

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

AVTOMATSKA HIDRAVLIČNA NAPRAVA ZA KRIVLJENJE CEVI

Tematsko področje: Interdisciplinarno (elektronika, strojništvo)

Avtorji:

Luka Hergold, 3.letnik

Jaka Vitko, 3.letnik

David Vajdec, 3.letnik

Mentor:

Rajko Brodej, inž.

Somentor:

Uroš Remenih, inž. inf.

Velenje, 2017

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Elektro in računalniški šoli, 2017

Mentor: Rajko Brodej, inž.

Somentor: Uroš Remenih, inž., inf.

Datum predavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD ŠC Velenje, šolsko leto 2016/2017

KG Krivljenje / cevi / avtomatika / hidravlika / elektronika / strojništvo

AV HERGOLD, Luka / VITKO, Jaka / VAJDEC, David

SA BRODEJ, Rajko / REMENIH, Uroš

KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017

LI 2017

IN **AVTOMATSKA HIDRAVLIČNA NAPRAVA ZA KRIVLJENJE CEVI**

TD Raziskovalna naloga

OP VII, 51 str., 45 sl., 11 pril., 15 vir.

IJ SL

JI sl/en

AI Kot mladi raziskovalci, ki nas zanimajo različna področja tehnologije, smo se odločili izdelati avtomatsko napravo za krivljenje cevi, ki bi bila enostavna za uporabo, dosegljiva vsem uporabnikom in dovolj natančna za uporabo v industriji. Avtomatske naprave, ki bi delovale na podoben način še ni zaznati na prodajnem trgu, izjema pa so industrijske CNC naprave namenjene za masovno proizvodnjo. To je bil eden od glavnih razlogov, da smo to področje raziskali. Nalogo smo si razdelili na 3 dele. Najprej smo raziskali vrste naprav, izbrali najustreznejšo in izdelali strojni del. Potem smo se lotili hidravlike, ki je pogonski sistem naše naprave ter s pomočjo mikrokrmilnika naredili krmiljenje enostavno za uporabo. Na koncu pa smo naredili primerjavo med našim tipom krivilne naprave, ki cev vleče ter tipom krivilne naprave, ki cev potiska. Poleg tega nas je zanimala tudi natančnost samega krivljenja. Pri raziskovanju delovanja in krmiljenja smo naleteli na veliko ovir. To pa je bil razlog, da smo se še bolj poglobili v samo raziskavo in se iz tega veliko naučili.

KEY WORD DOCUMENTATION

ND ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017

CX Bending / tube / automatics / hydraulics / electronics / mechanical engineering

AU HERGOLD, Luka / VITKO, Jaka / VAJDEC, David

AA BRODEJ, Rajko / REMENIH, Uroš

PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB ŠC Velenje, Elektro in računalniška šola, 2017

PY 2017

TI **AUTOMATIC HYDRAULIC TUBE BENDING MACHINE**

DT Research work

NO VII, 51 p., 45 fig., 11 ann., 15 ref.

