa mehčanja ter lokalno do porušitve, ki se ji želimo izogniti. Obdelovanec, v tem primeru cev, je v stiku z elastično deformiranim orodjem. Na stiku orodja z obdelovancem se pojavlja trenje, skozi vmesno površino pa poteka tudi prenos toplote – toplotnega toka.

## **1.2 Namen magistrskega dela**

Namen magistrskega dela je izdelati stroj za razširjanje tankostenskih cevi po postopku upogibanja. Te cevi so poljubnih dolžin, od 1,5 metra do največ 6 metrov. Premeri cevi znašajo 80 mm, 100 mm in 125 mm. Cevi se izdelujejo iz pločevine. Časovni obseg razširjanja ene cevi se spreminja sorazmerno z dolžino cevi. Pri montaži oziroma spajanju cevi je potrebno na enem koncu cev razširiti, tako da je možna montaža brez uporabe orodja. Zato je potrebno izvesti širjenje, po katerem je notranji premer razširjenega dela cevi nekoliko večji od zunanjskega premera cevi.

## 2 PREGLED STANJA OBRAVNAVANE PROBLEMATIKE

Obravnava problematiko lahko delimo na dva dela: - Obdelava s pnevmatskim razširjanjem orodja; - Obdelava z vrtnjem orodja v obdelovanec.

Prvi način obdelave tankostenskih cevi je zelo razvit, saj je mogoče o tem postopku zaslediti veliko gradiva, predvsem na spletu lahko najdemo posnetke ter podatkovne baze o samem postopku obdelave. Vendar je pri tem potrebno poudariti dejstvo, da pri obdelavi s pnevmatskim razširjanjem orodja obdelujemo varjene cevi, kar pa v našem primeru predstavlja problem, saj je potrebno razširiti šivane cevi. Pnevmsko razširjanje šivanih cevi iz pločevine torej predstavlja eksotično temo obdelovanja.

Drugi način obdelave tankostenskih cevi predstavlja vrtnje v obdelovanec, ki ga posledično razširimo. Razvoj tega področja je mogoče opaziti v nemško govorečih državah, saj je večina literature o tem v nemškem jeziku. Orodja za razširjanje je mogoče kupiti pri podjetjih MASC gmbh in Classic gutter systems, mogoč pa je tudi nakup preko spletnega prodajnega mesta Ebay, kjer prevladuje predvsem domača izdelava orodja.



**Slika 2.1:** Obstoječe orodje podjetja MASC gmbh

### 3 STROJ ZA RAZŠIRJANJE TANKOSTENSKIH CEVI

Najprej smo morali ustvariti idejno zasnovo stroja in obdelovalnega postopka. Pri tem smo upoštevali, da se nagibamo k hitrejšim postopkom obdelave. Pomembno lastnost stroja predstavlja tudi hitra menjava orodja v primeru menjave obdelovanca oziroma v tem primeru premera cevi. Prostor, kamor cev najprej nastavimo, mora zadoščati dolžinam cevi do 6 metrov. Potrebno je bilo tudi razmisliti, ali bo postopek opravil stroj sam ali mu bo pri tem pomagal delavec. Poskrbljeno mora biti tudi za varnost, torej izklop stroja v nevarni situaciji.

- Problematika: - oblika orodja (določitev geometrije orodja),
- menjava orodja pri različnih premerih,
  - način obdelave cevi (vstavljanje cevi v stroj (samostojno ali delavec)),
  - časovna omejitev obdelave cevi,
  - upravljanje stroja,
  - možnost spreminjanja nastavitev stroja,
  - postavitve stroja v delovno okolje,
  - izbira pogona (elektromotor, pnevmatika itd.),
  - širina razširjenega dela (določitev geometrije),
  - opis preoblikovalnega postopka,
  - idejna zasnova postopka,
  - izvedba krmilja oz. električnega dela stroja,
  - videz stroja (sodoben, moderen),
  - izdelava stroja ter preizkušanje,
  - povezava s strojem za robljenje cevi,
  - pregled stanja obstoječih strojev,
  - komunikacija stroj – delavec.

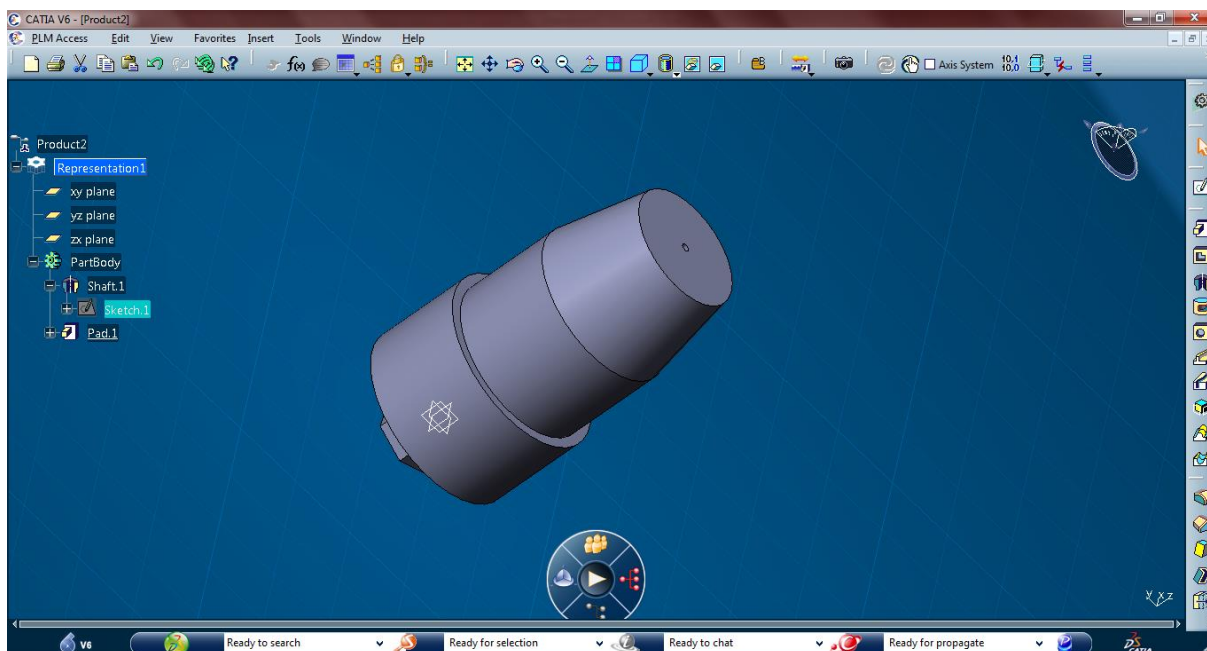
#### 3.1 Orodje

Na izbiro imamo: uporabiti obstoječe orodje ali izdelati novo orodje. Pri novem orodju lahko uporabimo dva načina: - razširjanje z uporabo orodja, ki ima obliko valja, ki se nato razširi; - razširjanje z uporabo orodja, podobnega obstoječemu, vendar ga lahko uporabimo za vse tri različne velikosti (80, 100 in 125mm). Izvedba z novim orodjem zahteva modeliranje, izdelavo in testiranje orodja. Pri obstoječem orodju pa je potrebno izmeriti sile med postopkom obdelave, da lahko v primeru izbire tega orodja izberemo tudi dovolj močan pogon.

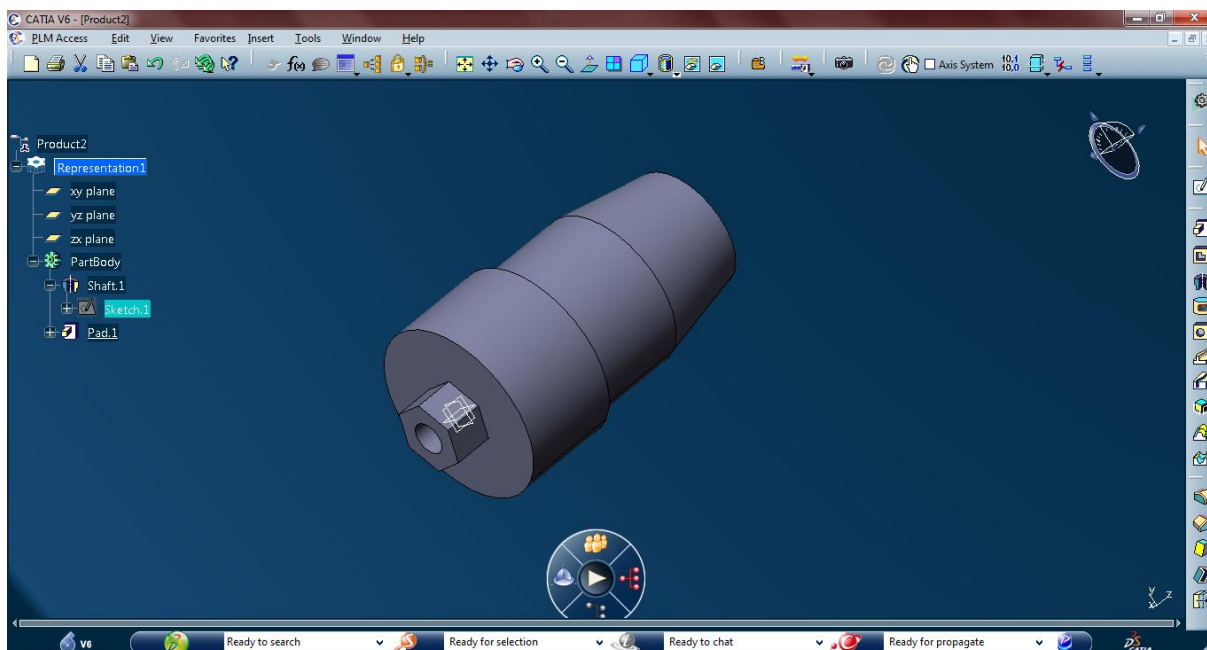
### 3.1.1 Novo orodje

Najprej smo pregledali konkurenčne izvedbe orodja. Opazili smo, da se orodja glede na način obdelave tankostenskih cevi razlikujejo. Naš namen je bil izdelati orodje, ki bi služilo razširjanju tankostenskih cevi. Želja je bila, da bi lahko na enem kosu orodja razširjali cevi premera 80, 100 in 120 mm. Najlažjo izvedbo orodja je tako predstavljalo orodje stožčaste oblike, razrezano na več delov, ki jih najprej vstavimo v naš obdelovanec (cevi), nato pa v sredino orodja navijemo vijak. Orodje ima v sredini obliko konusa, zato se začne z navijanjem vijaka orodje širiti. S tem posledično povzročimo tudi širjenje obdelovanca.

Najprej smo se lotili izdelave orodja v programskem paketu Catia. Izdelali smo nekaj vzorcev orodja, nato pa izbrali končno obliko.

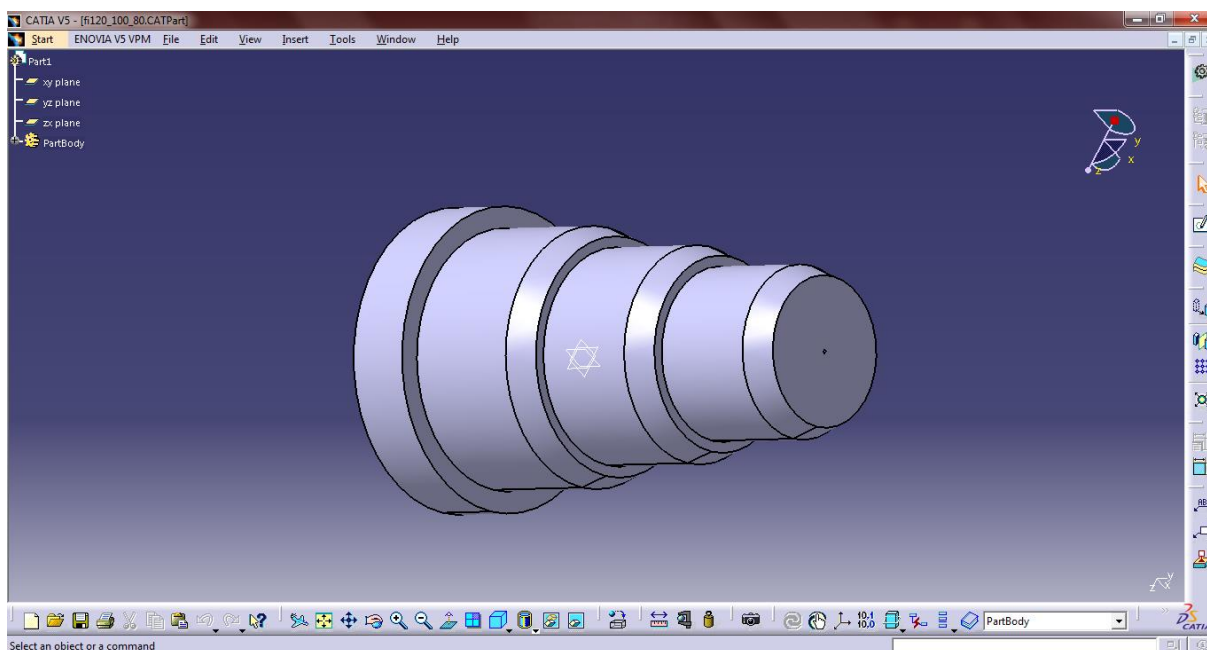


**Slika 3.1:** Oblika orodja v programu Catia

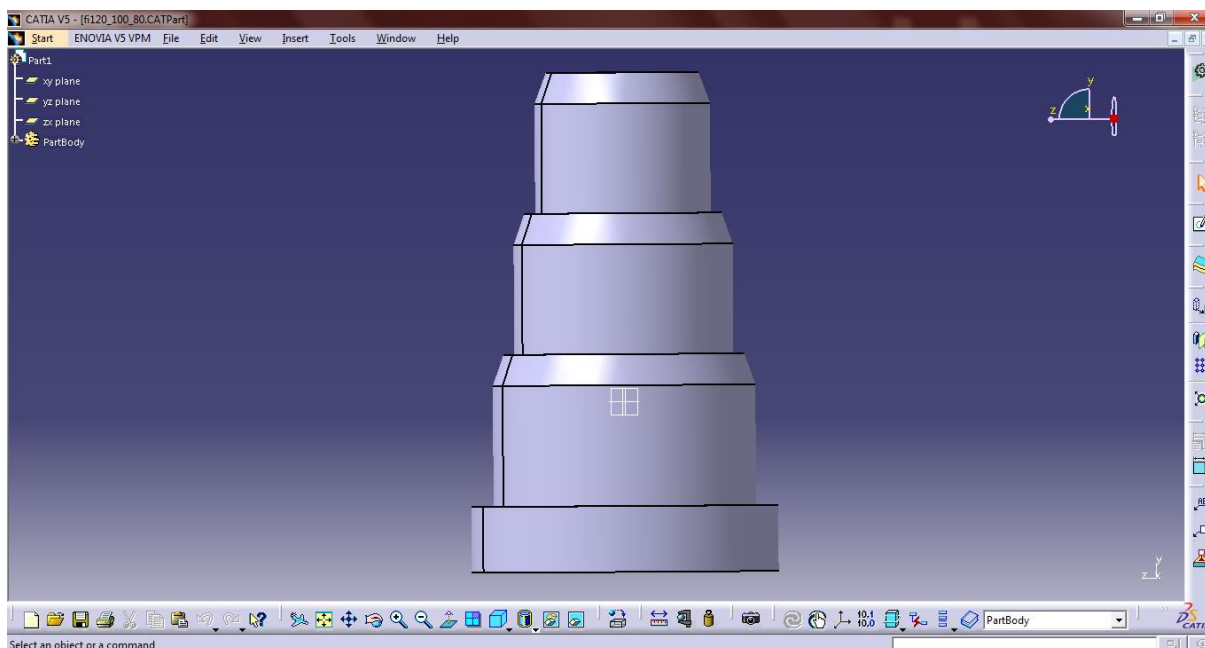


Slika 3.2: Oblika orodja z druge strani

Naša končna oblika orodja je predstavljena na spodnji sliki. Opazimo lahko stožčasto obliko in širine, namenjene obdelavi cevi premerov 80, 100 in 120 mm. V prilogi se nahaja tudi tehniška skica orodja.



Slika 3.3: Končna oblika orodja



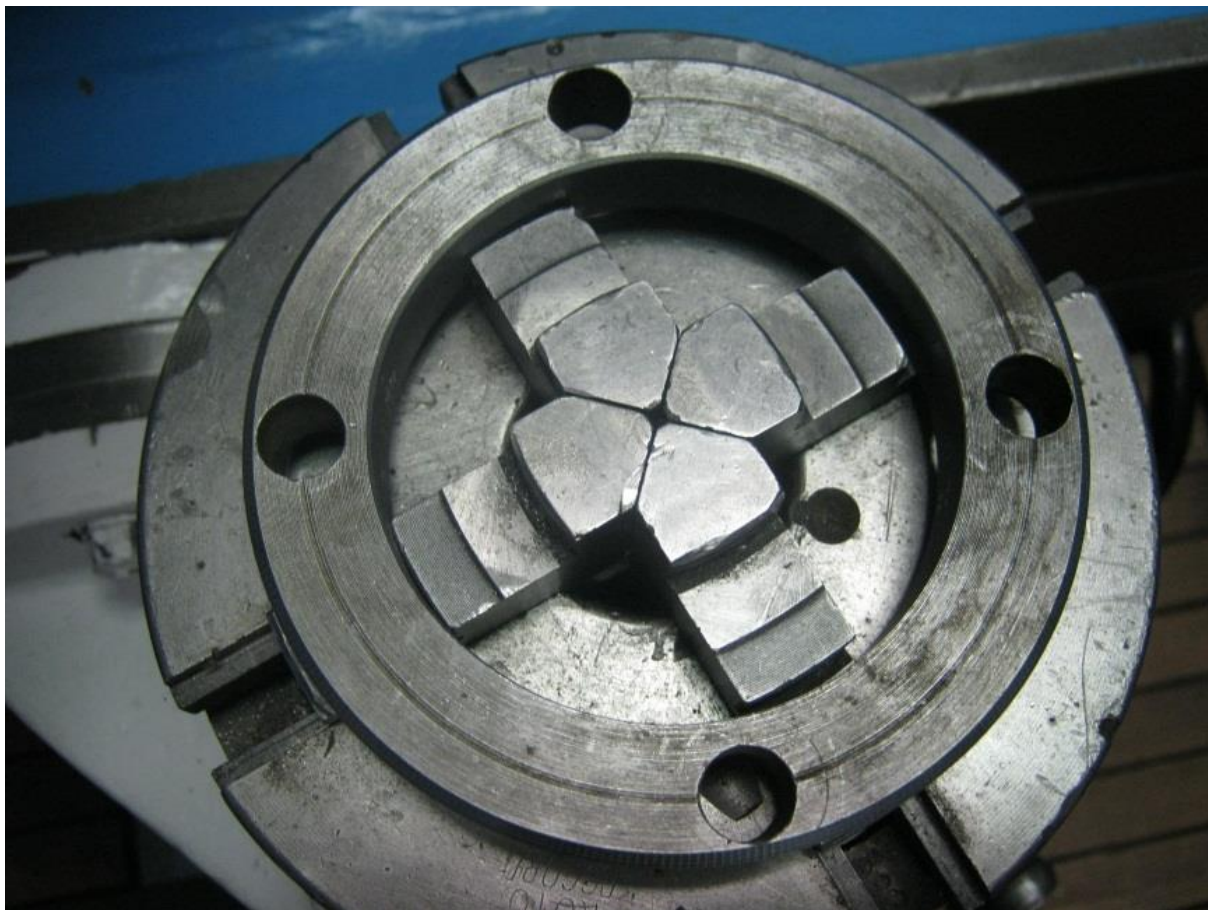
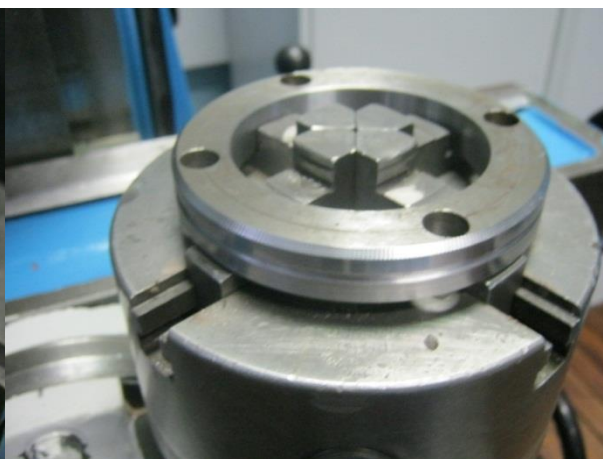
**Slika 3.4:** Končna oblika orodja z druge strani

Po izdelavi modela orodja v programskem orodju Catia smo ga želeli izdelati. Tu smo lahko improvizirali in z orodjem precej enostavnejše oblike prišli do spoznanja, da razširjanje tankostenskih cevi s tem orodjem ne bo mogoče. Razlog za to je šiv na cevi, ki ne zdrži obremenitve. Preizkus razširjanja tankostenskih cevi je prikazan spodaj.

### 3.1.2 Testiranje novega orodja

Na sliki 3.5 lahko opazite vpeto orodje, ki smo ga kasneje razrezali na štiri dele. Premer orodja znaša nekaj manj kot 120 mm, tako da ga lahko vstavimo v cev z notranjim premerom 120 mm. Širina obdelovalne površine znaša 15 mm, kar je dovolj, da smo lahko opazili, ali se začne cev raztezati ali pa jo začne odpirati pri spoju.



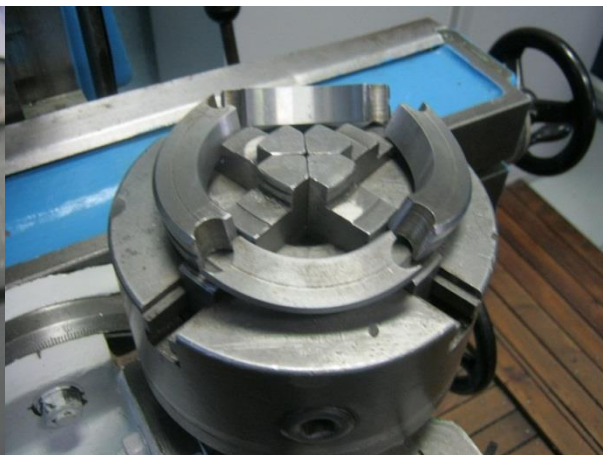
**Slika 3.5:** Vpeto orodje**Slika 3.6:** Orodje**Slika 3.7:** Orodje, vpeto na stroju za razširjanje

Med obdelovalnim postopkom razširjanja tankostenskih cevi smo ugotovili, da se začne cev na spoju odpirati, saj ta spoj predstavlja najšibkejši del cevi. Le-ta se začne odpirati že pri razširitvi na 123 mm, kar ne zadošča našim kriterijem. Pokazalo se je, da takšno orodje ne bo primerno za naš način obdelave tankostenskih cevi.





**Slika 3.8:** Cev pred obdelavo ( $\phi$  120 mm)



**Slika 3.9:** Orodje, razrezano na štiri dele



**Slika 3.10:** a) Začetni znaki odpiranja spoja b) Odprt spoj



**Slika 3.11:** Prikaz odprtega spoja po obdelavi

S preizkusom smo torej prišli do ugotovitve, da bi bilo najbolje obdržati obstoječe orodje, ga mogoče modificirati z uporabo industrijskega pogona ter na ta način izdelati uporabno orodje, ki bi bilo ustrezno tako s strani časa obdelave kot tudi stroškovno.

### 3.1.3 Izbira orodja

Način, s katerim razširjamo valj, smo tako že testirali in se je izkazal za neuporabnega, zato nam ostaneta samo še dve opciji; - uporabimo obstoječe orodje; - izdelamo novo orodje, ki deluje na istem principu kot že obstoječe orodje. Na ta problem lahko gledamo z več vidikov: - razvoj novega orodja bi lahko pomenil, da bo orodje boljše, da ga ne bo potrebno menjati z menjavo razširitve, vendar je za razvoj novega orodja potrebno tudi testiranje, s čimer lahko pride do velike časovne ter stroškovne obremenitve; - uporaba že obstoječega orodja pomeni, da je potrebno pri menjavi razširitve menjati tudi orodje, vendar je le-to že preizkušeno in ima poznano delovanje.

Po temeljitem premisleku smo se raje odločili za že obstoječe orodje, saj s tem pridobimo tako na času kot tudi na funkcionalnosti orodja (za orodje že vemo, da deluje). Tako smo

lahko več časa posvetili izdelavi stroja, ki prav tako kot orodje predstavlja temeljni del izdelave.

Torej, izbrali smo obstoječe orodje. Pri tem se je potrebno odločiti za proizvajalca orodja ter obliko orodja, saj se le-ta od proizvajalca do proizvajalca razlikuje. Vendar pa lahko ob pravilni zasnovi stroja to tudi zanemarimo, saj različni proizvajalci za razširitev na določeno velikost uporabljajo enako velikost orodja. To pomeni, da lahko v primeru razširitve tankostenske cevi premera 80 mm uporabimo orodje različnih proizvajalcev, saj orodja vseh proizvajalcev razširijo cev za približno 2–4 mm, kar je ravno dovolj, da lahko vanjo vstavimo drugo cev.

Preverili smo tudi trg in ugotovili, da se cene razlikujejo od proizvajalca do proizvajalca.

**Preglednica 3.1:** Proizvajalci in cene orodja

PROIZVAJALEC TER PREMER ORODJA		CENA ORODJA
Classic gutter systems	76,2 mm	298,74 €
MASC gmbh	76 mm	412 €
SDS Aufweitconer DN76	76 mm	59,79 €

Po pregledu trga smo se odločili, da bomo izbrali orodje proizvajalca MASC gmbh, saj ga v podjetju že imajo. S tem smo rešili problem izbire orodja.



**Slika 3.12:** Obstoječe orodje



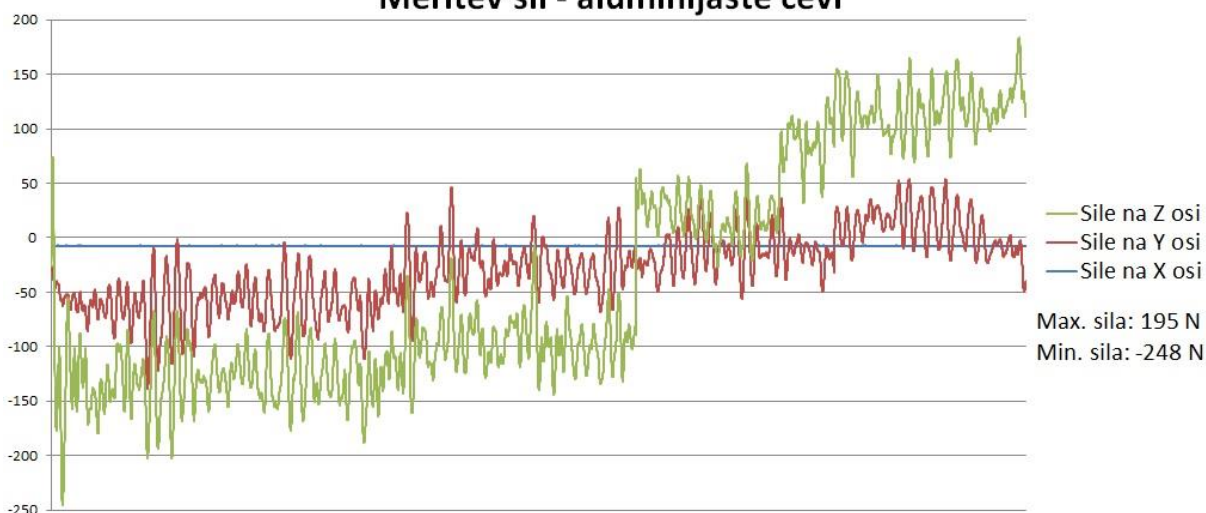
**Slika 3.13:** Orodja različnih dimenzij

### 3.1.4 Testiranje obstoječega orodja

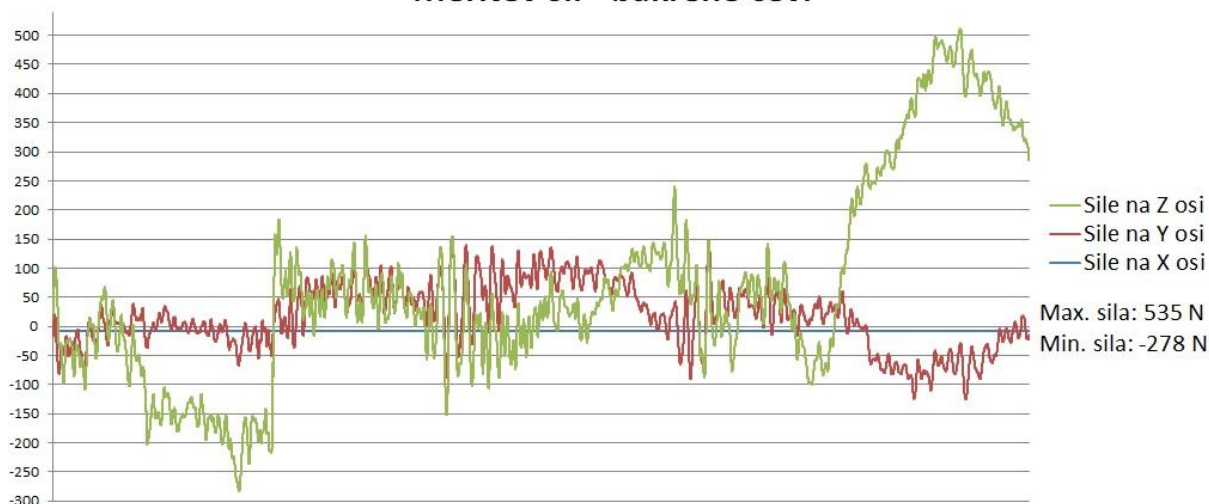
Po opravljenem testiranju novega orodja, ki se ni izkazalo za uspešno, smo se odločili uporabiti obstoječe orodje. Tega smo nato testirali in pri tem izmerili sile, ki se pojavijo med samo obdelavo. Pozneje smo to lahko upoštevali pri izbiri pogona.

Najprej je bilo potrebno na mizo vrtnega stroja namestiti merilnik sil Kistler 9255. Merilnik smo vpeli, nato pa nanj namestili še cev, ki je bila vpeta s pomočjo objemke. Na vrtni stroj smo dali obstoječe orodje za razširjanje in nastavili število vrtljajev na 317 vrt/min. Potrebno je bilo tudi precizno pozicioniranje vrtna glave, saj smo morali med postopkom natančno vstaviti orodje v cev, ki se je nato razširila. Na spodnjih grafih so prikazane sile med razširjanjem cevi različnih materialov v globino 50 mm.

**Graf 3.1: Meritev sil na aluminijasti cevi**  
**Meritev sil - aluminijaste cevi**

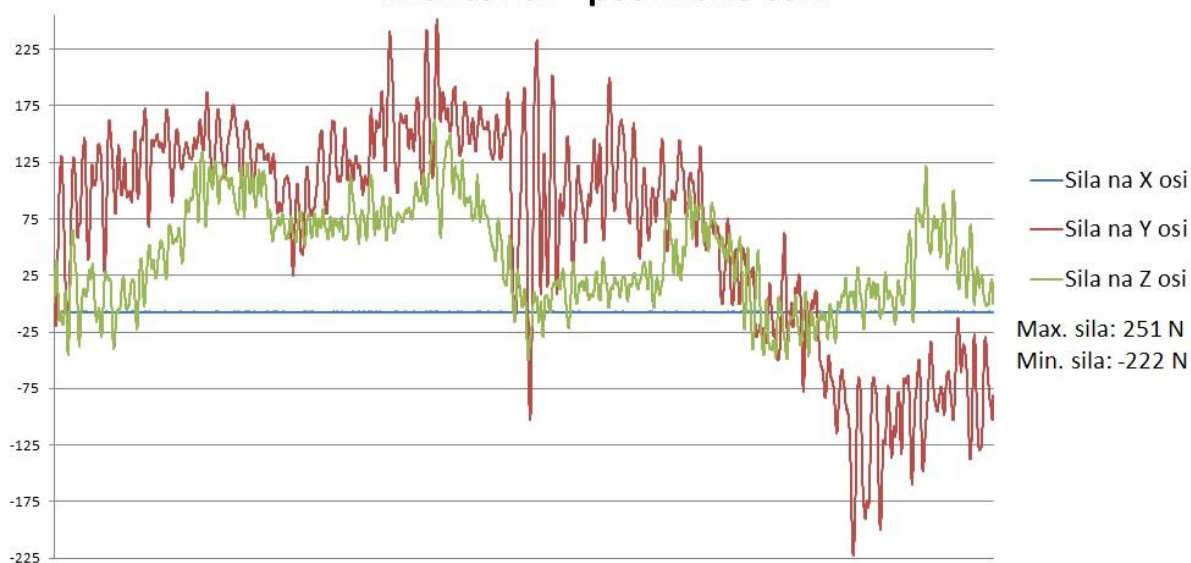


**Graf 3.2: Meritev sil na bakreni cevi**  
**Meritev sil - bakrene cevi**





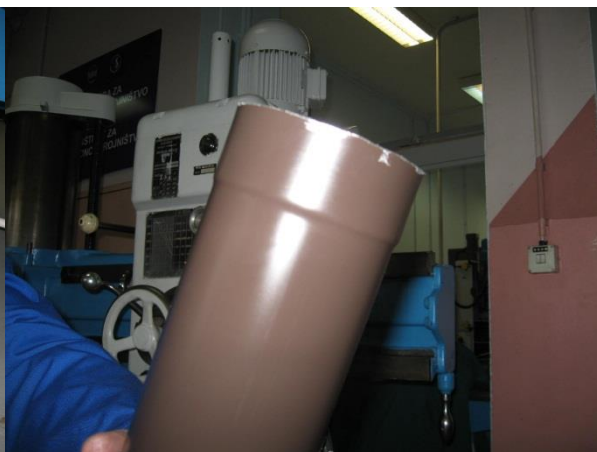
**Graf 3.3: Meritev sil na pocinkani cevi**  
**Meritev sil - pocinkane cevi**



Iz grafov lahko razberemo, da so sile na X osi zanemarljive, medtem ko so sile na Y osi večje zaradi opletanja cevi – slabšega prijemala ter zaradi smeri vrtenja orodja. Sile po Z osi se pojavijo v smeri obdelave cevi. Na grafu 2 lahko opazimo znatno povečanje sile na Z osi, kar je posledica preglobokega potiska orodja v cev. V bistvu smo z robom orodja pravokotno pritiskali na cev, ta pa se je začela upogibati, kar je razvidno iz slike 3.16.



**Slika 3.14: Orodje za razširjanje cevi**



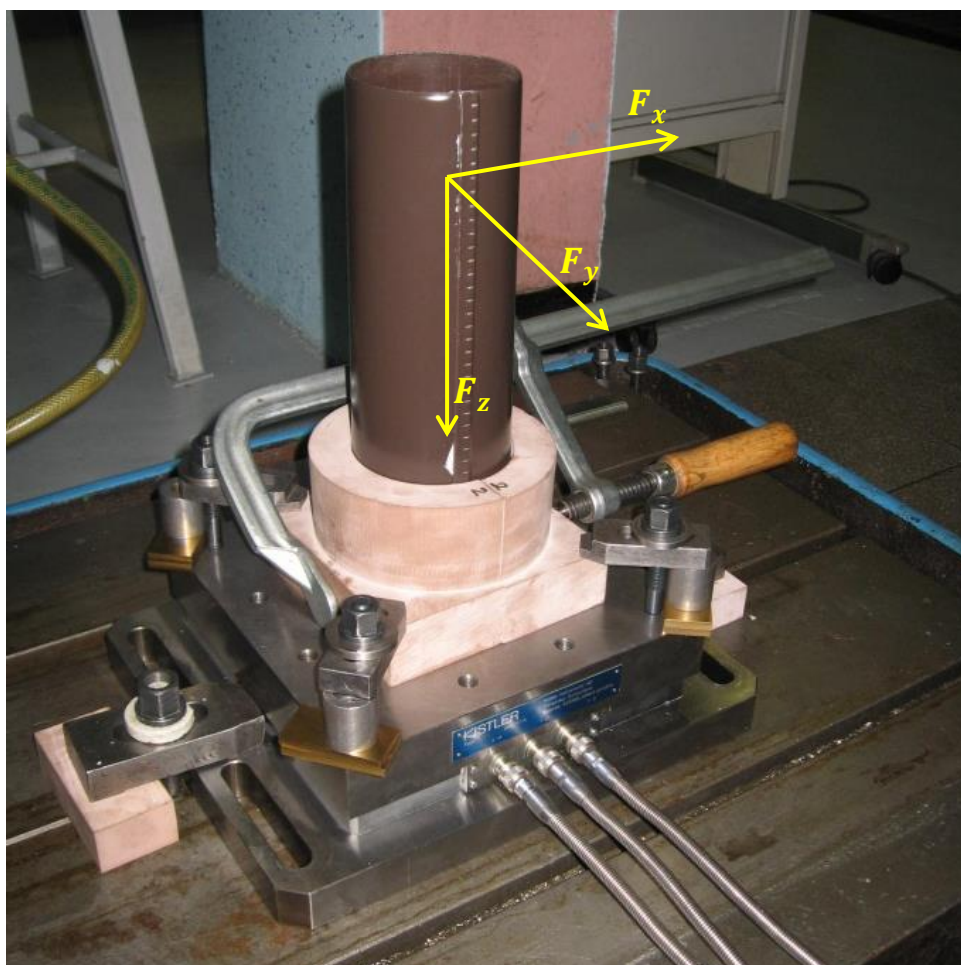
**Slika 3.15: Cev po razširjanju**



Slika 3.16: Rezultat preglobokega potiska orodja v cev



Slika 3.17: Vrtalni stroj



Slika 3.18: Vpeta cev z merilnikom in prikazom smeri sil

### 3.2 Izvedbe stroja za razširjanje tankostenskih cevi

Pri izbiri izvedbe stroja smo imeli veliko možnosti. Prva opcija je bila izvedba s tremi pogoni; - vrtni motor, - motor za pomik orodja (delovni hod); - motor za pomik stroja po letvi. Pri tej izvedbi bi vsak motor opravljal svoj del, medtem ko bi morala biti motorja za delovni hod in pomik stroja natančna. Zato smo prišli do ideje, da bi oboje izvedli z uporabo enega motorja, ki bi premikal prijemalo cevi, s premikanjem le-tega med obdelavo pa bi opravljal tudi funkcijo delovnega hoda. Ta izvedba bi bila cenejša, vendar bi moral motor opravljati dvojno delo. To pomeni, da bi potrebovali motor, ki bi se med obdelavo pomikal počasneje kot pri pomiku zaradi spremembe dolžine cevi. K temu bi bilo potrebno izdelati tudi primerno zobato letev, saj bi se moral stroj pomikati po več manjših pomikih zaradi natančnejšega pozicioniranja.



Slika 3.19: Zobata letev z vodilom

### 3.3 Model stroja za razširjanje tankostenskih cevi

Pri modeliranju stroja za razširjanje tankostenskih cevi smo upoštevali idejo, da bi oba postopka obdelave, tako razširjanje kot tudi robljenje tankostenskih cevi, potekala na skupnem vodilu. Seveda pa je bilo najpomembnejše to, da ta dva postopka pravilno umestimo v obstoječe okolje. Zato smo najprej preverili stanje v podjetju, kjer izdelujejo tankostenske cevi, šele potem pa pričeli z modeliranjem stroja za razširjanje cevi.





**Slika 3.20:** Stroj za izdelavo tankostenskih cevi

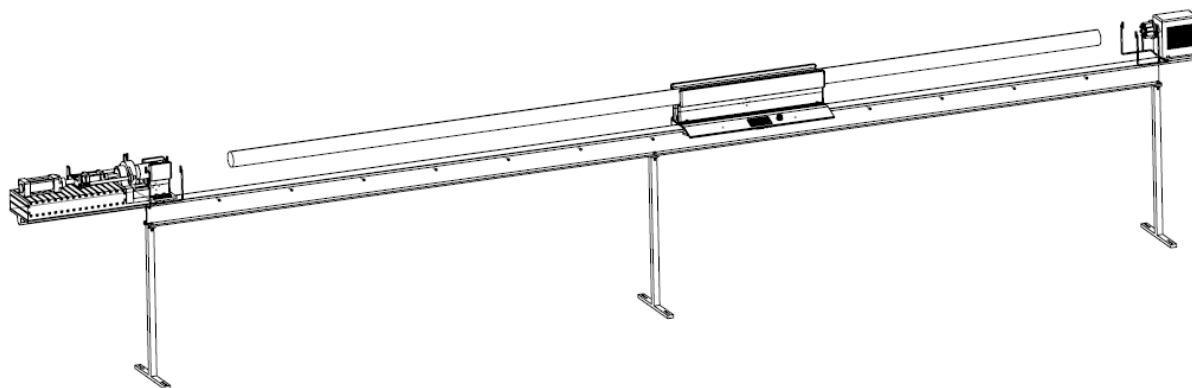


**Slika 3.21:** Prostor za umestitev stroja v delovno okolje

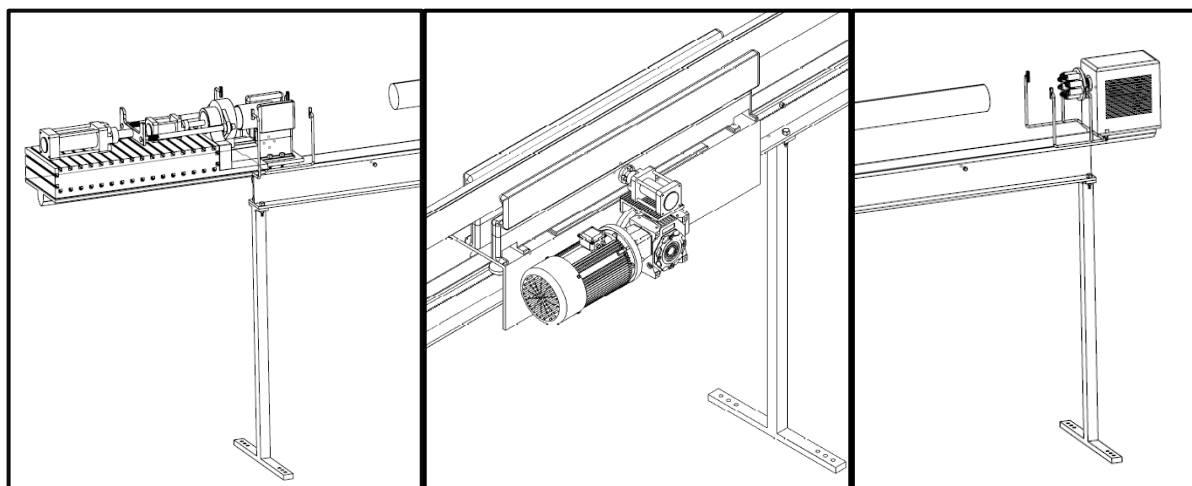
Najprej smo razmišljali o stroju, ki ima na sredini prijemalo, orodji za razširjanje in robljenje tankostenskih cevi pa se pomikata proti prijemalu. Tu se pojavi težava, saj se izdelana cev po postopku upogibanja zmeraj ustavi na istem mestu, kar pomeni, da bi se moral celotni stroj pomikati. Zato smo začeli razmišljati o ideji, da se pomikata stroj za razširjanje tankostenskih cevi ter prijemalo cevi, pri čemer opravi motor na orodju za razširjanje tankostenskih cevi le delovni hod. Šli smo še korak dlje ter sklenili, da je najbolje, da se pomika samo prijemalo cevi, ki se do orodja za razširjanje in robljenje tankostenskih cevi pomika po vodilu. Pomembno je tudi, kako oziroma na kakšen način in kako hitro lahko zamenjamo oziroma prilagodimo orodje in prijemalo za izdelavo tankostenskih cevi različnih premerov. Zato smo



izdelali prijemalo, ki je sestavljeno iz štirih delov. Zgornji del prijemala se v primeru menjave premera cevi zamenja, medtem ko spodnji del prijemala ostane na stroju. Pri menjavi orodja ni nekih posebnosti, saj ga lahko zamenjamo kot pri vsakem sodobnem vrtalniku.