LA SL

AL sl/en

AB As young researchers, interested in different fields of technology, we have decided to make an automatic tube bending machine, which would be easy to use, accessible to all users and precise enough to use in industry. Automatic devices, which would work similarly, have not yet been seen on the market, with the exception of industrial CNC machines meant for mass production. This was one of the main reasons for us to look into this field. We have divided our research into three parts. First, we searched for the types of devices that exist, chose the most suitable one and constructed the mechanical part. Then we went on with hydraulics which is the drive system of our machine and with the help of a microcontroller, we made controlling easy to use. At last, we made a comparison between our machine which pulls the tube while bending it and a machine that pushes the tube while bending. Atop all that, we were interested in the precision of bending. While researching how the machine works and how to control it, we fell upon many obstacles. That was the reason for us to look even deeper into our research and while doing that, we have learned a lot of new and useful things.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Hipoteze	1
2	PREGLED STANJA TEHNIKE	2
2.1	Kaj je krivljenje cevi	2
2.2	Geometrija	2
2.3	Krivljenje nerjavečega jekla	5
2.4	Proces krivljenja	5
2.5	Načini krivljenja	6
2.5.1	Krivljenje tanjših cevi	6
2.5.2	Krivljenje s stiskanjem	7
2.5.3	Rotacijsko krivljenje z vlečenjem	8
2.5.4	CNC krivljenje cevi	9
2.5.5	Valjasto krivljenje cevi	10
2.5.6	Krivljenje z uporabo polnil	11
3	METODE DELA	12
3.1	Pregled strojnega dela	12
3.1.1	Stojalo	12
3.1.2	Podporne roke	14
3.1.3	Upogibno kolo	15
3.1.4	Vodilo	17
3.1.5	Objemka	18
3.1.6	Puše	19
3.1.7	Zatiči	20
3.2	Hidravlika	21
3.2.1	Potni ventil	21
3.2.2	Ventil za nastavljanje hitrosti	22
3.2.3	Varnostni ventil	22
3.2.4	Hidravlični valj (cilinder)	23
3.2.5	Hidravlični blok (priključna ploščica)	24
3.2.6	Vezava hidravličnih komponent	25
3.3	Pregled elektronskega dela	28

3.3.1	Arduino	28
3.3.2	Arduino Nano.....	28
3.3.3	Potenciometer	29
3.3.4	Rele in kontaktor.....	30
3.3.5	LCD zaslon	32
3.3.6	Napajalnik Epson M159A.....	33
3.3.7	Regulator napetosti LM2596 DC – DC	34
3.3.8	Tiskano vezje	34
3.3.9	Vezava elektronskih komponent.....	35
4	REZULTATI IN RAZPRAVA.....	37
5	ZAKLJUČEK	44
6	ZAHVALE.....	45
7	VIRI IN LITERATURA.....	46
8	PRILOGE.....	47
8.1	Priloge programa.....	50

Kazalo slik

Slika 1:	Oblika cevi med krivljenjem Vir [2]	3
Slika 2:	Izračun dolžine cevi za krivljenje Vir [3].....	4
Slika 3:	Ročna naprava za krivljenje cevi Vir [4].....	6
Slika 4:	Ročna hidravlična naprava za krivljenje s potiskanjem Vir [5]	7
Slika 5:	Ročna naprava za krivljenje cevi z vlečenjem Vir [6].....	8
Slika 6:	CNC krivljenje cevi Vir [6]	9
Slika 7:	Valjasto krivljenje cevi Vir [7].....	10
Slika 8:	Krivljenje cevi v primežu s pomočjo polnil Vir:[5]	11
Slika 9:	Prikovičen poden na ogrodje (Foto: L. Hergold)	12
Slika 10:	Privarjena ploščica na ogrodje (Foto: L. Hergold).....	13
Slika 11:	Pritrjena kolesa na ogrodje (Foto: L. Hergold).....	13
Slika 12:	Podporne roke 1 (Foto: L. Hergold)	14
Slika 13:	Podporne roke 2 (Foto: L. Hergold).....	14