**Slika 3.22:** Končni model stroja s pomičnim prijemalom



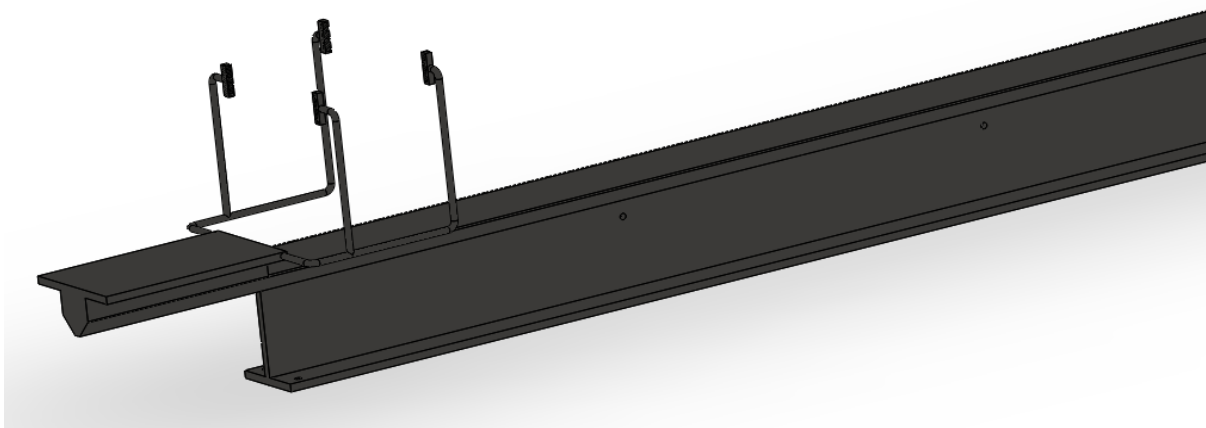
**Slika 3.23:** Orodje za robljenje cevi, prijemalo in orodje za razširjanje cevi

### 3.4 Komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi

Stroj za razširjanje tankostenskih cevi je sestavljen tako iz električnih kot iz mehanskih delov. Pri izbiri oziroma modeliranju mehanskih delov smo si lahko pomagali z že obstoječimi primeri npr. vodil, orodja, prijemal ter jih oblikovali našemu obdelovalnemu postopku primerno. Podobno smo naredili tudi pri izbiri električnih delov, npr. stikal, motorjev, senzorjev, cilindrov, le da tu nismo sami prirejali oblike komponent. Torej, pri izbiri električnih elementov smo se poskušali čim bolj približati dejanskemu videzu, medtem ko smo lahko pri mehanskih komponentah sami izbirali obliko.

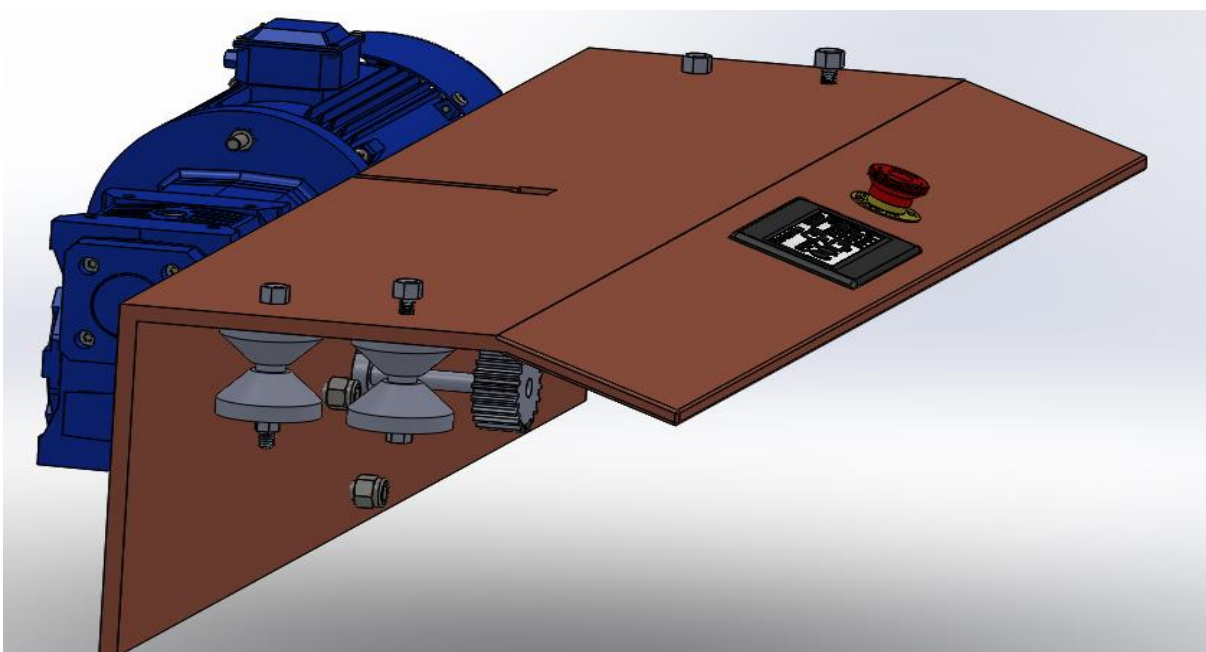
### 3.4.1 Mehanske komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi

Nekatere mehanske komponente smo lahko povsem prosto izbirali, medtem ko smo pri drugih morali izbirati določena razmerja ter velikosti oziroma dimenzije. Natančna geometrija mehanskih komponent je v prilogi.



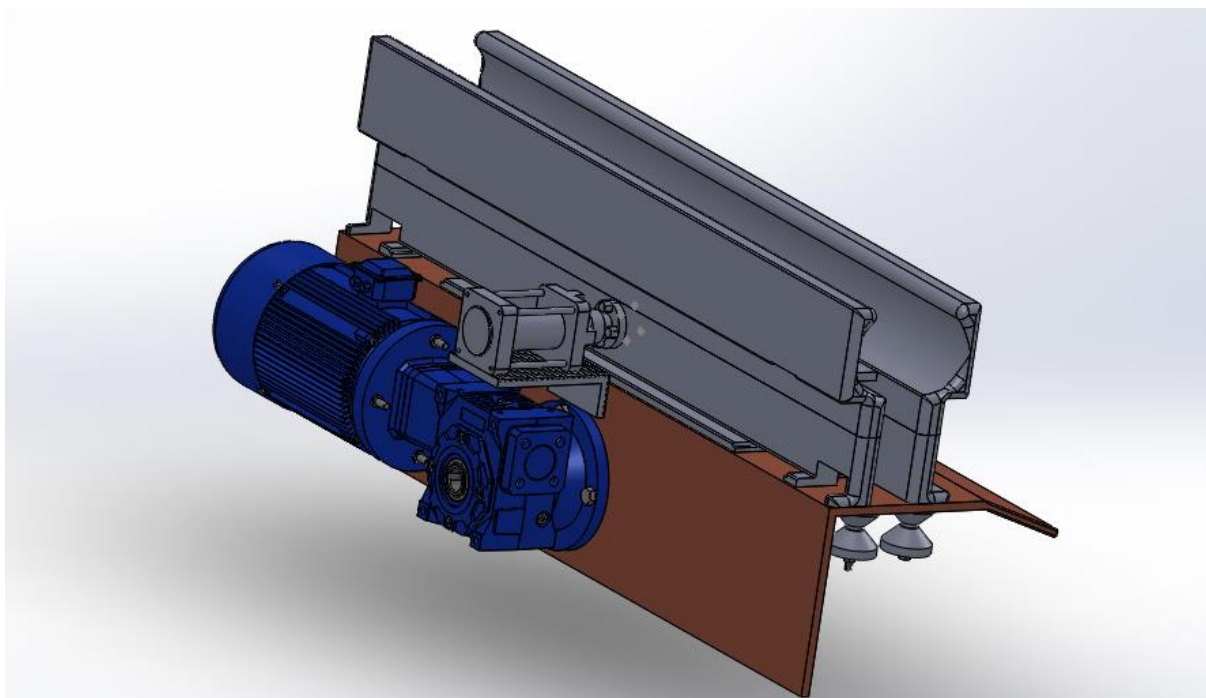
**Slika 3.24:** Nosilec z vodilom

Pri nosilcu smo upoštevali obliko vodila, ki je primerna za pomikanje vozička s prijemalom cevi. Podobno vodilo smo lahko opazili na sliki 3.19. Nosilec ima na obeh straneh tudi prostor, kamor smo namestili stroj za razširjanje in robljenje cevi. Dodatno smo nanj pritrdili cevi ter prostor za senzorje, saj je najbolje, če je senzorski del čim bolj statičen glede na nosilec. Pod nosilec smo pritrdili tudi kovinske noge v obliki T-profil za večjo stabilnost ter primerno višino stroja.



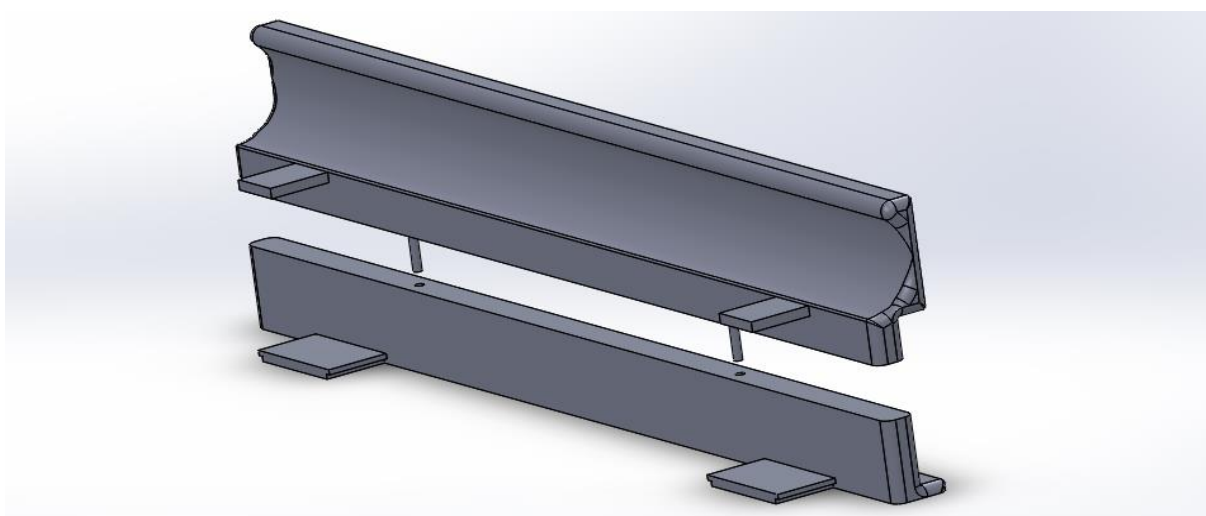
**Slika 3.25:** Voziček z motorjem

Slika 3.25 prikazuje voziček, na katerega je z vijaki pritrjen motor. Vidni so valjčki, ki služijo za pomikanje po vodilu na nosilcu. Na vozičku se nahaja tudi HMI enota, preko katere uporabnik dostopa do funkcij stroja, ter zasilna tipka. Opazimo lahko še zobnik, ki ga namestimo na zobato letev. Na vozičku imamo tudi prijemalo tankostenskih cevi s cilindrom, ki je podrobneje prikazano na sliki 3.26.



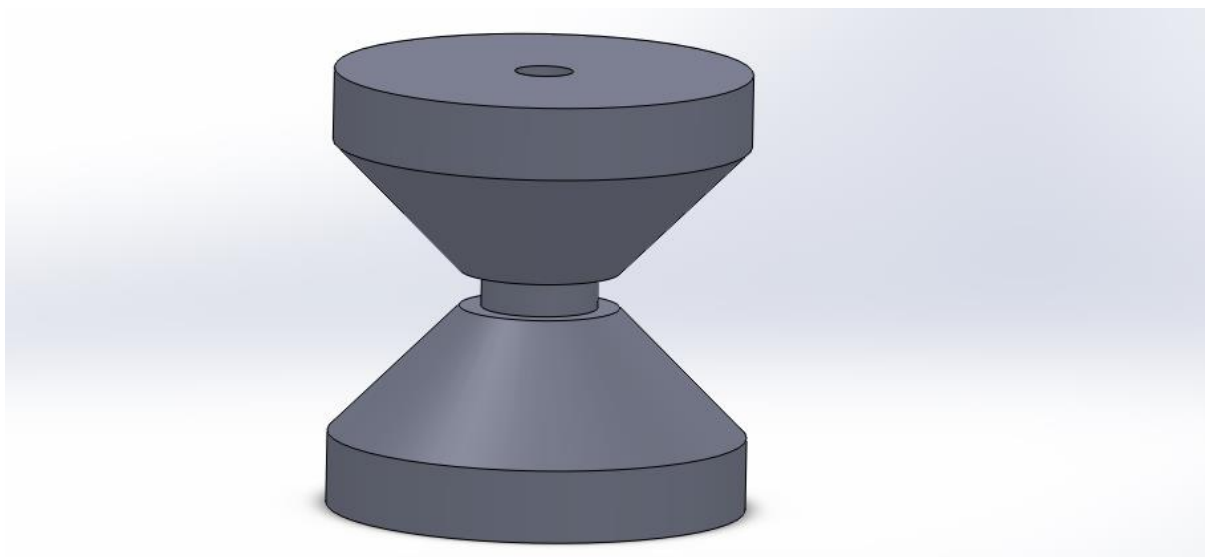
**Slika 3.26:** Voziček s prijemalom tankostenskih cevi

Prijemalo je sestavljeno iz štirih delov. Zgornji del prijemala je v primeru menjave premera cevi mogoče odstraniti oziroma zamenjati, medtem ko sta spodnja dela pritrjena na voziček in ju ne menjamo. Prijemalo je z notranje strani prevlečeno z gumo za boljši oprijem cevi. Na prijemalo je pritrjen tudi cilinder, s katerim ga odpiramo in zapiramo.



**Slika 3.27:** Prijemalo tankostenskih cevi

Na vozičku smo opazili tudi valjčke, s katerimi se pomikamo po vodilu. Pri tem smo morali natančno določiti tako geometrijo valjčka kot tudi širino med valjčki, da se le-ti prilegajo vodilu in povzročajo čim manjše trenje.



**Slika 3.28:** Valjček v obliki lastovičjega repa

Zelo natančni pa smo morali biti tudi pri izbiri zobnika, s katerim se pomikamo po zobati letvi. Pomembno je, da so zobniki na letvi manjši, saj s tem omogočamo večjo natančnost. To pomeni, da smo izbrali čim manjši zobnik oziroma pastorek. Do pravega zobnika smo prišli s preračunom dopustnega momenta.

$$F = F_{voz} + F_{šir} = 1043 \text{ N} + 500 \text{ N} = 1543 \text{ N}$$

$F/N$  – vektor sile

$F_{voz}/N$  – sila vozička

$F_{šir}/N$  – potrebna sila za širjenje cevi

$$r_z = 60 \text{ mm} = 0,06 \text{ m}$$

$r_z/m$  – polmer izbranega zobnika

$$M_{zob} = r_z \cdot F = 0,06 \text{ m} \cdot 1543 \text{ N} = 92,58 \text{ Nm}$$

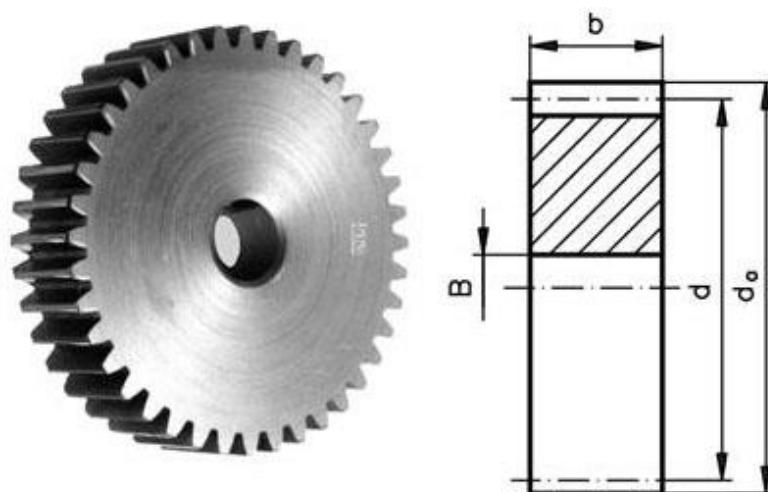
$M_{zob}/Nm$  – moment na zobniku

$$M_{zob\_dop} = 120 \text{ Nm}$$

$M_{zob\_dop}$  / Nm – dopustni moment na zobniku

$$M_{zob\_dop} > M_{zob}$$

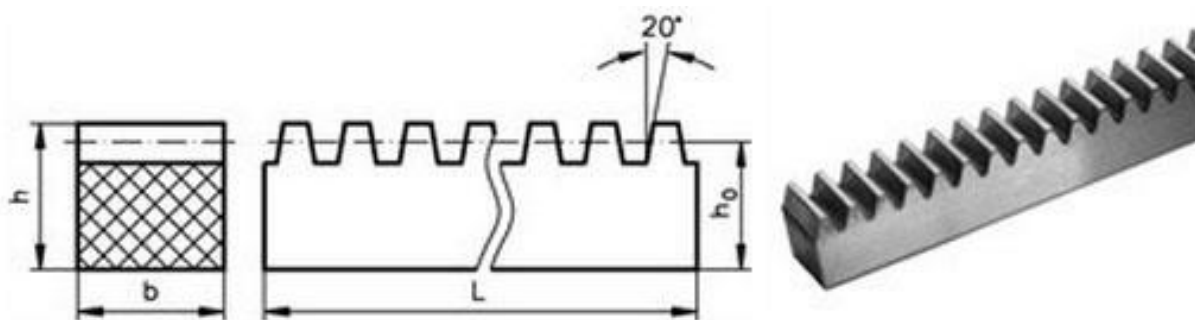
$$120 \text{ Nm} > 92,58 \text{ Nm}$$



Slika 3.29: Zobnik

Preglednica 3.2: Podatki o zobniku

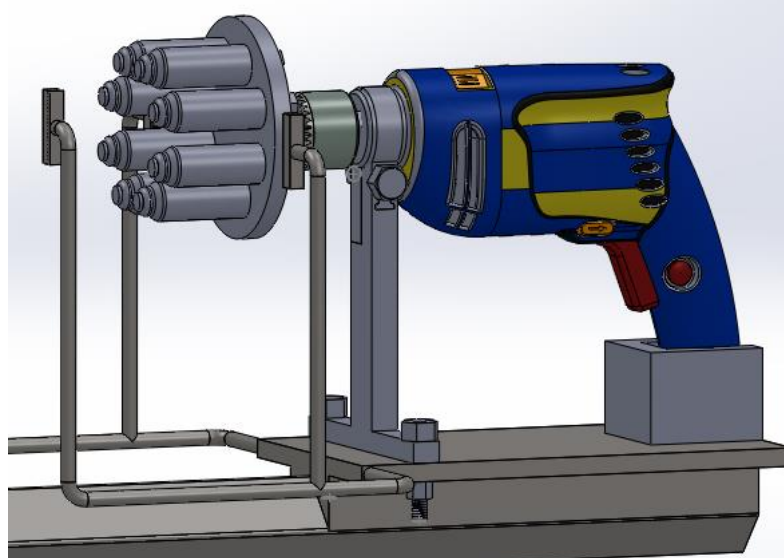
Model kat. številka:	24211048
Material:	Jeklo C45
Število zob:	48
Modul:	2,5
b [mm]	25
d [mm]	120
d <sub>0</sub> [mm]	125
B <sup>H7</sup> [mm]	20
Maksimalen dop. navor $M_{zob\_dop}$ [Nm]	120
Teža [kg]	2,12
Cena brez DDV [EUR]	66,12



Slika 3.30: Zobata letev

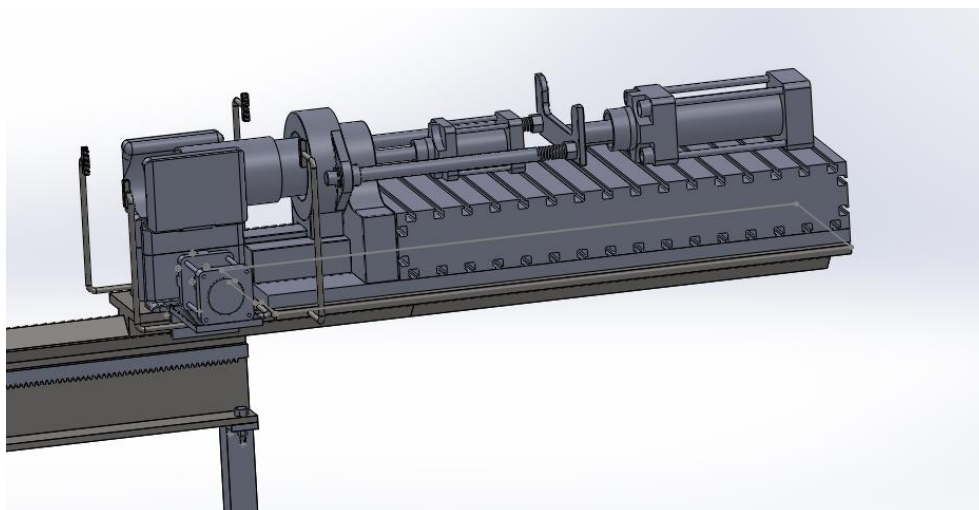
Preglednica 3.3: Podatki zobate letve

Model kat. številka:	24260500
Material:	Jeklo C45, rezkani in precizno poravnani zobje
Modul:	2,5
b [mm]	25
h [mm]	25
$h_0$ [mm]	22,5
Nominalna dolžina [m]	1
Teža [kg]	4,31
Cena / m, brez DDV [EUR]	48,88



Slika 3.31: Orodje za razširjanje tankostenskih cevi

Orodja ni potrebno posebej opisati, saj smo to storili že v prejšnjih poglavjih. Na tem mestu samo poudarjamo, da smo izdelali prijemalo za vrtalnik, ki ga je mogoče uporabiti tudi ob menjavi vrtalnika. Na vratu vrtalnika opazimo prijemalo, ki nam omogoča, da ostane vrtalnik na mestu, medtem ko smo na zadnji strani vrtalnika dodali še omejitev, da se vrtalnik med obdelavo ne bi vrtil. Želeli smo, da v primeru menjave premera cevi menjamo čim manj elementov. Na stroju za razširjanje tankostenskih cevi je tako potrebno zamenjati le orodje, ostale komponente pa lahko obdržimo.



**Slika 3.32:** Orodje za robljenje tankostenskih cevi

Omeniti velja tudi stroj za robljenje tankostenskih cevi, ki se nahaja na drugi strani nosilca. Opazimo lahko prijemalo, dvoje senzorjev, orodje ter tri cilindre, s katerimi opravimo postopek robljenja tankostenskih cevi.

Med mehanske komponente stroja lahko štejemo tudi električno omarico, kjer se morajo nahajati ustrezne električne komponente. Izbrali smo omarico podjetja RITALL, in sicer RIT1057500.



**Slika 3.33:** Električna omarica RIT1057500



### 3.4.2 Električne komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi



**Slika 3.34:** Vrtalnik Hilti UD 16 z orodjem za razširjanje tankostenskih cevi

Kot smo že omenili, smo imeli glede izbire pogonov več možnosti. Najprej smo želeli opravljati delovni hod in pomik ohišja posebej, zato smo iskali temu primerne motorje. Najprimernejša izvedba je bil pogon s podajalno mizo, ki bi opravljala vlogo delovnega hoda. Gre za industrijsko različico, ki pa za nas ne predstavlja najboljših izbire v finančnem smislu. Zato smo morali poiskati alternativo, ki bi občutno zmanjšala strošek. Temu primerno smo potem izbrali tudi vrtalni stroj, saj smo uporabili že obstoječega (vrtalnik).



**Slika 3.35:** Industrijska različica stroja za razširjanje cevi



**Preglednica 3.4:** Lastnosti vrtalnika Hilti UD 16

Napajalna napetost [V]	240
Moč [W]	710
Vrtilni moment [Nm]	80
Vrtilna hitrost 1. prestava [ <b>min</b> <sup>-1</sup> ]	900
Vrtilna hitrost 2. prestava [ <b>min</b> <sup>-1</sup> ]	2500
Vrtilni moment 1. prestava [Nm]	29
Teža [kg]	2,6
Dimenzije (DxŠxV) [mm]	342x86x205
Razpon vpenjalne glave [mm]	1,5–13
Cena [€]	382

Med električne komponente stroja za razširjanje tankostenskih cevi spada tudi pogon vozička s prijemalom cevi. Tu smo morali najprej oceniti približno silo vozička ter upoštevati silo med postopkom razširjanja cevi, da smo lahko izbrali primeren pogon. Nato smo s preračunom sile in pospeška prišli do rezultatov, s katerimi smo točno določili najprimernejši pogon. Po spodnjih izračunih smo prišli do zaključka, da je najprimernejši pogon motorno polžasto gonilo GMP3.90S2 podjetja Strojna v Mariboru.

$$s = 7 \text{ m}$$

*s/m – maksimalen hod orodja*

$$t = 5 \text{ s}$$

*t/s – zahtevan čas obdelovanja*

$$v_{lin} = \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{7 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 1,4 \text{ m/s}$$

*v<sub>lin</sub> /m/s – linearna hitrost obdelovanja*

Iz zgornjega izračuna sledi preračun potrebne vrtilne frekvence na izstopni gredi gonila:

$$v_{ob} = r_z \cdot 2\pi \cdot n_{2\_gon}$$

$v_{ob}$  /m/s – obodna hitrost zobnika na izstopni gredi gonila

$n_{2\_gon}$  /min<sup>-1</sup> – potrebna vrtilna frekvenca izstopne gredi gonila

$$v_{ob} = v_{lin}$$

$$n_{2\_gon} = \frac{v_{ob}}{r_z \cdot 2\pi} = \frac{42 \frac{m}{min}}{0,06 m \cdot 2\pi} = 222,81 \text{ min}^{-1}$$

Sledi izračun in določitev hitrostnega profila, ki bo imel trapezno obliko. Pri definiranju trapeznega hitrostnega profila je zaželeno, da sta čas pospeševanja in čas pojemanja hitrosti enaka.

$$s = 7 \text{ m}$$

$$t_{all} = 5 \text{ s}$$

$t_{all}$ /s – skupni čas pomikanja

$$a_{acc} = a_{dec}$$

$a_{acc}$ /m/s<sup>2</sup> – pospešek v tretjini pospeševanja

$a_{dec}$ /m/s<sup>2</sup> – pospešek v tretjini pojemanja

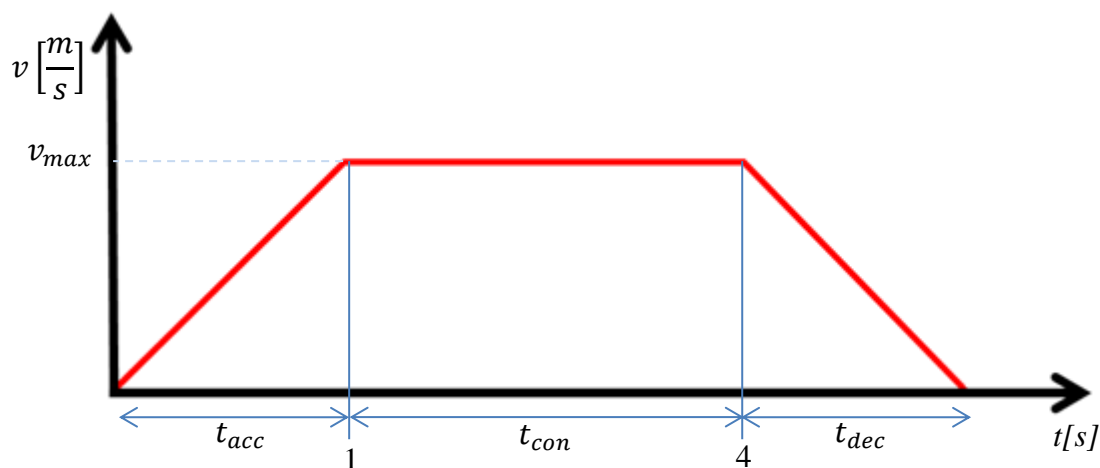
$$t_{acc} = t_{dec} = 1 \text{ s}$$

$$t_{con} = 3 \text{ s}$$

$t_{acc}$  /s – čas v tretjini pospeševanja

$t_{con}$  /s – čas v tretjini konstantne hitrosti

$t_{dec}$  /s – čas v tretjini pojemanja



Slika 3.36: Hitrostni profil

$$n = 236 \text{ min}^{-1}$$

$n/\text{min}^{-1}$  – imenski vrtljaji gonila

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 236 \text{ min}^{-1}}{30} = 24,71 \text{ s}^{-1}$$

$\omega/\text{s}^{-1}$  – kotna hitrost

$$v_{max} = \omega \cdot r_z = 24,71 \text{ s}^{-1} \cdot 0,06 \text{ m} = 1,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$v_{max}/\text{m/s}$  – maksimalna hitrost

$$a_{acc} = \frac{v_{max}}{t_{acc}} = \frac{1,48 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 1,48 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Iz zgornjih izračunov smo ugotovili, da znašajo največja hitrost potovanja orodja 1,48 m/s, največji pospešek in pojemek  $1,48 \text{ m/s}^2$ , najdaljši čas potovanja orodja pa 5 s in v tem času orodje prepotuje 7 m. Sledi izračun sil, ki se pojavijo pri pospeševanju vozička s prijemalom. Masa vozička je ocenjena na 104,3 kg, vendar upoštevamo še silo na orodju, ki s trenjem med zobnikom in letvijo ter drsenjem vozička na vodilih znaša približno 500 N. Ker to silo upoštevamo tudi pri masi vozička, upoštevamo skupno maso približno 154,3 kg.

$$F_{acc} = F_{dec} = m_{voz} \cdot a_{acc} = 154,3 \text{ kg} \cdot 1,48 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 228,34 \text{ N}$$

$F_{acc} / \text{N}$  – sila potrebna za pospeševanje vozička

$F_{dec} / \text{N}$  – sila potrebna za zaustavljanje vozička

$m_{voz} / \text{kg}$  – masa vozička

Ob upoštevanju poti pospeševanja lahko izračunamo še potreben vrtilni moment na zobniku.

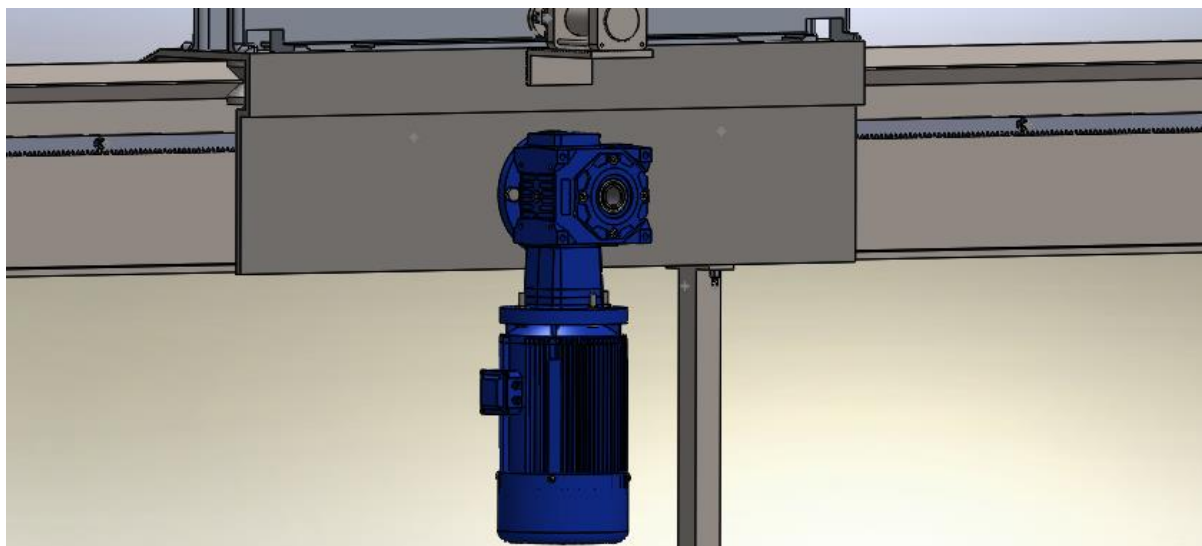
$$Mt_2 = F_{acc} \cdot r_z = 228,34 \text{ N} \cdot 0,06 \text{ m} = 13,7 \text{ Nm}$$

$Mt_2 / \text{Nm}$  – vrtilni moment na zobniku

**Preglednica 3.5:** Lastnosti motornega polžastega gonila GMP3.90S2

Moč [kW]	1,5
Imenski vrtljaji [ $\text{min}^{-1}$ ]	236
Vrtilni moment [Nm]	54
Faktor obratovanja	7,1
Prestava	12
Teža [kg]	50
Cena [€]	786

Pri izbiri pogona je pomembna tudi lega. Izbrali smo lego VP.B, pri kateri motor visi navzdol, kar ob pomikanju levo in desno pomeni enako obremenitev motorja v obe smeri. To smo upoštevali tudi pri modeliranju ter tako pogon obrnili navzdol, kar je razvidno iz slike 3.36.



Slika 3.37: Motorno polžasto gonilo

Ugotovili smo, da je izvedba z vrtalnikom Hilti UD 16 ter motornim polžastim gonilom GMP3.90S2 VP.B najcenejša ter za naš stroj tudi dovolj dobra izbira. Z industrijskim vrtalnikom bi sicer pridobili na natančnosti, vendar ta ni premo sorazmerna s ceno vrtalnika. Podajalno mizo smo nadomestili s frekvenčnim pretvornikom, ki omogoča, da s spreminjanjem frekvence zmanjšamo vrtljaje pogona in s tem upočasnimo pomikanje vozička na orodje. S tem stroškovno veliko pridobimo, saj je frekvenčni pretvornik cenejši od podajalne mize. V preglednici 3.6 smo ponazorili te primerjave.

Preglednica 3.6: Primerjava izvedb pogonov

Izvedba	Število motorjev in opis	Cena [€]
Izvedba 1	Industrijski vrtalnik 1,5 kW 2900 obr/min	5368,50
	Podajalna miza (delovni hod), hod: 150mm	3879,00
	Pogon za pomik stroja (Servomotor)	500
Izvedba 2	Vrtalnik Hilti UD 16 710 W 80 Nm 2500 obr/min	382
	Motorno polžasto gonilo Strojna GMP3.90S2 1,5 kW	786
	Frekvenčni pretvornik Danfoss VLT Micro Drive 132F 0012	409

Pri izbiri frekvenčnega pretvornika smo morali biti pozorni predvsem na njihovo moč. Izbirali smo pretvornike, ki dosegajo moč vsaj 1,5 kW, saj smo želeli poganjati prav tako močan motor. Frekvenčni pretvorniki Danfoss VLT Micro Drive nam omogočajo frekvenčno kontrolo motorjev od 0,18 kW do 22 kW, kar ustreza našemu primeru. Izbrali smo izvedbo 132F 0012, ki omogoča kontrolo motorjev do 1,5 kW.

**Preglednica 3.7:** Lastnosti frekvenčnega pretvornika Danfoss Micro Drive 132F 0012

Moč [kW]	1,5
Tok (I-nom.) [A]	6,8
Napetost [V]	200–240
Programabilni vhodi (digitalni)	5
Napetostni nivo na digitalnem vhodu [V]	0–24
Vhodna pulzna frekvenca [Hz]	20–5000
Programabilni vhodi (analogni)	2
Napetostni nivo na analognem vhodu [V]	0–10
Tokovni nivo na analognem vhodu [A]	0–4
Izhodna napetost	0–100 % napajalne napetosti
Izhodna frekvenca [Hz]	0–200 (VVC+)
Izhodna frekvenca [Hz]	0–400(U/f)
Število preklopov na izhodu	Neomejeno
Čas preklopa [s]	0,05–3600
Cena [€]	409

**Slika 3.38:** Frekvenčni pretvorniki Danfoss VLT Micro Drive

Prijemalo tankostenskih cevi se mora avtomatsko odpirati in zapirati. Zato smo na del prijemala dodali pnevmatski valj Festo DNG ISO 15552, ki opravlja gib odpiranja in zapiranja prijemala. Pri izbiri pnevmatskega valja smo bili pozorni, da gre za dvosmerni tip in da lahko z njim opravimo zadovoljiv gib v dolžini 50 mm.

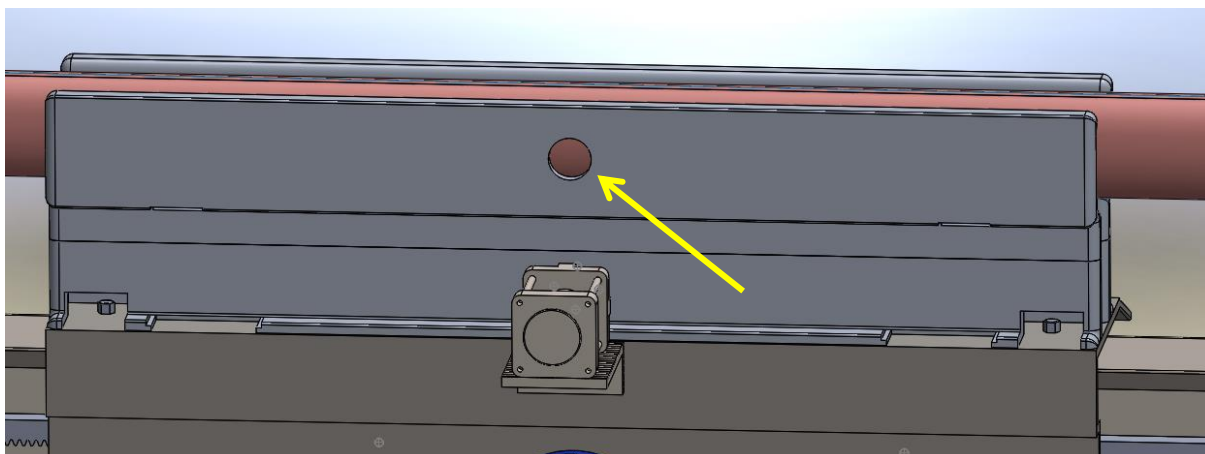


**Slika 3.39:** Pnevmski valj Festo DNG ISO 15552

**Preglednica 3.8:** Lastnosti pnevmatskega valja Festo DNG ISO 15552

Funkcija valja	Dvostranski
Tip valja	Enostranska batnica
Premer bata [mm]	32, 40, 50
Gib valja [mm]	10 ... 2000
Dopustna sila [N]	415 ... 48250
Cena [€]	30,71

Za zaznavanje položaja vozička s prijemalom smo potrebovali tudi senzorje. V vozičku smo namestili senzor, ki nam da v primeru prisotnosti cevi določen signal. Tu smo uporabili induktivni senzor prisotnosti s povečano razdaljo preklopa Riko TSC3025-N, ki zmore zaznavo kovinskih predmetov v oddaljenosti do 25 mm. Senzor je nameščen v ohišje prijemala, tako da v primeru prisotnosti cevi le-to zazna.



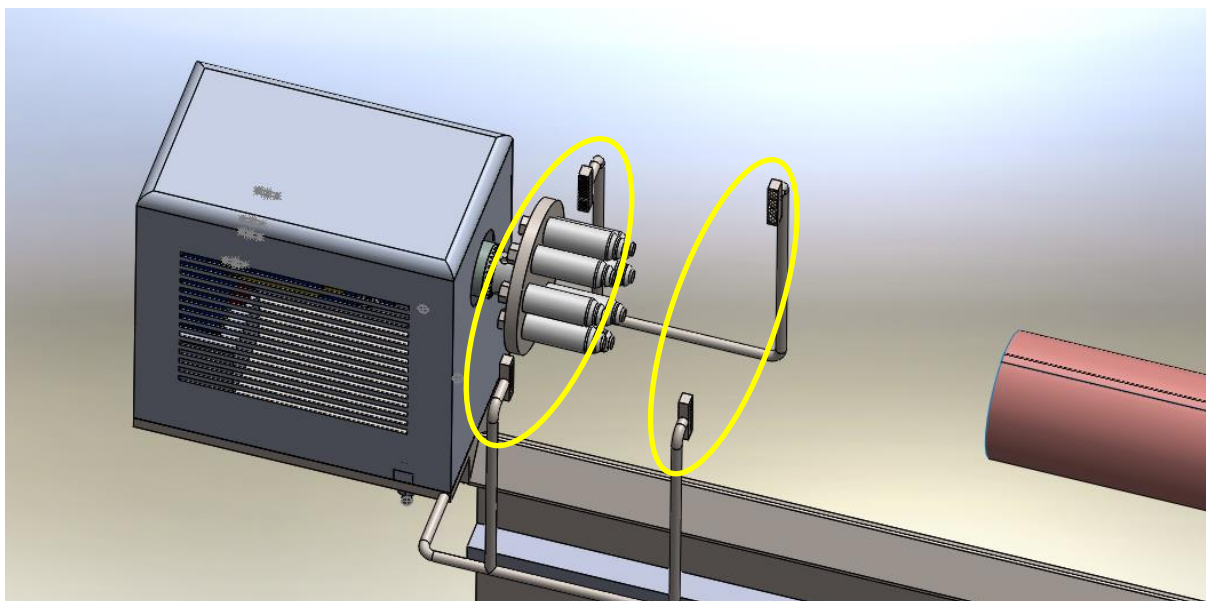
**Slika 3.40:** Pozicija induktivnega senzorja prisotnosti ter cilinder

**Preglednica 3.9:** Lastnosti senzorja prisotnosti Riko TSC3025-N

Način zaznavanja	Nezaščiten
Standardno zaznavanje objekta [mm]	Železo 30x30x1
Dolžina zaznavanja [mm]	25
Varna dolžina zaznavanja [mm]	20
Histereza	< 15 % dolžine zaznavanja
Obratovalna napetost [V]	12~24 DC
Teža [g]	135
Obratovalna temperatura [°C]	-5~+50
Cena [€]	7,7

Senzorjev pa nimamo le na vozičku s prijemalom, ampak tudi pred orodjem za razširjanje tankostenskih cevi. Tam sta nameščena dva para senzorjev, ki preverjata prisotnost cevi. Prvi par omogoči zmanjšanje hitrosti pomikanja cevi na orodje, medtem ko drugi par obrne smer pomikanja cevi. Ob zaznavanju cevi na prvem paru senzorjev se zažene tudi vrtalnik z orodjem za razširjanje tankostenskih cevi. V tem primeru smo za zaznavanje cevi izbrali foto senzor v ploščatem ohišju Riko PK5-1N. Ko cev pomaknemo do senzorja, se laserski žarek prekine, s tem pa dobimo signal, ki sproži delovanje vrtalnika ter zmanjša hitrost pomikanja cevi v smeri orodja za razširjanje tankostenskih cevi.





Slika 3.41: Prostor, kjer so nameščeni foto senzori Riko PK5-1N

Preglednica 3.10: Lastnosti foto senzora Riko PK5-1N

Način zaznavanja	Prekinitev žarka
Dolžina zaznavanja [m]	1
Oddajnik svetlobe	Infrardeča LED 940 nm
Obratovalna napetost [V]	12~24 DC
Odzivni čas [ms]	0,5
Obratovalna temperatura [°C]	-10~+45
Material	ABS
Teža [g]	40
Cena [€]	80



**Slika 3.42:** Foto senzor Riko PK5 in induktivni senzor Riko TSC3025

Zelo pomembno komponento stroja za razširjanje tankostenskih cevi predstavlja krmilnik Siemens S7-200 CPU 226. Ta krmilnik smo izbrali zato, ker že osnovna verzija vsebuje kar 24 digitalnih vhodov in 16 digitalnih izhodov. Ker so dodatne komponente krmilnika tudi dodatni strošek, je zelo pomembno, da že osnovna verzija vsebuje čim več digitalnih vhodov oziroma izhodov.



**Slika 3.43:** Krmilnik Siemens S7-200 CPU 226

Večina komponent stroja za razširjanje tankostenskih cevi je mogoče povezati s krmilnikom preko digitalnih vhodov oziroma izhodov, medtem ko smo motor vozička s prijemalom cevi povezali preko frekvenčnega pretvornika. Problem je predstavljal tudi vrtalnik, ki deluje na obratovalni napetosti 240 V. Pri tem smo kot vmesni člen uporabili rele, s katerim smo vklopili oziroma izklopili vrtalnik.