Slika 14: Vrtanje lukenj v upogibno kolo (Foto: L. Hergold)	15
Slika 15: Privarjene plošče in kvader na upogibno kolo (Foto: L. Hergold).....	16
Slika 16: Vodilo vpeto med podporne roke (Foto: L. Hergold)	17
Slika 17: Objemka (Foto: D. Vajdec)	18
Slika 18: Pet puš, dve sta drsno uležajeni (Foto: J. Vitko)	19
Slika 19: Štirje zatiči (Foto: L. Hergold)	20
Slika 20: 4/3 potni ventil (Foto: D. Vajdec)	21
Slika 21: Ventil za nastavljanje hitrosti (Foto: D. Vajdec) Vir:[8].....	22
Slika 22: Varnostni ventil (Foto: D. Vajdec) Vir [9].....	23
Slika 23: Simbol hidravličnega cilindra Vir [10].....	23
Slika 24: Hidravlični cilindri vpet med podporne roke (Foto: L. Hergold)	24
Slika 25: Hidravlična priključna ploščica narisana v programu Creo (Foto: D. Vajdec)	25
Slika 26: Komponente vezane v agregatu (Foto: D. Vajdec)	26
Slika 27: Komponente hidravličnega krmilja (Foto: D. Vajdec).....	27
Slika 28: Hidravlična vezava narisana v FluidSim (Foto: D. Vajdec).....	27
Slika 29: Mikrokrmilnik Arduino Nano Vir:[12]	29
Slika 30: Potenciometer (plastična izvedba) (Foto: J. Vitko)	30
Slika 31: Kontaktor iskra (Foto: J. Vitko)	31
Slika 32: Relejska ploščica s 5 V releji (Foto: J. Vitko).....	31
Slika 33: LCD zaslon (Foto: J. Vitko)	32
Slika 34: Napajalnik Epson M159A (Foto: J. Vitko)	33
Slika 35: Regulator napetosti LM2596 DC – DC (Foto: J. Vitko)	34
Slika 36: Izdelovanje tiskanega vezja (Foto: D. Vajdec).....	35
Slika 37: Celotno vezje v škatli (Foto: J. Vitko).....	36
Slika 38: Staro vezje (Foto: J. Vitko).....	38
Slika 39: Zaslon pri ročnem načinu krmiljenja (Foto: J. Vitko)	39
Slika 40: Zaslon pri avtomatskem krivljenju (Foto: J. Vitko)	39
Slika 41: Naprava za krivljenjem s potiskanjem (Foto: L. Hergold).....	40
Slika 42: Krivljenje brez deformacij (Foto: J. Vitko)	41
Slika 43: Oblike cevi po deformacijah (ustrezna, premajhna in prevelika cev) (Foto: D. Vajdec).....	42
Slika 44: Deformacija cevi zaradi premajhnega premera (Foto: D. Vajdec).....	43
Slika 45: Končni izdelek (Foto: D. Vajdec).....	43

Kazalo enačb

Enačba 1: Izračun stenskega faktorja Vir [1].....	3
Enačba 2: Izračun polmera krivljenja Vir [1]	3
Enačba 3: Izračun dolžine cevi za krivljenje Vir [3]	4

Kazalo prilog

Priloga 1: Tehniška risba podpornih rok Vir: [15].....	47
Priloga 2: Tehniška risba podpornih rok Vir: [15].....	47
Priloga 4: Tehniška risba objemke Vir: Lasten.....	48
Priloga 3: Tehniška risba vodila Vir: Lasten	48
Priloga 5: Tehniška risba puš Vir: Lasten.....	48
Priloga 6: Tehniška risba zatičev Vir: Lasten.....	48
Priloga 7: Tehniška risba upogibnega kolesa Vir: [15]	49
Priloga 8: 3D izris naprave za krivljenje cevi Vir: Lasten.....	49
Priloga 9: Seznam uporabljenih knjižnic in spremenljivk Vir: Lasten	50
Priloga 10: Ročno krmiljenje Vir: Lasten.....	50
Priloga 11: Avtomatsko krmiljenje Vir: Lasten.....	51

Kazalo kratic

DC – angl. Direct current, enosmerni tok

AC – angl. Alternating current, izmenični tok

MAG – (M - metal, A - activ, G - gass) pomeni varjenje pri katerem je elektroda neoplaščena, plin za zaščito pa je aktivni plin CO₂

V – angl. Voltage, je enota za merjenje električne napetosti

A – angl. Amper, je enota za merjenje električnega toka

1 UVOD

S krivljenjem se vsak dan srečujemo na tak ali drugačen način tudi doma, kjer nas obdajajo različne inštalacije, kot so vodovodne in električne, pri katerih je krivljenje osnova. Tudi balkonske ograje, različni nadstreški ali pa preprosto kljuke so stvari, ki jih uporabljamo in se z njimi srečujemo vsak dan, vendar se ne zavedamo, da jih je bilo potrebno ukriviti. Prav tako se v arhitekturi in gradbeništvu s pomočjo krivljenja trših kovin izdelujejo različni profili potrebni za neko konstrukcijo. V umetnosti pa je prisotno krivljenje mehkejših materialov in zlitin iz katerih so izdelani različni instrumenti največkrat trobila, ki so iz mehkejših in lažjih materialov ter se jih lahko bolje oblikuje njihova struktura pa se ne spremeni.