**Preglednica 3.11:** Lastnosti krmilnika Siemens S7-200 CPU 226

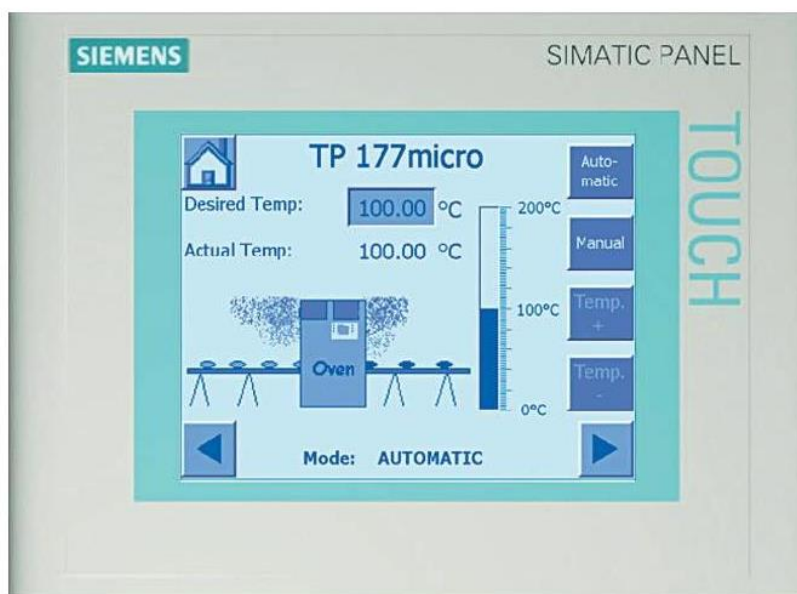
Dimenzije (DxŠxV) [mm]	190x80x62
Programski spomin [byte]	16384
Podatkovni spomin [byte]	10240
Število vhodov/izhodov	Digitalni: 24/16 Analogni: -
Število dodatnih modulov	7
Število visokohitrostnih števecv	Enofazni: 6 pri 30 kHz Dvofazni: 4 pri 20 kHz
Število pulznih izhodov	2 pri 20 kHz
Komunikacijski port	2x RS-485
Cena [€]	832

Krmilnik smo skupaj s frekvenčnim pretvornikom in relejem umestili v električno omarico, od koder smo nato pošiljali oziroma prejemali signale senzorjev, motorjev in cilindrov.

Za uporabniku prijazen dostop do stroja oziroma njegovega delovanja smo uporabili Siemensov HMI (human-machine interface) zaslon TP 177micro. Gre za stroškovno optimizirano različico zaslona TP 177A, torej za cenejšo in funkcijsko okrnjeno verzijo, ki je prilagojena delu s Siemensovim krmilnikom S7-200. Uporablja se za manj kompleksne naloge, vendar je zaradi velikega zaslona precej bolj enostaven za uporabo. Zaslon TP 177micro tudi nima fizičnih gumbov in tipk, pač pa se za vnos podatkov in informacij uporablja resistivni zaslon na dotik, kjer lahko vnosna okna oziroma tipke poljubno sprogramiramo.

Siemensov HMI TP 177micro je mogoče vgraditi v ohišje vozička s prijemalom, zagotoviti moramo le ravno površino velikosti vsaj 212 x 156 mm, saj je tako velika sprednja plošča izbranega zaslona.

Sprednja stran panela oziroma čelna plošča nam omogoča tudi stopnjo zaščite IP 65, kar pomeni, da je popolnoma odporna na vstop prahu in je zaščitena pred vlago in vodo, torej vsekakor uporabna pri delu v industrijskem okolju.

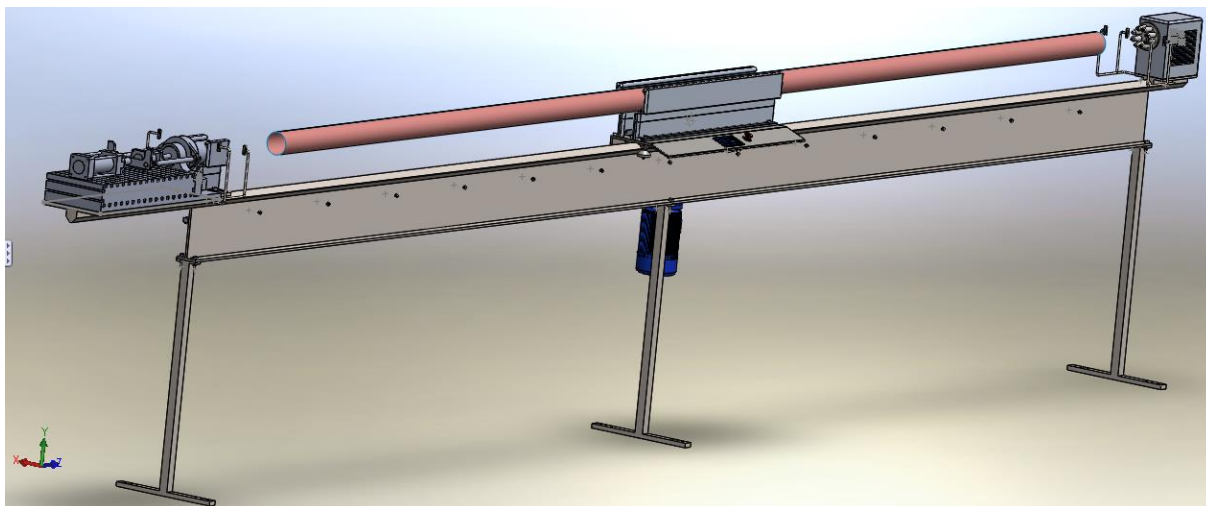


Slika 3.44: Siemens HMI TP 177micro

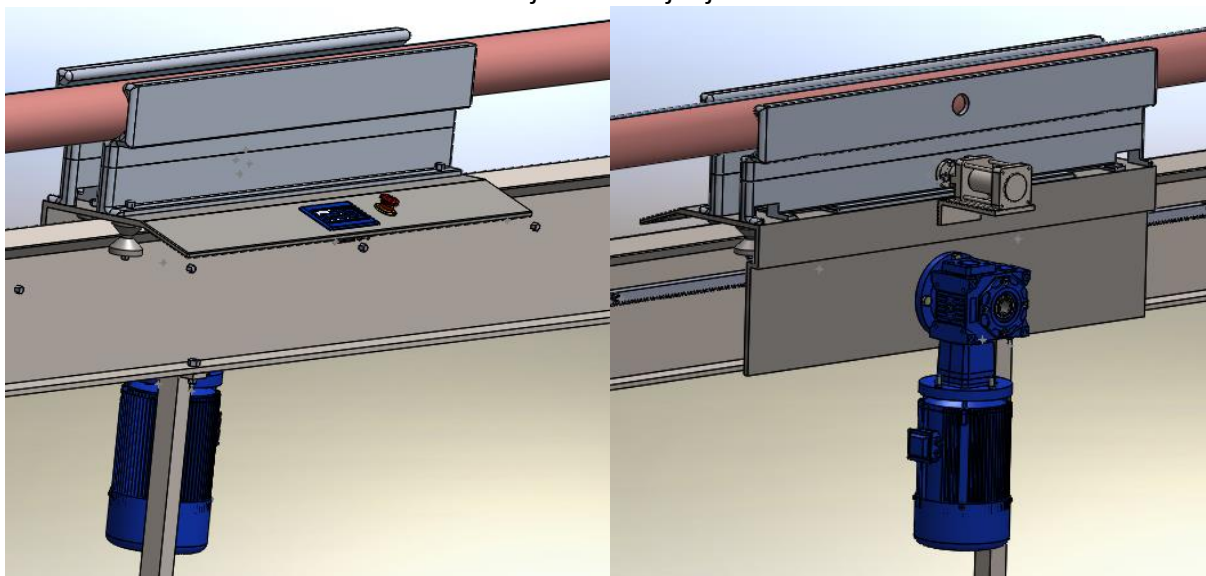
Preglednica 3.12: Tehnični podatki Siemens HMI TP 177micro

Zaslon	5,7" (15,24 cm) zaslon
Uporabniški spomin [kB]	256
Komunikacijski vmesnik	1 x RS485
Stopnja zaščite	IP 65
Namestitveni utor (ŠxV)[mm]	198 x 142
Sprednja plošča (ŠxV)[mm]	212 x 156
Programska oprema	WinCC flexible Micro
Cena[€]	485

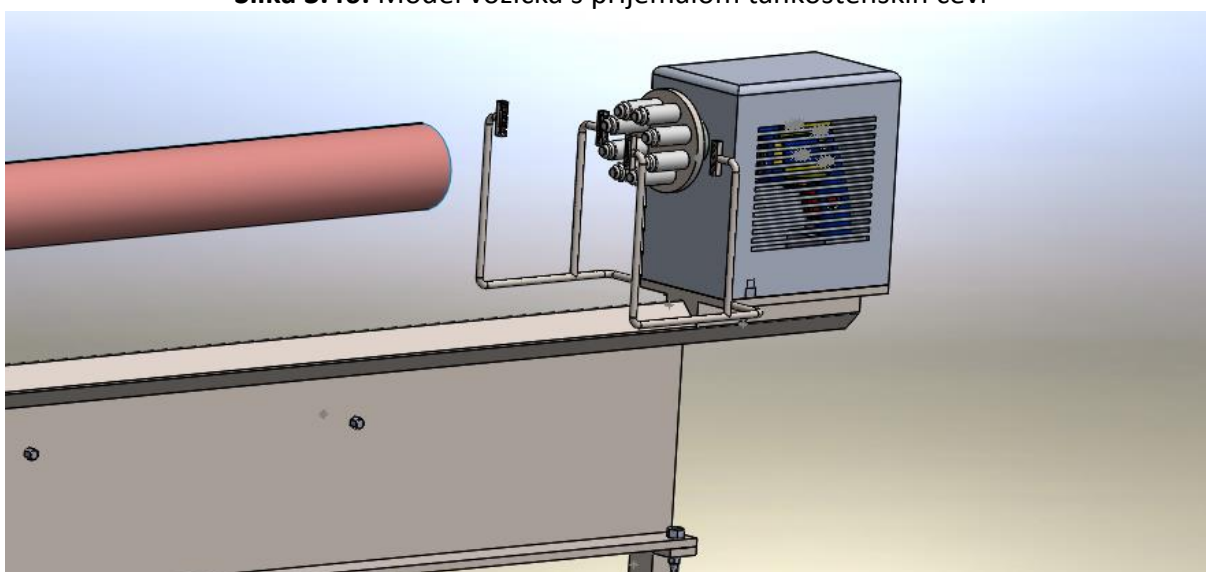
Zgoraj opisane komponente predstavljajo sestavne dele stroja za razširjanje tankostenskih cevi. Komponente smo v programskem orodju Solidworks tudi zmodelirali in sestavili ter dobili končni model stroja, ki je prikazan na sliki 3.45. Dodati je potrebno le še povezave do napetostnih virov ter električne omarice oziroma krmilnika.



**Slika 3.45:** Model stroja za razširjanje tankostenskih cevi



**Slika 3.46:** Model vozička s prijemalom tankostenskih cevi

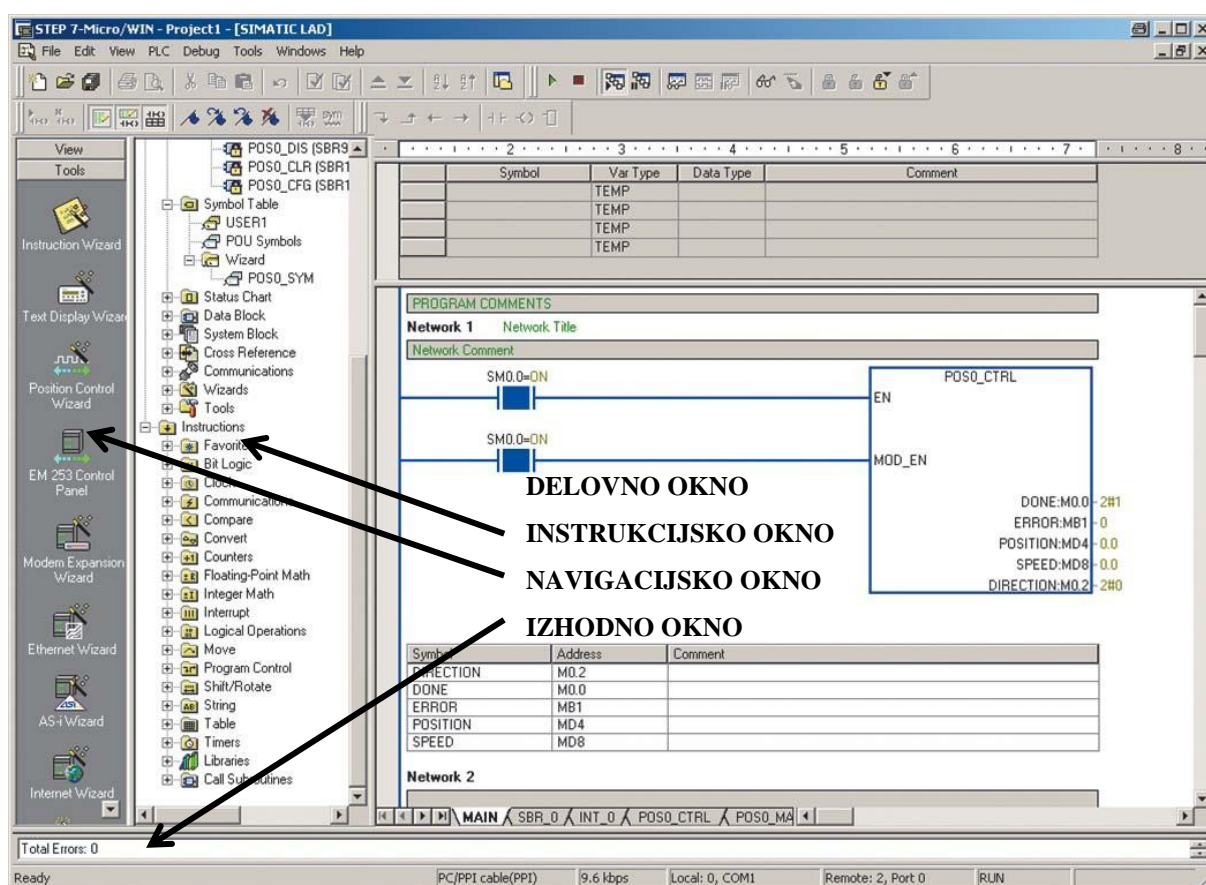


**Slika 3.47:** Stroj za razširjanje tankostenskih cevi



### 3.5 Programski del stroja za razširjanje tankostenskih cevi

Za programiranje krmilnikov Siemens S7-200 obstajata dve programski orodji: - STEP 7 micro/WIN; - STEP 7 micro/DOS. V našem primeru smo se odločili za STEP 7 micro/WIN, ki je enostaven za uporabo, saj je njegov uporabniški vmesnik ob poznavanju angleškega jezika lahko razumljiv. Ob programiranju z naborom instrukcij (STL – statement list) nam grafični vmesnik omogoča tudi programiranje v obliki lestvičnega diagrama (LAD – ladder diagram) ter v obliki funkcijskih blokovnih shem (FBD – function block diagram). V obliki lestvičnega diagrama in funkcijskih blokovnih shem je mogoče programirati tudi s standardnimi IEC-simboli in ukazi po standardu IEC 1131-3.



Slika 3.48: Okna v programskem paketu STEP 7 micro/WIN

Program omogoča izdelavo glavnega krmilnega programa, na katerega se vežejo prekinitveni programi ter podprogrami. Omogoča tudi simbolno programiranje in uporabo zmogljivih ukazov. Podatki se vnašajo v podatkovne bloke.

Programske zahteve za namestitev programa so minimalne:

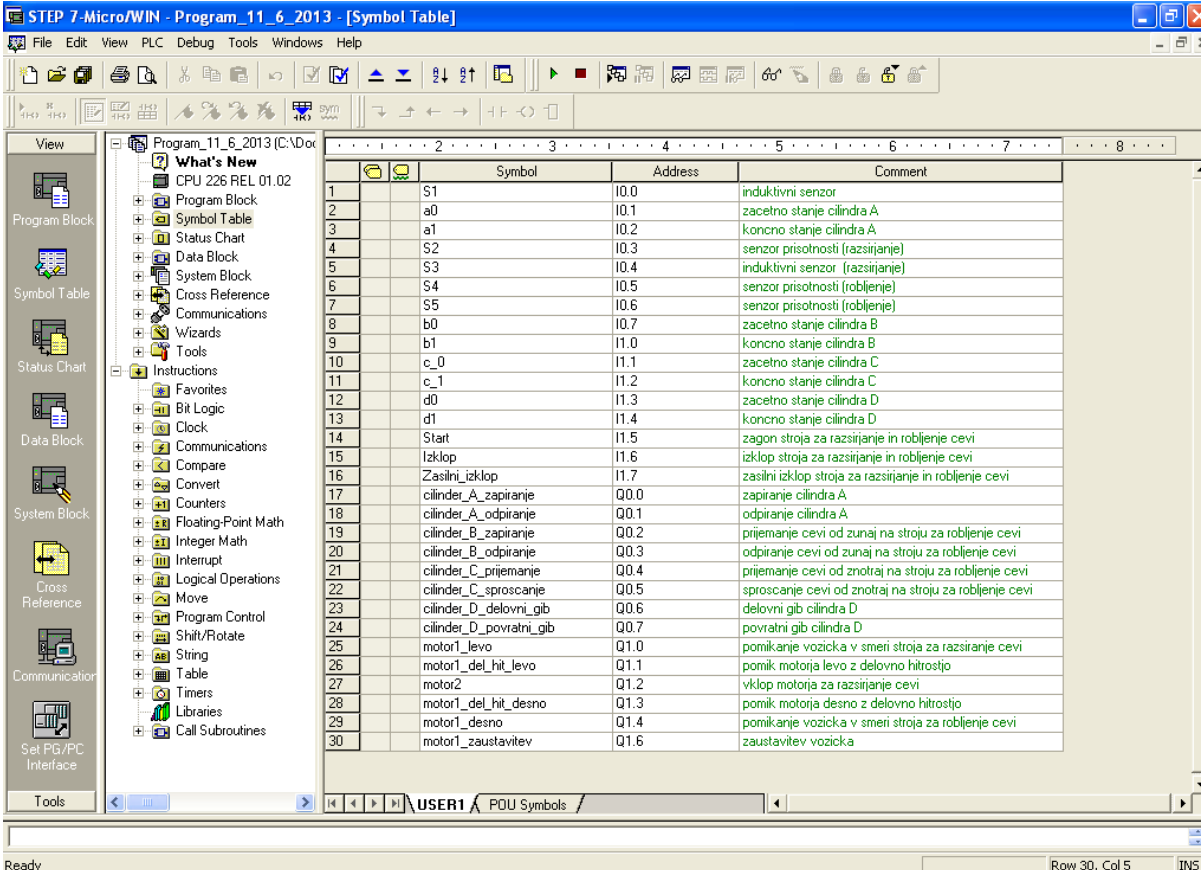
- PC z 8 MB RAM-pomnilnika,

- 50 MB prostora na trdem disku,
- VGA monitor z resolucijo 1024x768,
- PC/PPI kabel za povezavo PC (RS 232) s krmilnikom S7 200 (RS 485),
- operacijski sistem Windows 95, 98, 2000, Me, NT, Vista

### 3.5.1 Uporabniški vmesnik STEP 7 micro/WIN 32

Uporabniški vmesnik STEP 7 micro/WIN 32 je sestavljen iz: - naslovne vrstice z imenom in verzijo programa; - menijske vrstice s skupnimi ukazi (File, Edit, View, PLC, Debug, Tools, Windows, Help); - orodne vrstice z najpogosteje uporabljenimi ukazi; - orodne vrstice z možnostjo povezav med elementi programa.

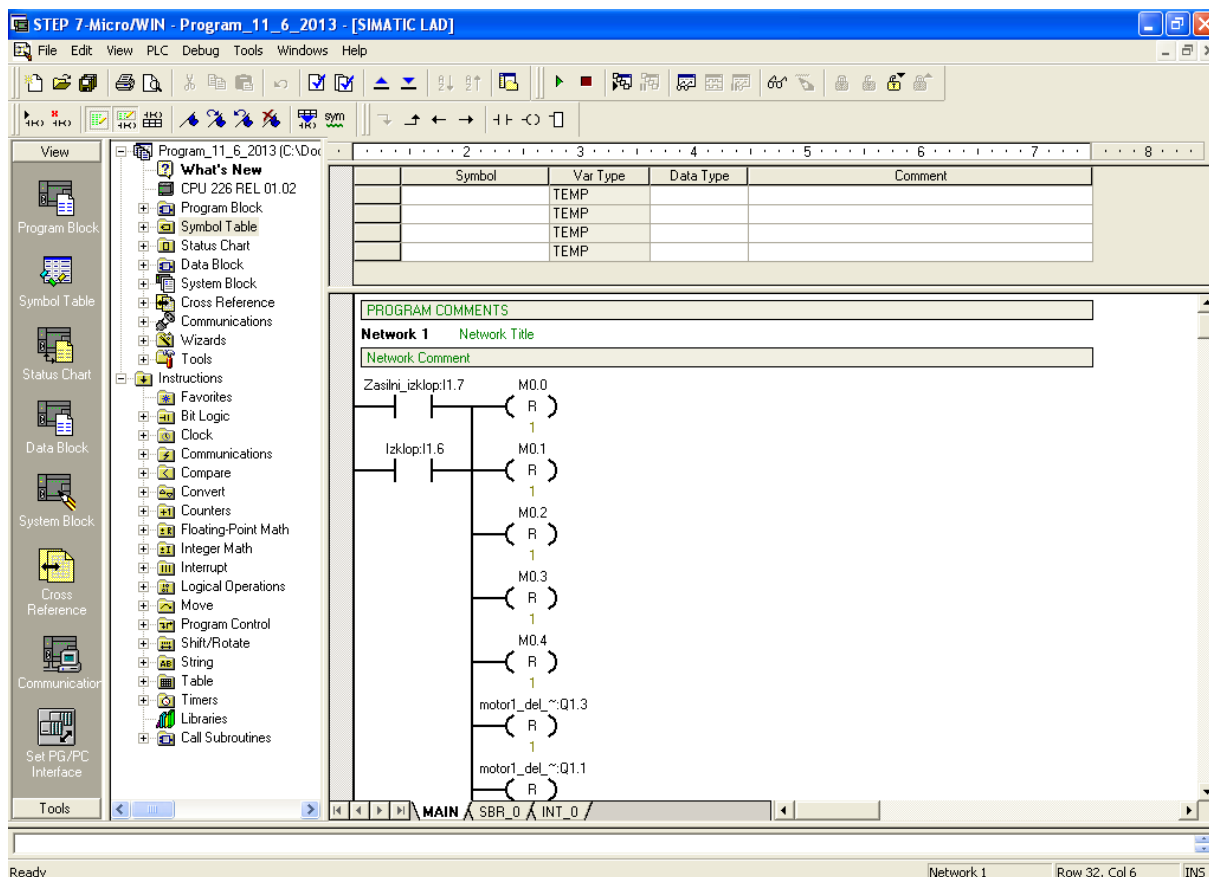
Ob zagonu vmesnika najprej določimo izvedbo krmilnika. V primeru, da imamo krmilnik že povezan, se to izpiše v instrukcijskem oknu. Pod izvedbo krmilnika imamo možnost "Program Block", kamor s pomočjo povezav med elementi zapišemo program. Preden pa to storimo, je priporočljivo, da izpolnimo oziroma vnesemo simbole v tabelo simbolov. Najdemo jo pod imenom "Symbol Table".



	Symbol	Address	Comment
1	S1	I0.0	induktivni senzor
2	a0	I0.1	zacetno stanje cilindra A
3	a1	I0.2	koncno stanje cilindra A
4	S2	I0.3	senzor prisotnosti (razsijanje)
5	S3	I0.4	induktivni senzor (razsijanje)
6	S4	I0.5	senzor prisotnosti (robljenje)
7	S5	I0.6	senzor prisotnosti (robljenje)
8	b0	I0.7	zacetno stanje cilindra B
9	b1	I1.0	koncno stanje cilindra B
10	c_0	I1.1	zacetno stanje cilindra C
11	c_1	I1.2	koncno stanje cilindra C
12	d0	I1.3	zacetno stanje cilindra D
13	d1	I1.4	koncno stanje cilindra D
14	Start	I1.5	zagon stroja za razsijanje in robljenje cevi
15	Izklop	I1.6	izklop stroja za razsijanje in robljenje cevi
16	Zasilni_izklop	I1.7	zasilni izklop stroja za razsijanje in robljenje cevi
17	cilinder_A_zapiranje	Q0.0	zapiranje cilindra A
18	cilinder_A_odpiranje	Q0.1	odpiranje cilindra A
19	cilinder_B_zapiranje	Q0.2	prijemanje cevi od zunaj na stroju za robljenje cevi
20	cilinder_B_odpiranje	Q0.3	odpiranje cevi od zunaj na stroju za robljenje cevi
21	cilinder_C_prijemanje	Q0.4	prijemanje cevi od znotraj na stroju za robljenje cevi
22	cilinder_C_sproscanje	Q0.5	sproscanje cevi od znotraj na stroju za robljenje cevi
23	cilinder_D_delovni_gib	Q0.6	delovni gib cilindra D
24	cilinder_D_povratni_gib	Q0.7	povratni gib cilindra D
25	motor1_levo	Q1.0	pomikanje vozicka v smeri stroja za razsiranje cevi
26	motor1_del_hit_levo	Q1.1	pomik motorja levo z delovno hitrostjo
27	motor2	Q1.2	vklop motorja za razsijanje cevi
28	motor1_del_hit_desno	Q1.3	pomik motorja desno z delovno hitrostjo
29	motor1_desno	Q1.4	pomikanje vozicka v smeri stroja za robljenje cevi
30	motor1_zavstavitvev	Q1.6	zavstavitvev vozicka

Slika 3.49: Tabela simbolov

Ko vnesemo podatke v tabelo simbolov, lahko začnemo s programiranjem. V našem primeru smo to storili v LAD lestvičnem diagramu. Izberemo opcijo "Program Block" ter pričnemo s programiranjem. Tu nam program ponudi bližnjice do uporabnih možnosti, s katerimi zapišemo program.



Slika 3.50: Lestvični diagram v programu STEP 7 micro/WIN

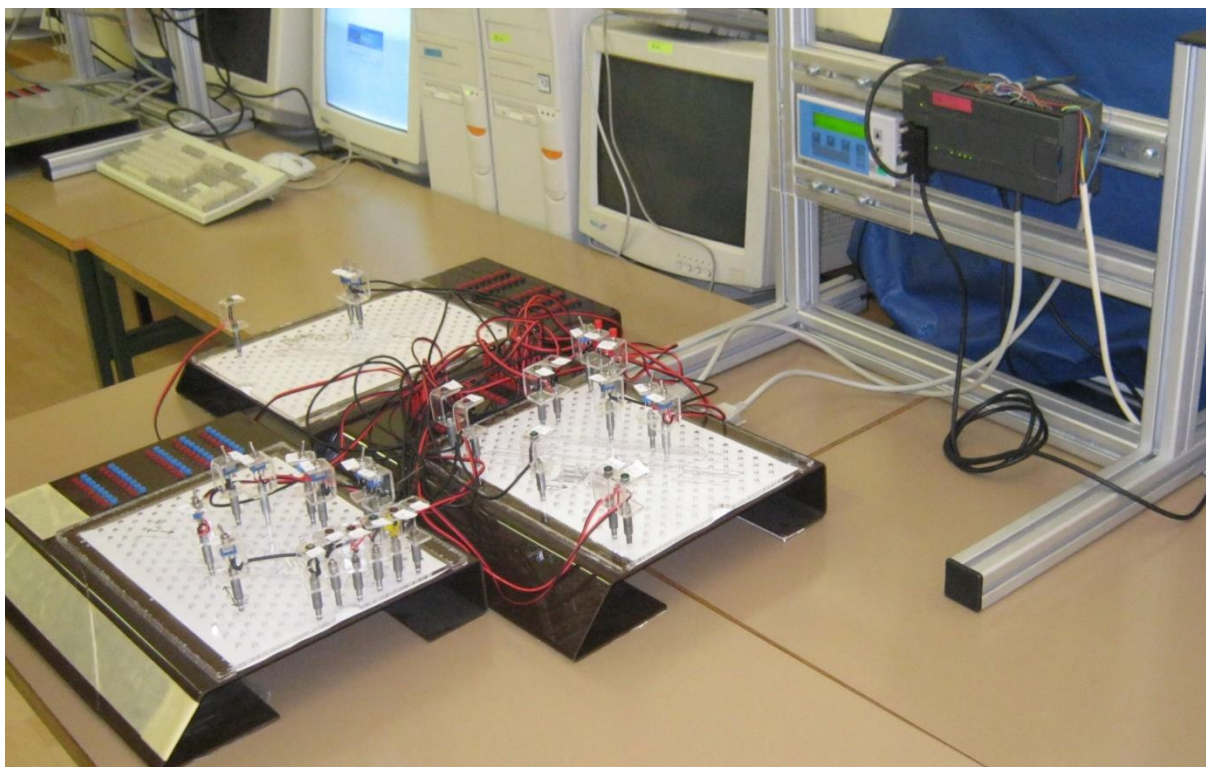
Ko končamo z zapisom programa, stikalo na krmilniku prestavimo na opcijo "Stop". Potem v uporabniškem vmesniku izberemo menijsko opcijo "Debug" in nato "Debug and Download", s čimer najprej opravimo razhroščevanje, potem pa program prenesemo na krmilnik. Ob premiku stikala na krmilniku na opcijo "Run" se naš program začne izvajati. Celoten program, zapisan v jeziku LAD-lestvični diagram, je dodan kot priloga.

### 3.5.2 Testiranje programa

Program, ki smo ga zapisali v uporabniškem vmesniku STEP 7 micro/WIN ter nato prenesli na krmilnik Siemens S7 200 CPU 226, smo testirali s pomočjo tipk, stikal ter LED diod. Krmilnik smo na vhodni in izhodni strani povezali s stikali, tipkami ter diodami, slednje pa razporedili po testni plošči, v katero smo vstavili skice stroja za razširjanje in robljenje

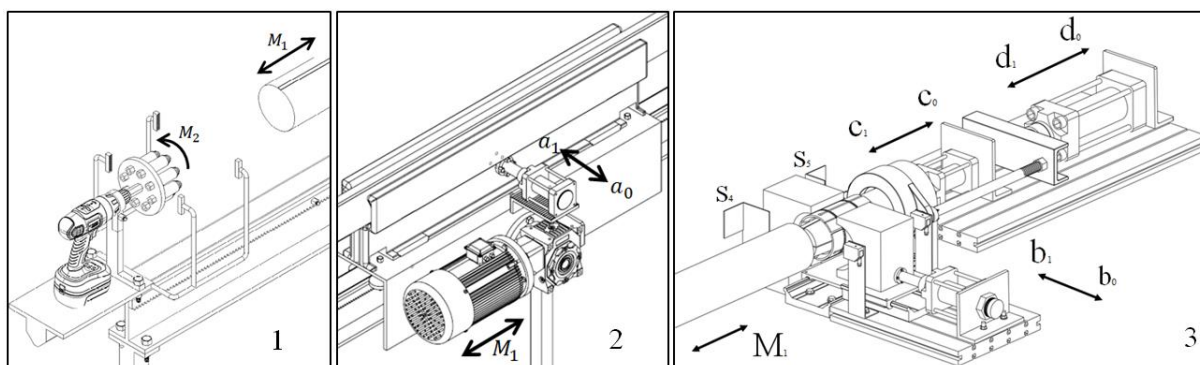


tankostenskih cevi. Po razporeditvi elementov smo prestavili krmilnik v "Run mode" in tako začeli z izvajanjem programa. Na sliki 3.51 je razvidno, da smo stroj za razširjanje in robljenje tankostenskih cevi razporedili po treh testnih ploščah: - stroj za razširjanje tankostenskih cevi; - stroj za robljenje tankostenskih cevi; - voziček s prijemalom ter pogonom.



Slika 3.51: Testna plošča s krmilnikom S7 200 CPU 226

### 3.5.3 Tehnološka shema stroja za razširjanje in robljenje tankostenskih cevi



Slika 3.52: Tehnološka shema

## 3.5.4 Besedni opis tehnoloških zahtev

Induktivni senzor S1 zazna cev, cilindar A zapre prijemalo. Ko je ta v končni legi, se vklopi motor M1 in se zapelje proti orodju za razširjanje tankostenskih cevi. Senzor S2 zazna prisotnost cevi in takrat M1 preklopi iz začetne v delovno hitrost ter aktivira motor M2 za razširjanje cevi. Ko cev prispe do konca orodja, senzor S3 poskrbi, da motor M1 obrne smer pomikanja. Ko je razširjanje končano, senzor S2 cevi več ne zazna in motor M1 preklopi iz delovne v začetno hitrost ter se zapelje k orodju za robljenje tankostenskih cevi. Takrat se tudi motor M2 ustavi. Nato senzorja S4 in S5 zaznata prisotnost cevi in motor M1 ponovno preklopi iz začetne v delovno hitrost. Ko začetek cevi doseže položaj drugega para senzorjev, S6 in S7, se motor M1 ustavi. To sproži cilindar B, da se postavi v končno lego oz. ekspandira pušo tako, da drži notranje stene cevi. Nato se aktivira cilindar C, ki izdela rob cevi. Po končani obdelavi se najprej sprosti cilindar B in šele nato cilindar C. Ko se cilindar C vrne v prvotni položaj, se sproži motor M1, ki preklopi v začetno hitrost in zapelje voziček na sredino letve, nakar se sprosti tudi cilindar A.

## 3.5.5 Prireditvena tabela

**Preglednica 3.13:** Prireditvena tabela vhodnih in izhodnih parametrov

Vhodi		Izhodi	
element	parameter	element	parameter
$S_1$	I 0.0	A+	Q 0.0
$a_0$	I 0.1	A-	Q 0.1
$a_1$	I 0.2	B+	Q 0.2
$S_2$	I 0.3	B-	Q 0.3
$S_3$	I 0.4	C+	Q 0.4
$S_4$	I 0.5	C-	Q 0.5
$S_5$	I 0.6	D+	Q 0.6
$b_0$	I 0.7	D-	Q 0.7
$b_1$	I 1.0	M1 -	Q 1.0
$c_0$	I 1.1	M1 - delov_hit	Q 1.1

$c_1$	I 1.2	<b>M2</b>	Q 1.2
$d_0$	I 1.3	<b>M1 +delov_hit</b>	Q 1.3
$d_1$	I 1.4	<b>M1 +</b>	Q 1.4
Start	I 1.5	<b>M1_stop</b>	Q1.5
Izklop	I 1.6		
Zasilni izklop	I 1.7		

Pomen oziroma razlaga oznak elementov je dodana kot priloga.

## 4 REZULTATI

Ugotovili smo, da maksimalna sila pri obdelovalnem postopku razširjanja znaša okrog 400 N. Ob povišanju te sile oziroma ob povišanju vrtljajev orodja pride do preobremenitve materiala tankostenskih cevi in s tem do plastične deformacije cevi. S tem cev izgubi svojo prvotno obliko. Sile med postopkom razširjanja tankostenskih cevi so nam nakazale tudi približno moč motorja na vozičku s prijemalom, s katerim potiskamo cev na orodje. Ob dodani sili teže vozička smo preračunali, da potrebujemo motor s 111,41 vrtljaji na minuto ter vrtilnim momentom 85 Nm. Izbrali smo motorno polžasto gonilo podjetja Strojna. Izbira motorja nam je hkrati dala tudi potrebne podatke o izbiri frekvenčnega pretvornika.

Silo teže, a le prijemala, smo morali upoštevati tudi pri izbiri pnevmatskega valja, ki odpira oziroma zapira prijemalo. Zato smo uporabili pnevmatski valj, ki premore sile do 48250 N, opravlja pa tudi dovolj dolg gib zapiranja prijemala.

Pri izbiri vrtalnika smo razmišljali o industrijski različici, a nato vseeno izbrali obstoječ vrtalnik Hilti UD 16, ki je dal zadovoljive rezultate pri testiranju orodja. Vrtalnik ni prekoračil maksimalne sile obremenitve materiala cevi, opravil pa je tudi dovolj dolg gib razširitve cevi.

Ob izbranih komponentah stroja ter izdelavi le-tega smo prišli do spoznanja, da naš stroj za razširjanje tankostenskih cevi natančneje ter hitreje opravi obdelovalni postopek razširjanja cevi. Stroj je tudi veliko bolj varna izvedba postopka razširjanja cevi, saj pri tem ni potrebe po uporabi človeške delovne sile, kar nas privede do zaključka, da gre za uporabniku prijazen stroj.

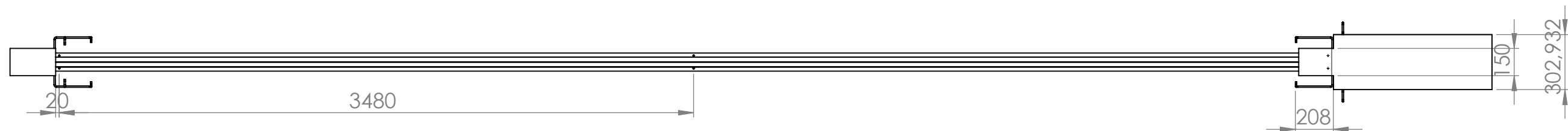
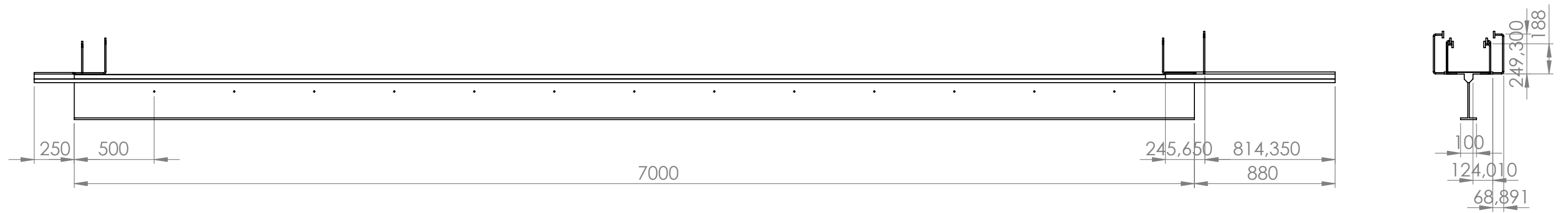
## 5 SKLEP

Med izdelovanjem stroja za razširjanje tankostenskih cevi smo ugotovili, da veliko podobnih strojev že obstaja, vendar ne za šivane cevi, ampak za varjene. Zato smo razvili nov postopek obdelave tankostenskih cevi, izdelali stroj, sestavili komponente in napisali program, da smo stroj naredili tako cenovno kot tehnično primeren za uporabo v številnih podjetjih na tem področju. Optimizirali smo razpon sil in poskušali izbrati postopku najbolj primerne elemente. Veliko literature je bilo zapisane v tujih jezikih, predvsem nemškem, in veliko truda je bilo potrebnega za izdelavo tega projekta, ki zdaj lahko služi kot osnova za nadaljnji razvoj orodja oziroma stroja za razširjanje tankostenskih cevi.

## 6 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] Pahole Ivo. *Izsekovalna orodja* (2010), Fakulteta za strojništvo Maribor.
- [2] Pahole Ivo, Gusel Leo. *Preoblikovanje pločevine – globoki vlek* (2010), Fakulteta za strojništvo Maribor.
- [3] Bogojawlenskij Konstantin, Neubauer Adolf, Ris Viktor. *Technologie der Fertigung von Leichtbau-profilen* (1978), VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- [4] Čuš Franci. *Visokohitrostno rezanje in posebni postopki obdelav* (2004), Fakulteta za strojništvo Maribor.
- [5] Kraut Bojan. *Krautov strojniški priročnik*, 14. slovenska izdaja / izdajo pripravila Jože Puhar, Jože Stropnik. Ljubljana: Littera picta, 2007.
- [6] *Strojnotehnološki priročnik*, 7. izdaja. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1998.
- [7] Glavič Peter. Mednarodni standardi Veličine in enote. *Acta Chimica Slovenica* (2003), vol 50, Supplement, str. S80-S93.
- [8] SIST ISO 31-0 do 31-13. *Veličine in enote*. SIST, Ljubljana, 2003.

## **7 PRILOGE**



	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

**Fakulteta za strojništvo Maribor**

MATERIAL:

IME RISBE

**Nosilec**

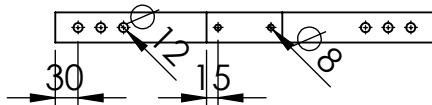
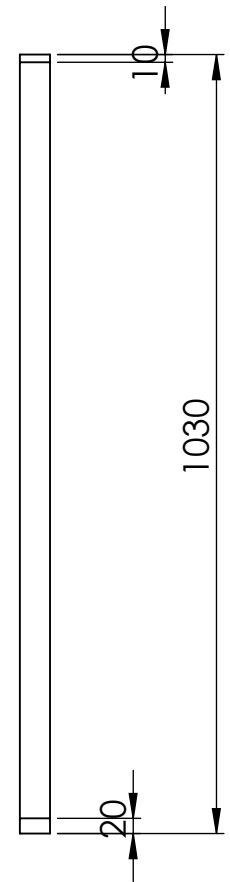
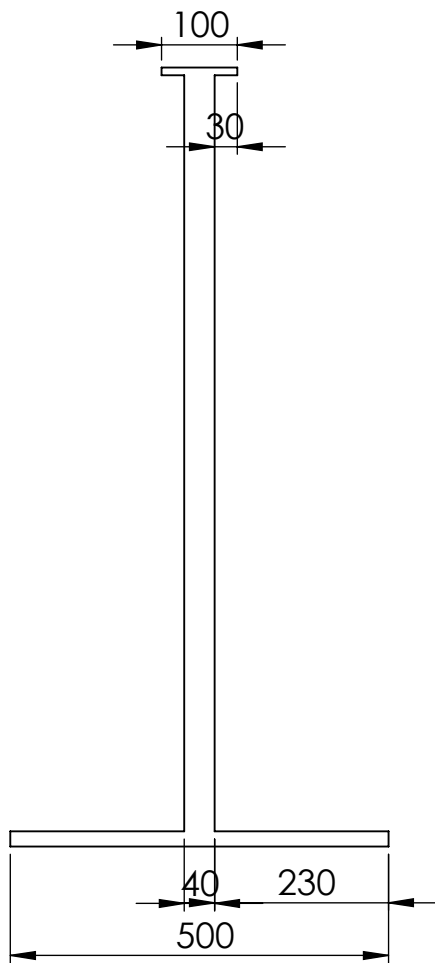
FORMAT:

**A3**

TEŽA

MERILO: 1:25

STRAN 1 OF 1



	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

## Fakulteta za strojništvo Maribor

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

MATERIAL:

IME RISBE

Nosilec\_noga

FORMAT:

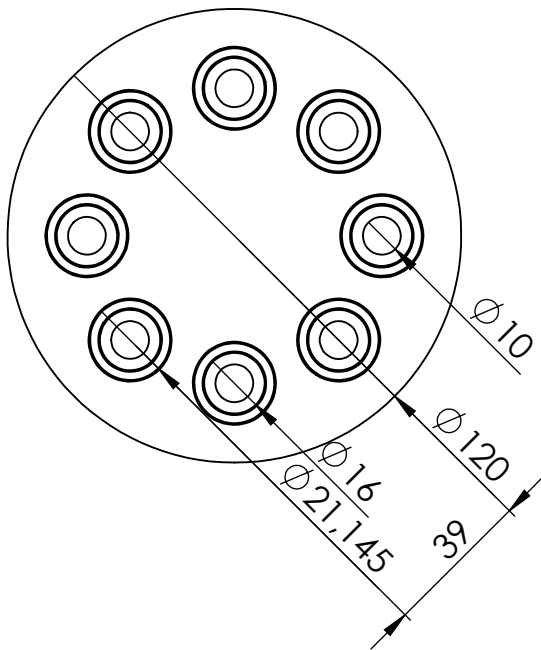
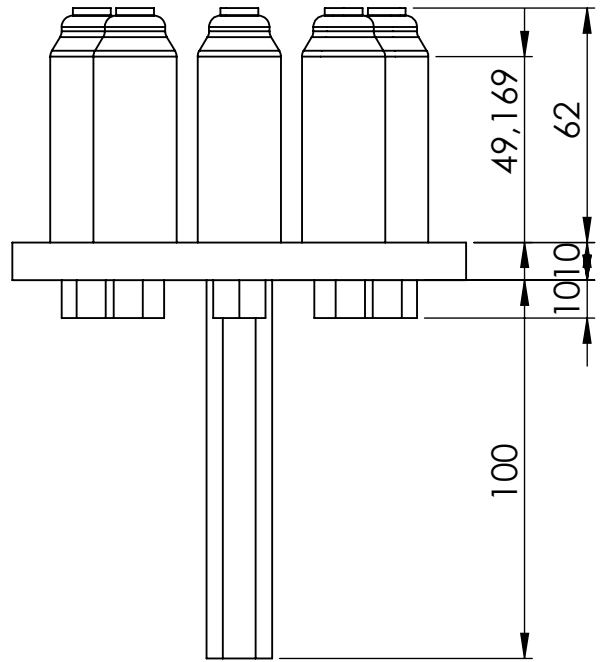
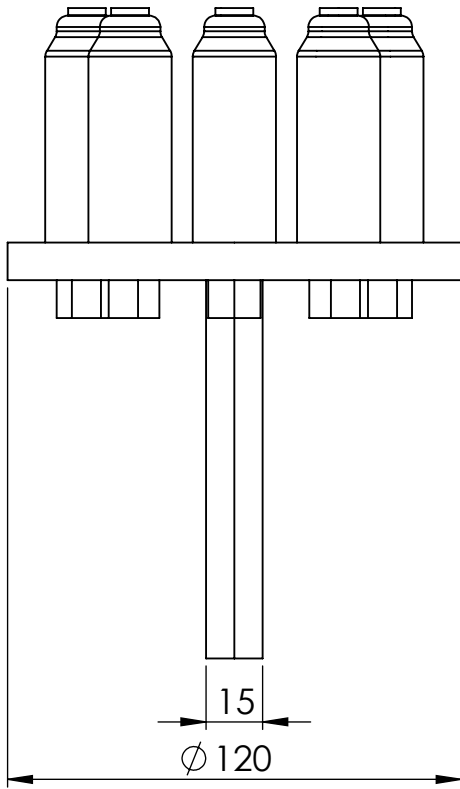
A4

TEŽA

MERILO: 1:1

STRAN 1 OF 1





	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

**Fakulteta za strojništvo Maribor**

MATERIAL:

IME RISBE

**Orodje\_za\_razsirjanje**

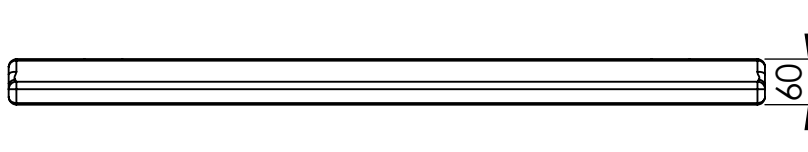
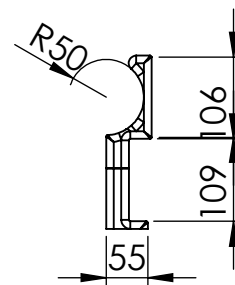
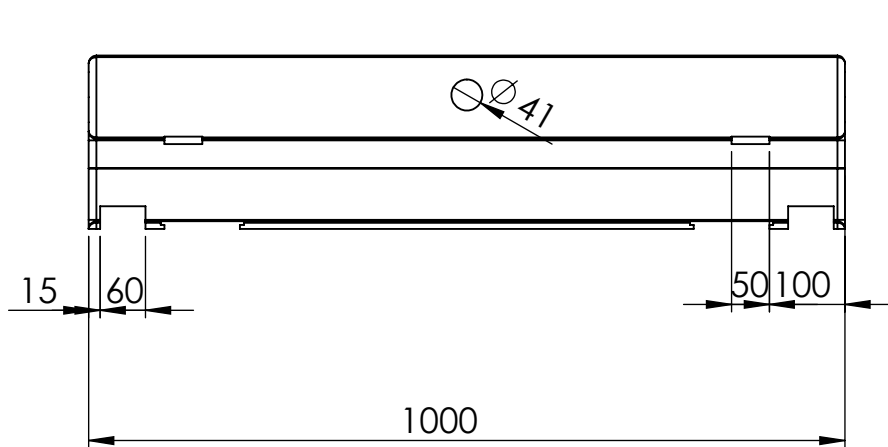
FORMAT:

A4

TEŽA

MERILO: 1:1

STRAN 1 OF 1



	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

**Fakulteta za strojništvo Maribor**

MATERIAL:

IME RISBE

Prijemalo\_cevi\_100

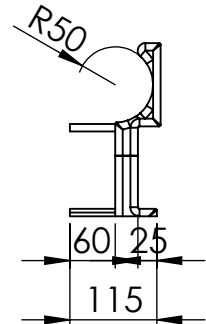
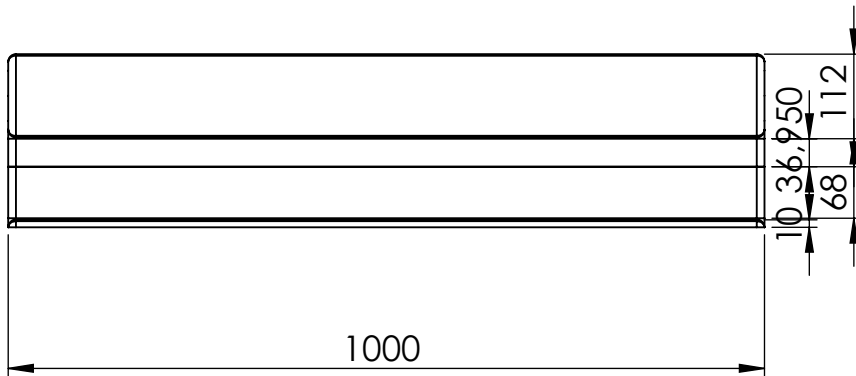
FORMAT:

A4

TEŽA

MERILO: 1:1

STRAN 1 OF 1



	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

**Fakulteta za strojništvo Maribor**

MATERIAL:

IME RISBE

**Prijemalo cevi**

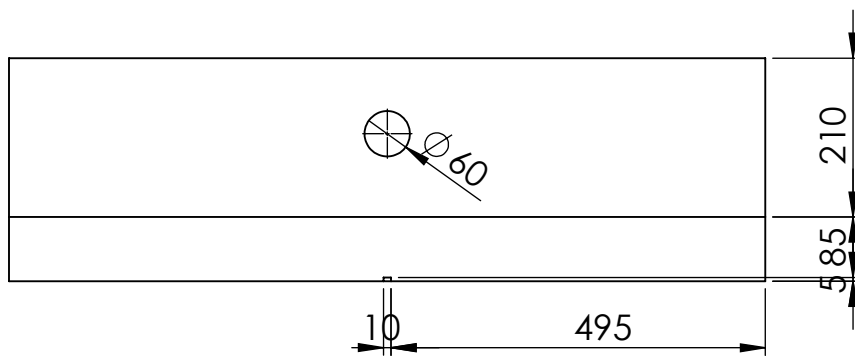
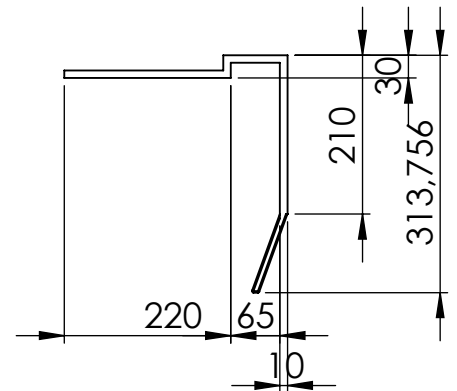
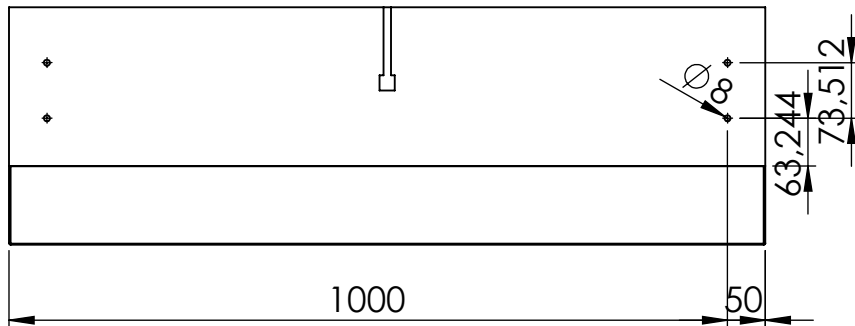
FORMAT:

A4

TEŽA

MERILO: 1:1

STRAN 1 OF 1



	IME	DATUM
RISAL	DENIS KRAJNC	23.8.2013
PREGLEDAL		
KONTORLIRAL		

## Fakulteta za strojništvo Maribor

**MEHATRONIKA MAG**

Šolsko leto 2012/2013

MATERIAL:

IME RISBE

Vozicek\_osnova

FORMAT:

A4

TEŽA

MERILO: 1: 10

STRAN 1 OF 1

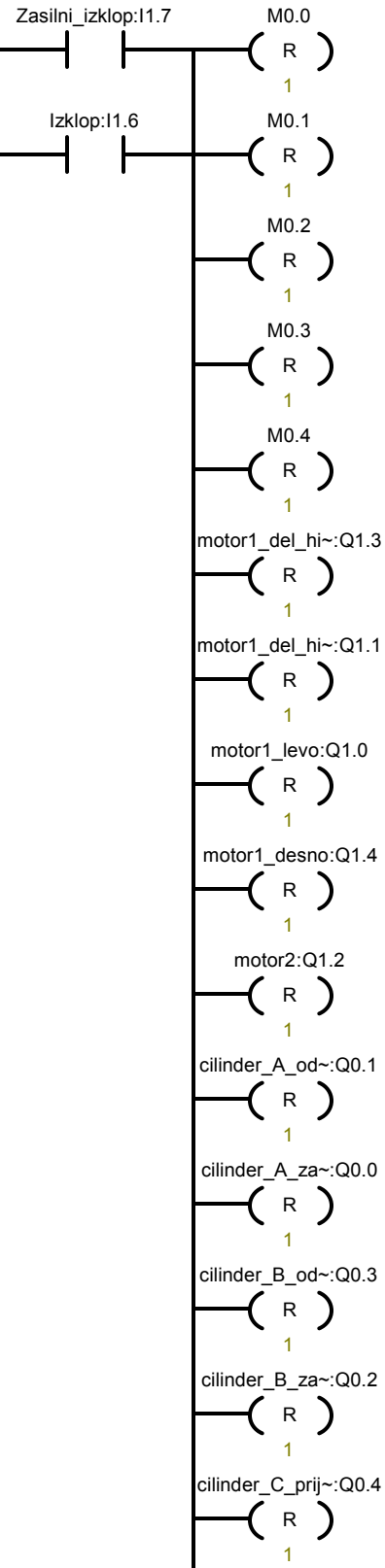
Block: MAIN  
Author:  
Created: 06/10/2013 08:07:33 am  
Last Modified: 06/11/2013 10:53:20 am

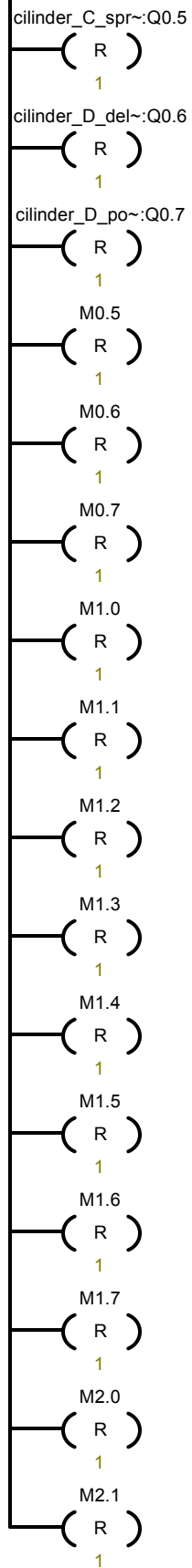
Symbol	Var Type	Data Type	Comment
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		

PROGRAM COMMENTS

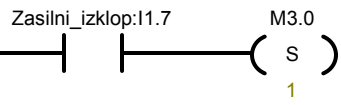
**Network 1**      Network Title

Network Comment

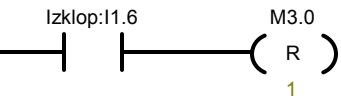




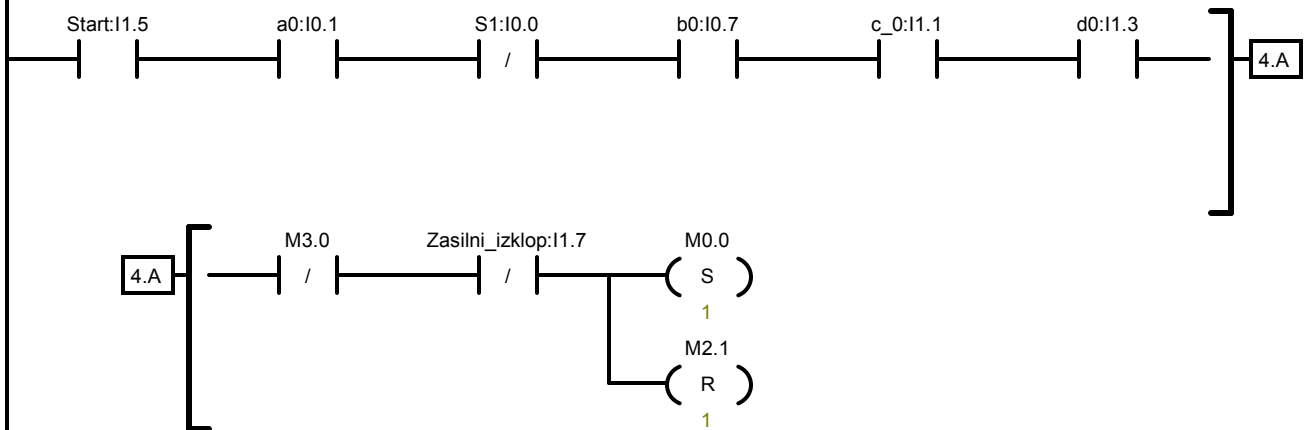
**Network 2**



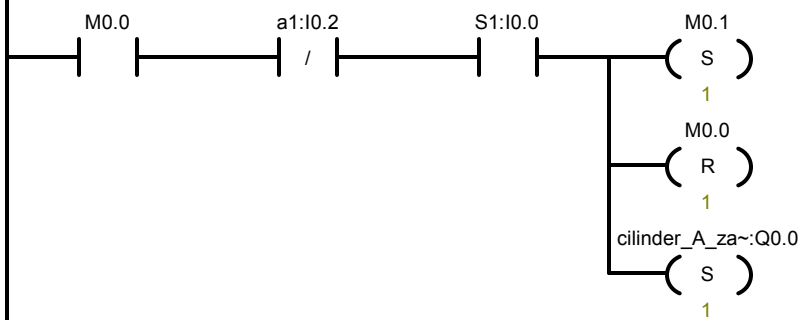
**Network 3**



**Network 4**

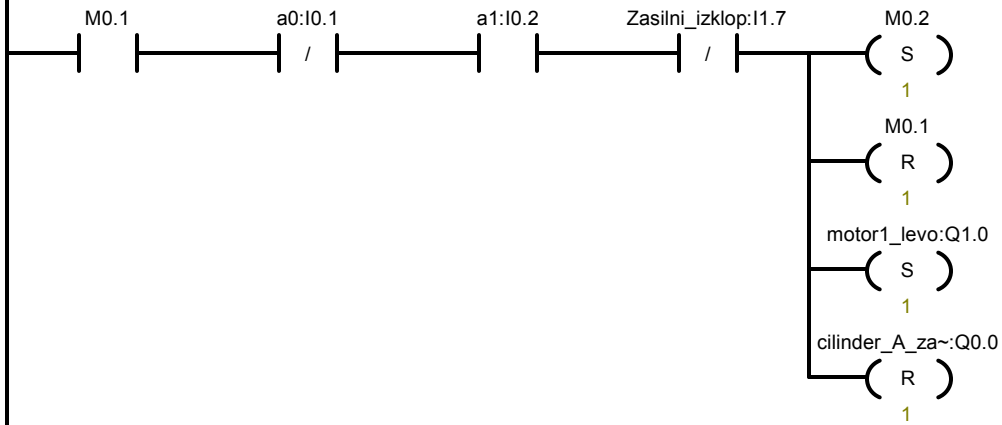


**Network 5**

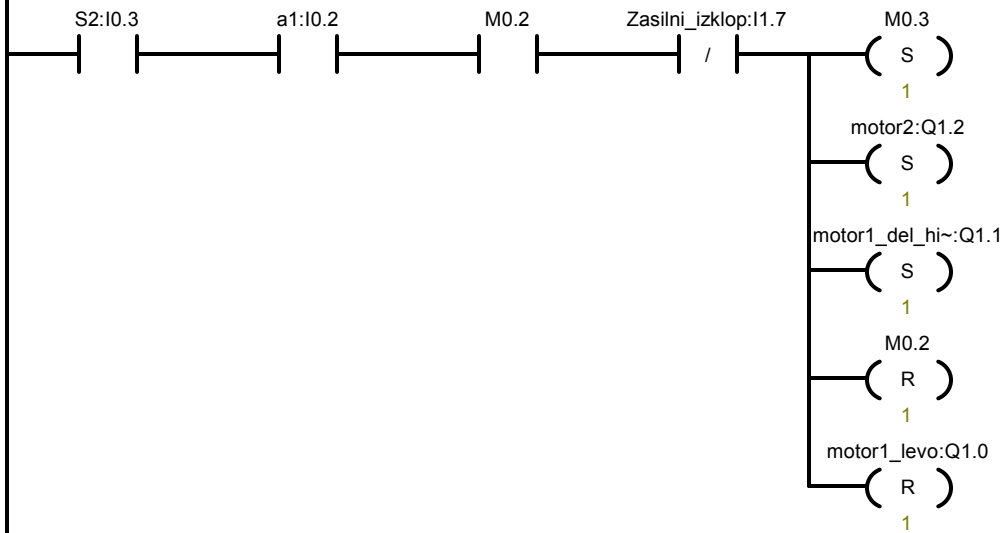




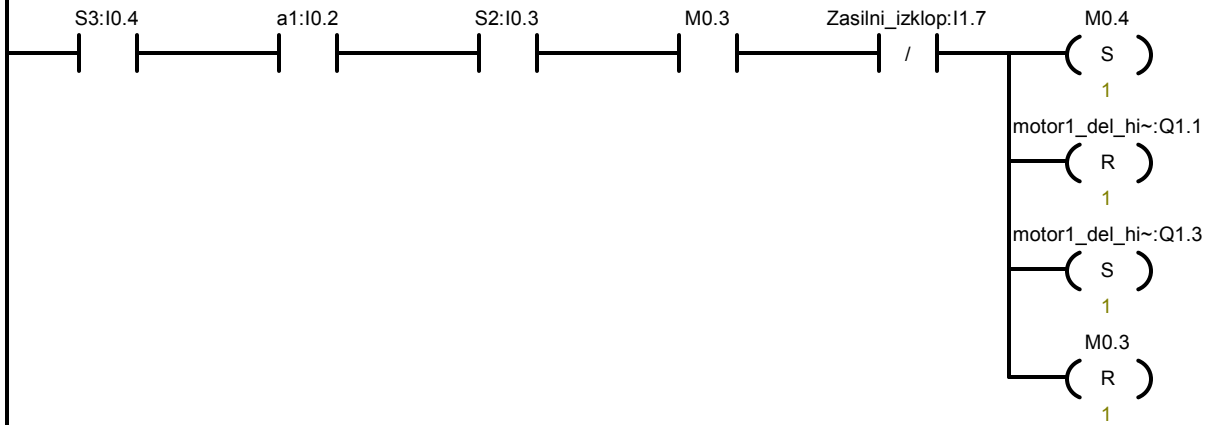
**Network 6**



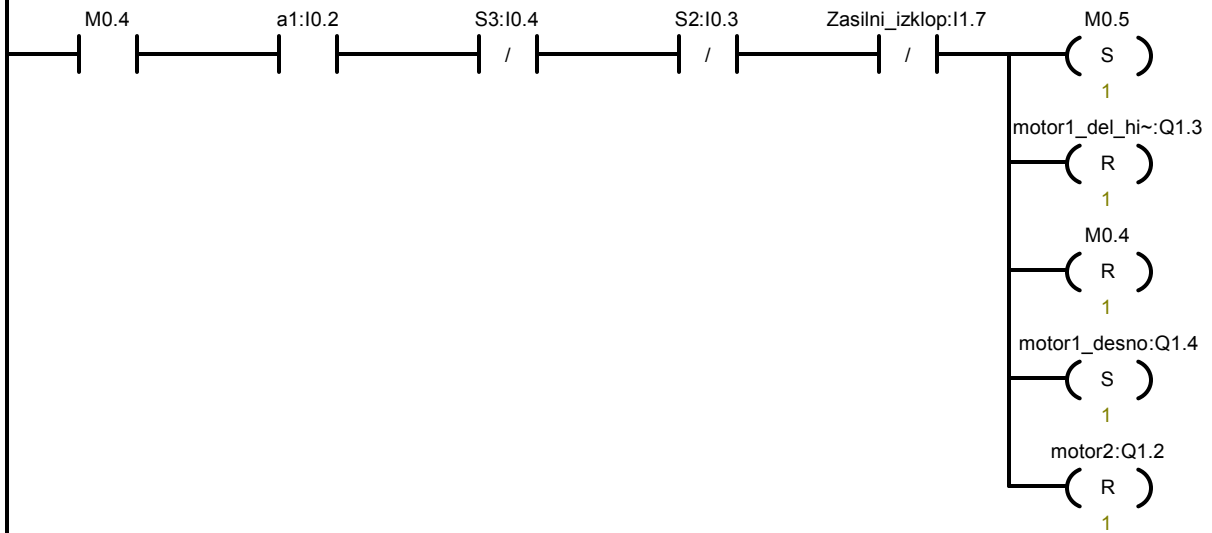
**Network 7**



**Network 8**



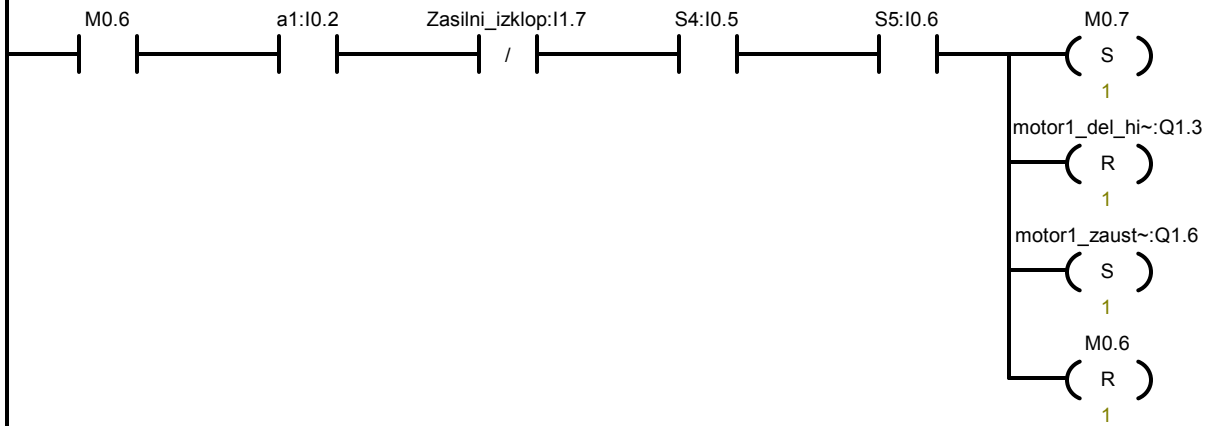
**Network 9**



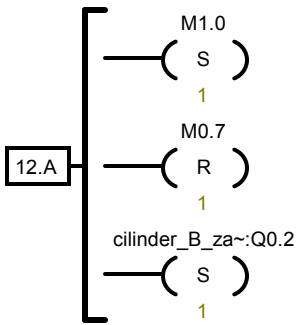
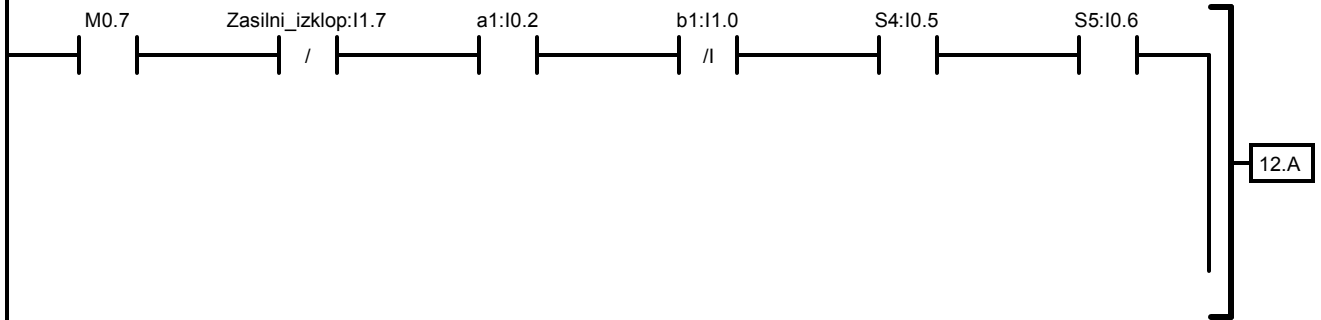
**Network 10**