Namen raziskovalne naloge je bil izdelati avtomatsko hidravlično napravo za krivljenje cevi, ki je preprosta za uporabo, namenjena tako domači kot tudi industrijski uporabi in omogoča krivljenje brez deformacij. Bistvo naše naprave je natančnost, zato smo si izbrali proces krivljenja z vlečenjem pri čemer cev vlečemo okoli upogibnega kolesa za določen kot. Naprava bi s tem omogočala tudi izdelovanje več enakih kosov, ki jih lahko kasneje uporabimo v želeni konstrukciji. Napravo smo želeli izdelati s čim manj stroški, v šoli pa smo imeli na voljo nekaj komponent, ki smo jih lahko že takoj vključili v sam projekt.

1.1 Hipoteze

Na začetku raziskovanja smo si postavili naslednje hipoteze:

- Možna je izdelava naprave, ki je enostavna za uporabo.
- Krivljenje z napravo, ki cev vleče je hitrejše in natančnejše od naprave, ki cev potiska.
- Pri krivljenju cevi ne pride do deformacije v krivini.
- Brez deformacij lahko krivimo več različnih cevi z istim upogibnim kolesom.

2 PREGLED STANJA TEHNIKE

2.1 Kaj je krivljenje cevi

Najprej je bilo potrebno dobro raziskati postopek krivljenja cevi, saj smo s tem dobili potrebno znanje, ki nam je koristilo pri konstruiranju naprave.

Krivljenje cevi je izraz za postopek trajnega oblikovanja ali preoblikovanja kovinskih cevi, brez odvzemanja materiala, pri katerem lahko ravno cev ukrivimo za določen kot ali pa jo spremenimo v zapleteno obliko, ki je potrebna za končni izdelek. To je eden izmed osnovnih postopkov obdelave kovin v ključavničarskih obratih oziroma v proizvodnji kovinskih izdelkov. Na splošno krivimo okrogle cevi, lahko pa tudi kvadratne, pravokotne ali elipsaste cevi. Pri krivljenju moramo poleg oblike upoštevati tudi debelino in vrsto materiala, saj pri krivljenju pride do tlaka na notranji strani cevi, na zunanji strani pa pride do raztezanja. Brez ustreznih postopkov pri preoblikovanju lahko pride do zmanjšanja preseka in pregiba cevi. Postopek krivljenja cevi se uporablja na primer za oblikovanje izpušnih cevi, oprijemal, avtomobilskih kletk, kljuk in okvirjev.

2.2 Geometrija

Cevi se lahko krivijo v več smeri in pod različnimi koti. Najbolj znani načini krivljenja so kolenasto krivljenje, pri katerem cev ukrivimo do 90 stopinj in krivljenje v obliki črke U, pri katerem pa jo lahko ukrivimo do 180 stopinj. Bolj zapletene geometrijske oblike zajemajo dvodimenzionalno krivljenje, ki poteka po samo eni ravnini in prav tako tudi tridimenzionalno krivljenje, ki zahteva krivljenje na večih ravninah.

Eden izmed stranskih učinkov krivljenja cevi je debelina, saj se stena v notranjem delu krivine odebeli in skrči, na zunanjem delu pa se stanjša in utrdi.

Cilj krivljenja cevi je dobiti gladko, nepoškodovano, zakrivljeno cev za določen kot. Pri debelo stenskih ceveh, ki jih krivimo pod velikimi koti ni težav. Če pa želimo ugotoviti ali je naša cev glede na svoj premer debelo ali tankostenska uporabimo stenski faktor.

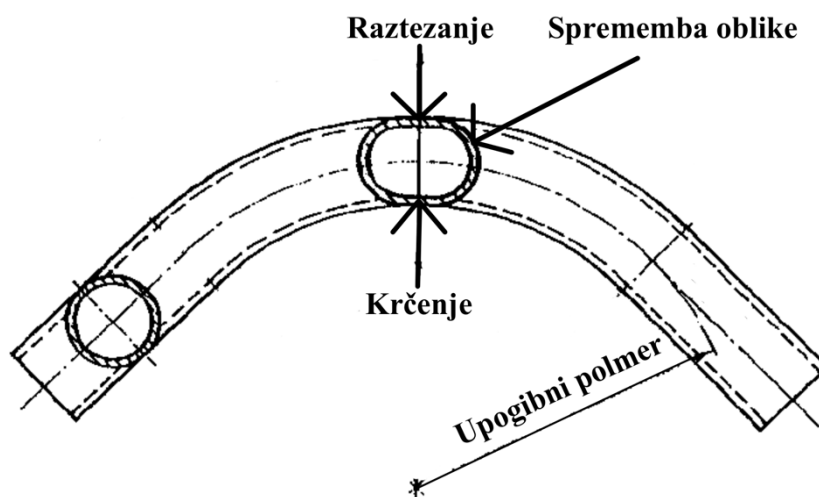
$$\text{Stenski faktor} = \frac{\text{Zunanji premer cevi}}{\text{Debelina stene}}$$

Enačba 1: Izračun stenskega faktorja Vir [1]

$$\text{Polmer krivljenja} = \text{faktor krivljenja} * \text{zunanji premer cevi}$$

Enačba 2: Izračun polmera krivljenja Vir [1]

Če je stenski faktor večji kot 30 je cev tankostenska. Podobno lahko določimo polmer upogibanja, če vemo, da mora biti faktor krivljenja v večini primerov večji od 3, razen v primerih, kadar krivimo trše materiale, kot so nerjaveče jeklo, mora biti faktor večji.



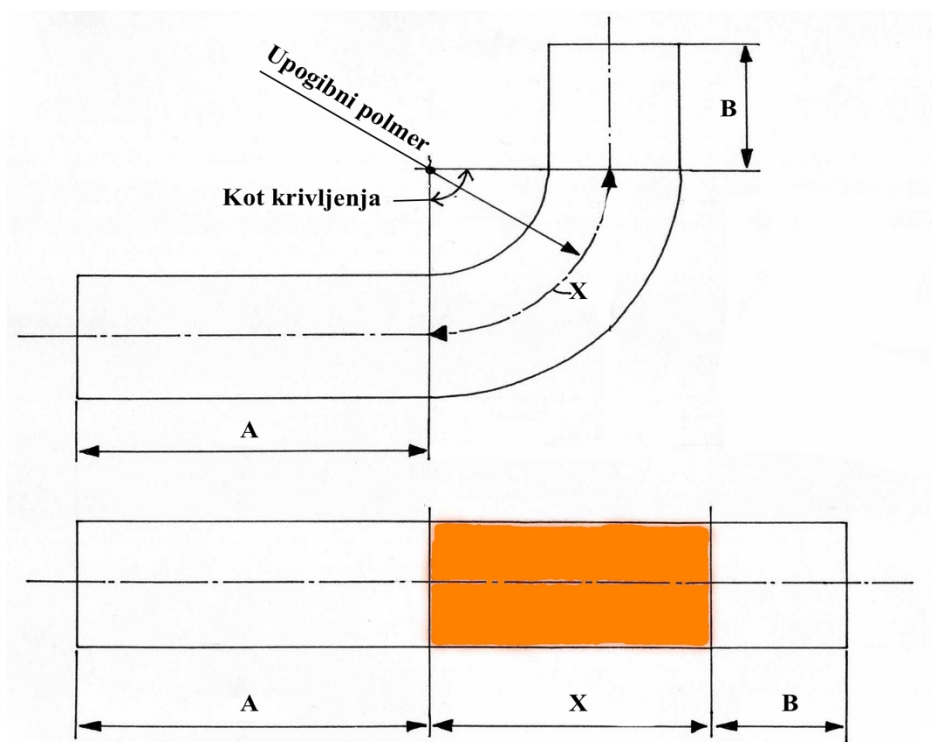
Slika 1: Oblika cevi med krivljenjem Vir [2]