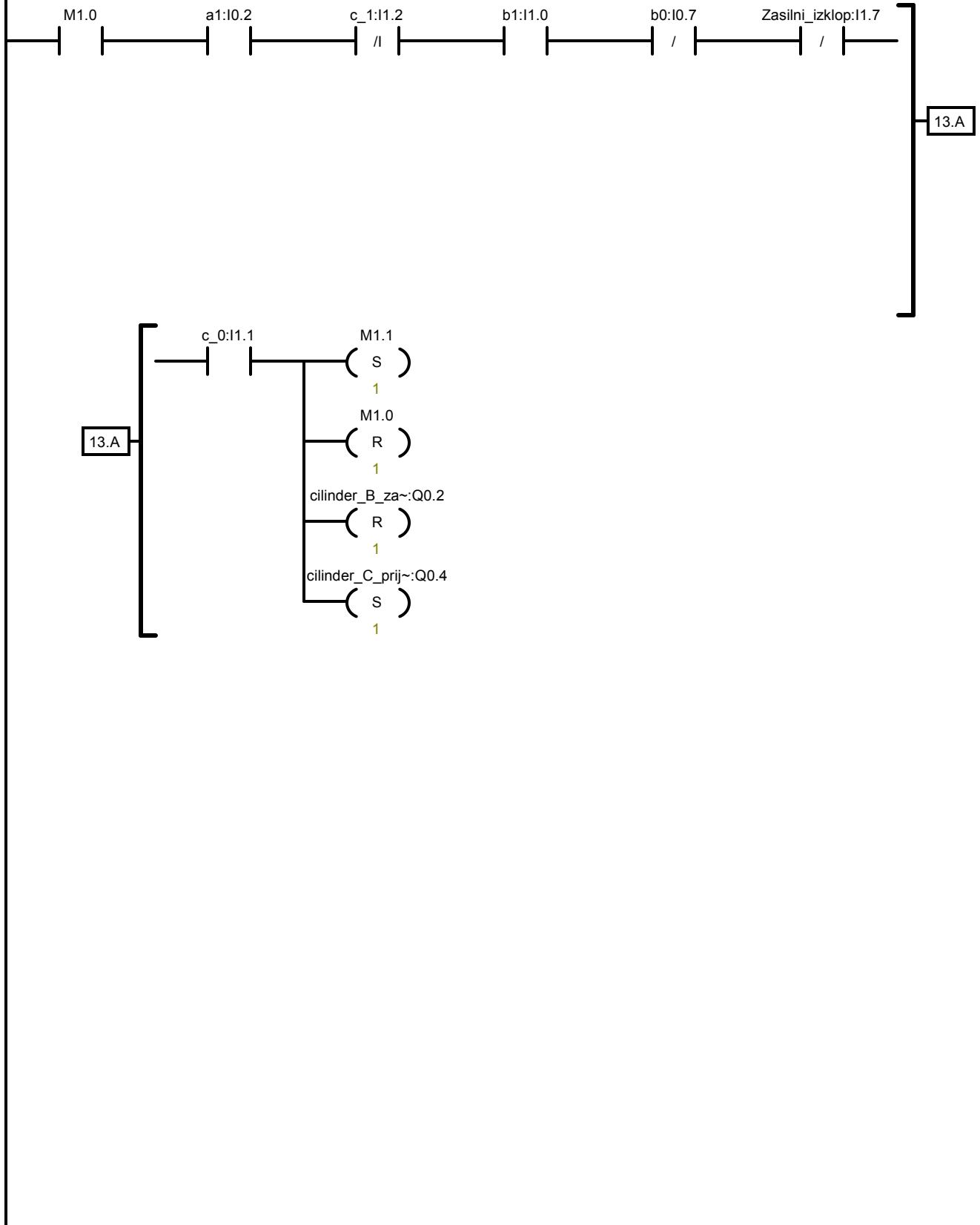
**Network 11**



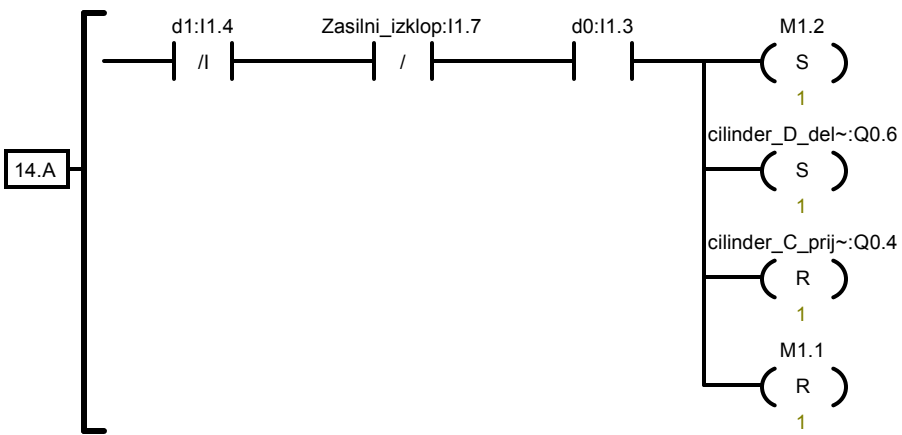
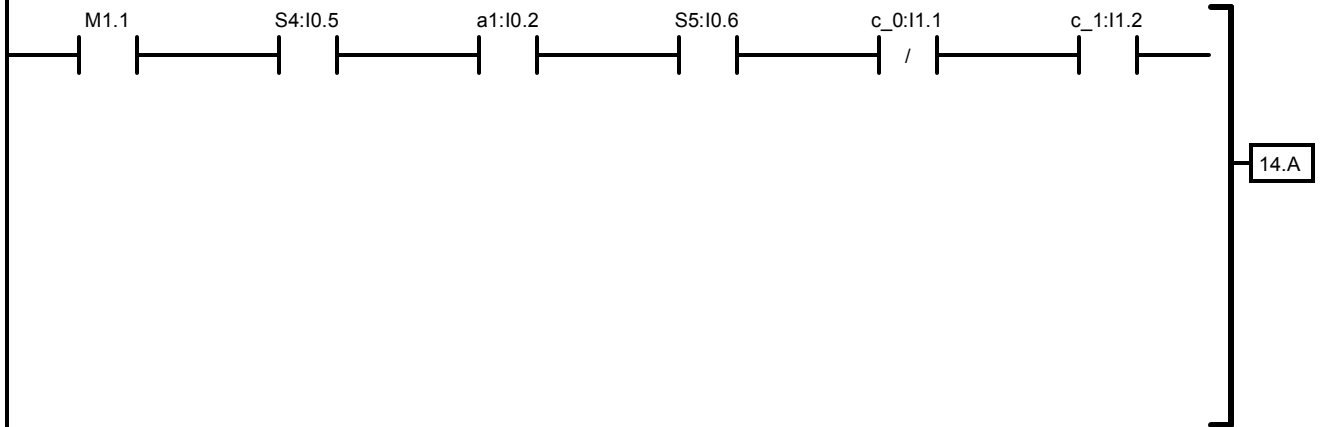
Network 12



Network 13



**Network 14**

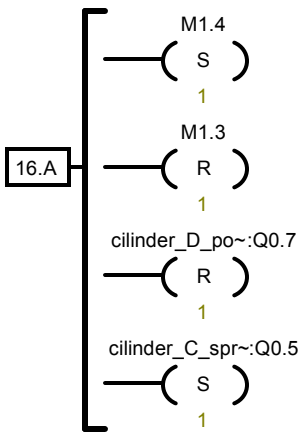
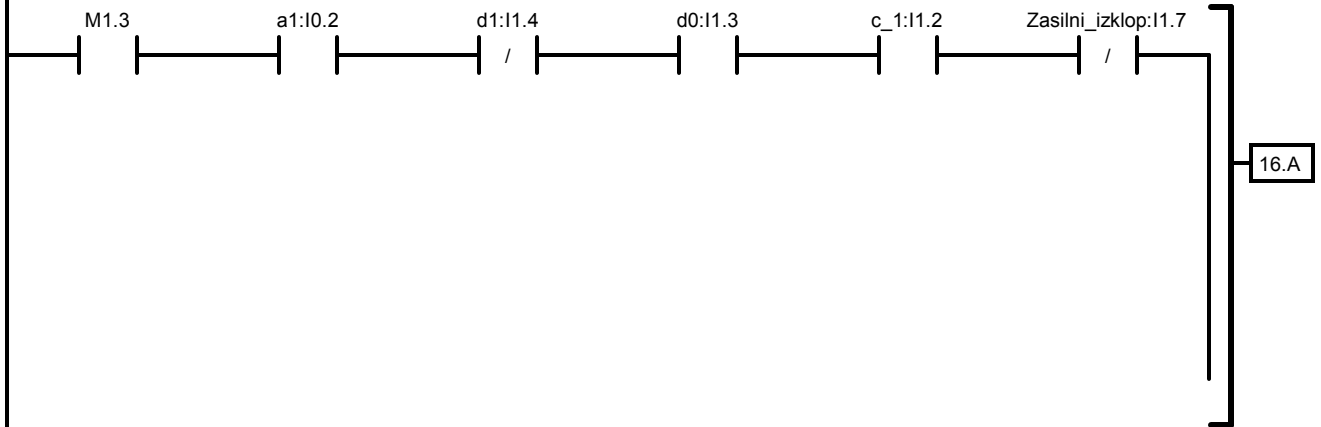


**Network 15**

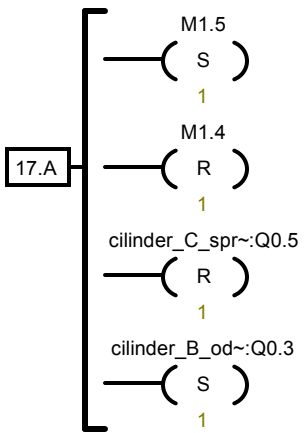
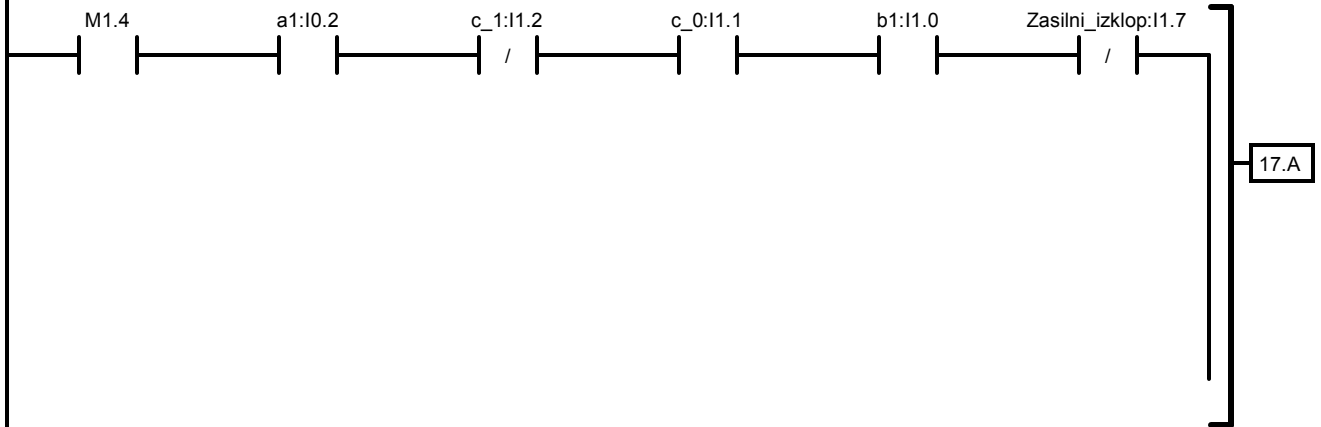




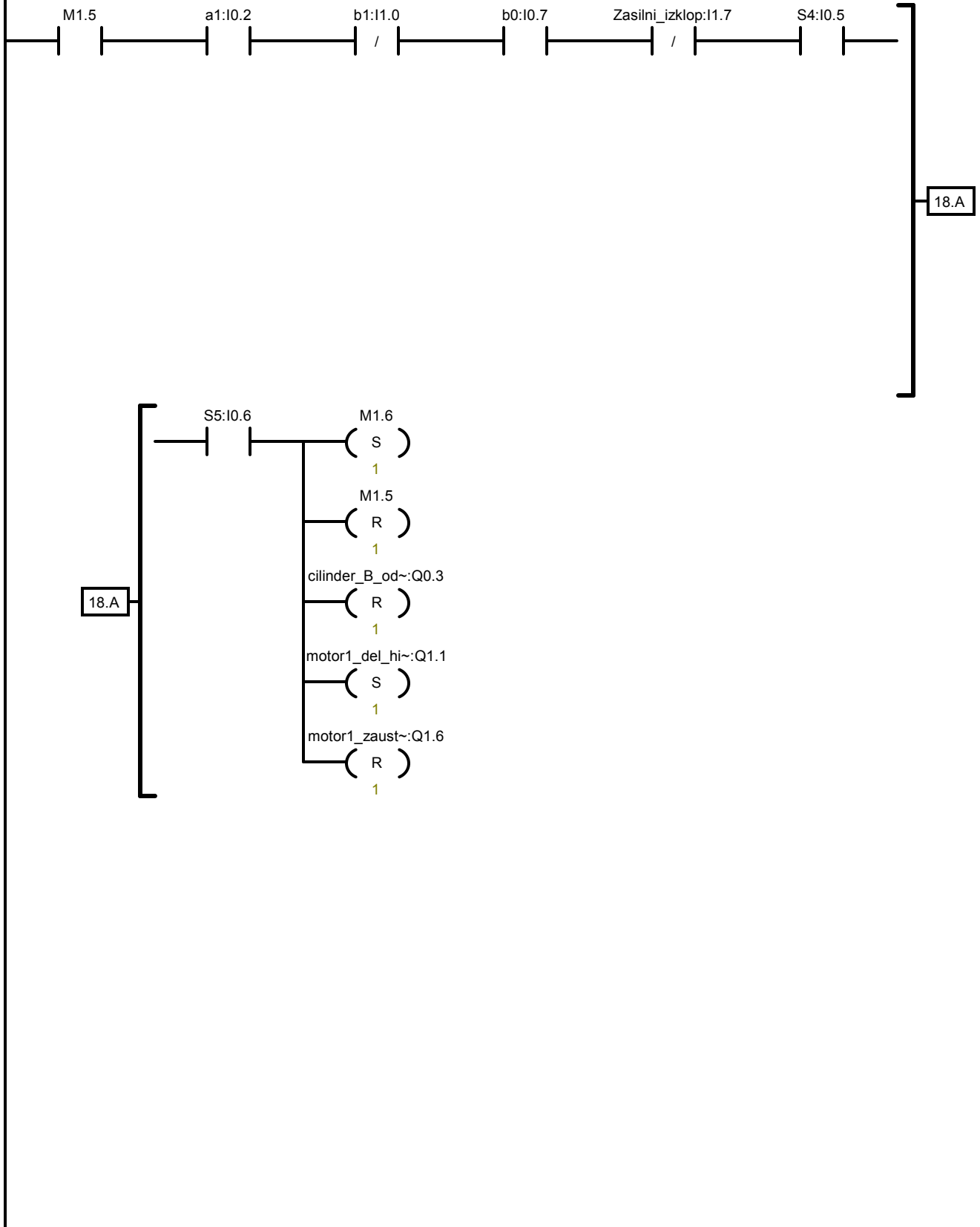
Network 16



Network 17



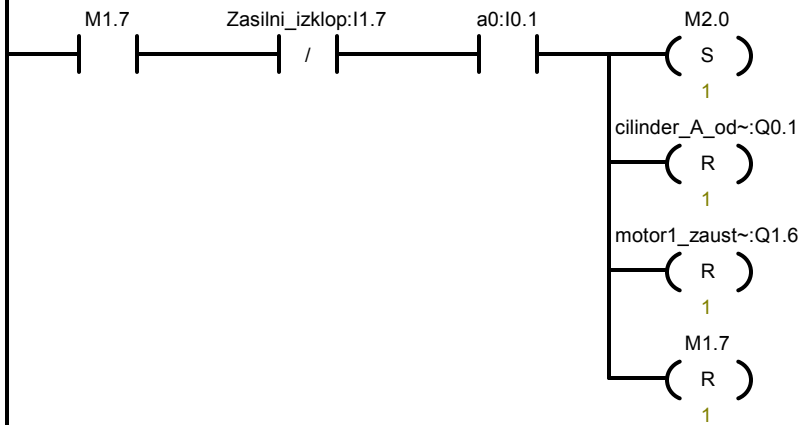
Network 18



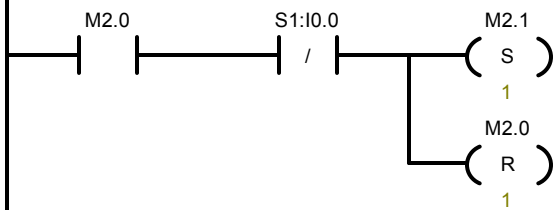
**Network 19**



**Network 20**



**Network 21**



Block: SBR\_0  
Author:  
Created: 06/10/2013 08:07:33 am  
Last Modified: 06/10/2013 08:18:16 am

Symbol	Var Type	Data Type	Comment
EN	IN	BOOL	
	IN		
	IN_OUT		
	OUT		
	TEMP		

SUBROUTINE COMMENTS  
**Network 1**      Network Title  
Network Comment



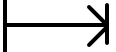
Block: INT\_0  
Author:  
Created: 06/10/2013 08:07:33 am  
Last Modified: 06/10/2013 08:18:16 am

Symbol	Var Type	Data Type	Comment
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		

INTERRUPT ROUTINE COMMENTS

**Network 1**      Network Title

Network Comment



## DELOVNI ŽIVLJENJEPIS

Sem Denis Krajnc, rojen 10.3. 1988, materi Sonji in očetu Srečku. Rodil sem se na Ptuju, kjer sem tudi uspešno zaključil najprej šolanje na Osnovni šoli Olge Meglič, nato pa še na Gimnaziji Ptuj, potem pa sem se vpisal v interdisciplinarni bolonjski program Mehatronike na Fakulteti za strojništvo ter Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. Leta 2011 sem tam uspešno zagovarjal diplomsko delo 1. stopnje z naslovom "Sistem za regulacijo rezalnih sil pri visokohitrostnem frezanju" ter se nato vpisal na 2. stopnjo Mehatronike kot štipendist Gorenja. Po končanem 1. letniku 2. stopnje sem se udeležil tudi poletne šole v Španiji "Technologies for remote control" na temo nanorobotike. Zanima me predvsem 3D modeliranje in oblikovanje, npr. v programih SolidWorks, Catia ..., imam pa tudi osnove v programih Matlab in Labview ter v programiranju v programskih jezikih PHP, HTML, Joomla, C++. Govorim tekoče angleško, pogovorno pa tudi nemški in hrvaški jezik.



UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

**IZJAVA MAGISTRSKEGA KANDIDATA**

Podpisani DEVIS KRAJNC vpisna številka M5001020

**izjavljam,**

da je magistrsko delo z naslovom: STROJ ZA RAŽŠIRJANJE  
TANKOSTENSKIH CEVI

- rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze,
- da so rezultati korektno navedeni in
- da nisem kršil-a avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih.

Maribor, 4.9.2013

Podpis: 