Ta dva dejavnika se upoštevata pri krivljenju in izbiranju pravilnega postopka, prav tako pa moramo cev kriviti znotraj minimalnega in maksimalnega upogibnega polmera. Brez ustreznih postopkov pri preoblikovanju lahko pride do zmanjšanja preseka in pregiba cevi, kar pa oslabi trdnost in ovira pretok tekočine. Vse to lahko preprečimo z upoštevanjem dopustnega krivilnega polmera odvisnega od materiala in preseka cevi, s polnjenjem notranjosti cevi z nestisljivo maso (pesek, mivka), vzmetnim vložkom ali osnikom in z upogibanjem v skladu z uporabljenim presekom cevi.

Pri krivljenju je prav tako pomembna dolžina cevi, zato je dobro vedeti, kako dolga mora biti v področju krivljenja. To dolžino najlažje izračunamo po enačbi:

$$x = \frac{\text{Kot krivljenja}}{360^\circ} \cdot 2 \cdot \text{Upogibni polmer} \cdot \pi$$

Enačba 3: Izračun dolžine cevi za krivljenje Vir [3]



Slika 2: Izračun dolžine cevi za krivljenje Vir [3]

2.3 Krivljenje nerjavečega jekla

Krivljenje nerjavečega jekla je zelo podobno krivljenju drugih kovinskih materialov, zato lahko za najtesnejši polmer upogibanja uporabim pravilo palca, kar pomeni, da premer cevi pomnožimo s tri. Vendar je pogosto potrebno, da se ohrani večja moč, zato so tehnike krivljenja zahtevnejše od tistih, ki se uporabljajo za ogljikova jekla. Zelo pomemben podatek pri nerjavečih jeklih je njihova duktilnost, oziroma koliko odstotkov standardiziranega vzorca se lahko raztegne preden se zlomi.

S tem podatkom lahko določamo polmer upogibanja, pri uporabi bolj nodularnih materialov lahko upogibni polmer zmanjšamo. Značilnost nerjavečega jekla je tudi, da se pri preoblikovanju njegova trdnost poveča, kar pomeni, da je potrebna veliko večja moč kot pri krivljenju ogljikovih jekel. Pri prehodu iz ogljikovega jekla na nerjaveče jeklo je potrebno preveriti ali je krivilna naprava dovolj močna.

2.4 Proces krivljenja

Krivljenje cevi je mogoče na več različnih načinov. Procesi se med seboj razlikujejo po premeru in obliki cevi, smeri in obliki krivljenja in po namenu končnega izdelka.

Proces se začne z vpetjem cevi v napravo za krivljenje. Vpetje se glede na vrsto naprave razlikuje, ampak princip je podoben. Cev moramo vpeti med upogibno kolo in vodilo, pri tem pa moramo biti pozorni na to, da je cev dovolj trdno vpeta, da ne pride do poškodb. Proces krivljenja vključuje uporabo mehanske sile za potiskanje ali vlečenje cevi skozi matriko upogibnega kolesa. Velik del orodja je izdelana iz kaljenega jekla ali orodnega jekla za ohranjanje življenjske dobe orodja. Kjer pa ne želimo opraskati površine cevi, so v uporabi mehkejši materiali kot sta aluminij ali bron. Naprave za krivljenje so običajno na človeški, pnevmatski, hidravlični ali električni pogon.

2.5 Načini krivljenja

2.5.1 Krivljenje tanjših cevi

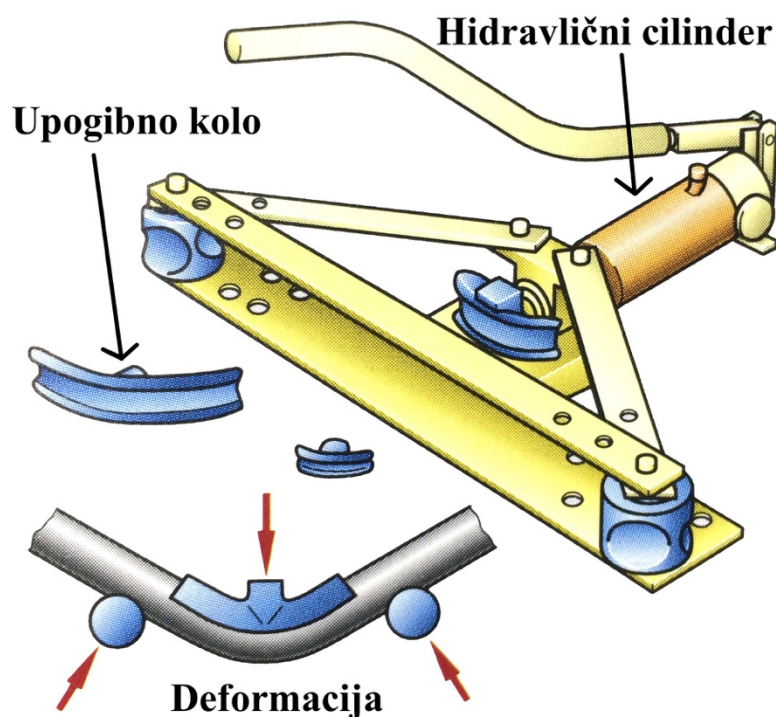
Krivljenje tanjših cevi iz mehkejših materialov, kot sta baker in aluminij, se izvaja prostoročno, v primežu ali z ročno krivilno napravo. V delavnicah in montažnih mestih uporabljamo enostavne upogibne priprave z ročnim vzvodom. Kot upogiba se poljubno nastavlja, zamenljiva kolesca pa omogočajo prilagajanje različnim premerom cevi. S takšnim orodjem lahko krivimo cevi s premerom manjšim od 20 mm do 180 stopinj. Cene takšnih naprav so do 100 evrov, vendar se cena razlikuje glede na velikost cevi, ki jo krivimo.



Slika 3: Ročna naprava za krivljenje cevi Vir [4]

2.5.2 Krivljenje s stiskanjem

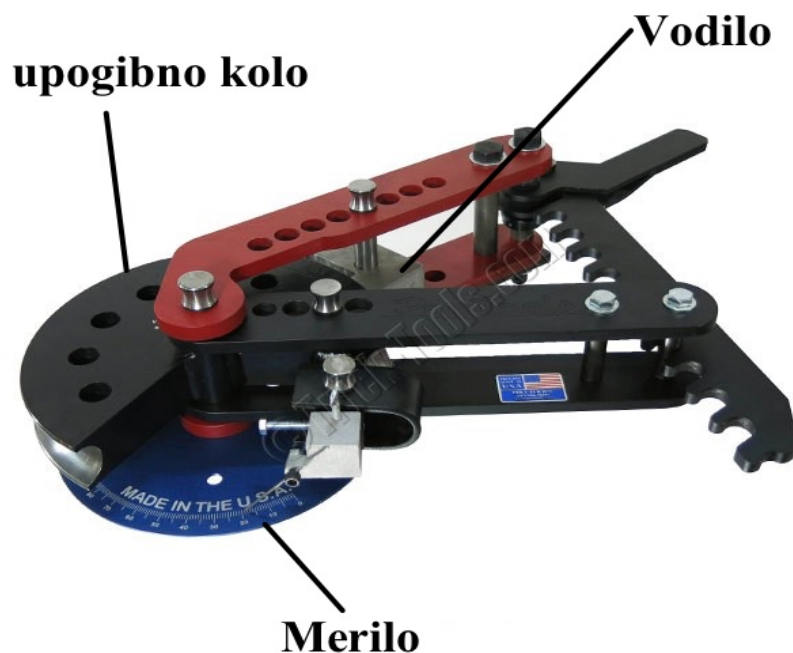
Je postopek krivljenja hladne cevi, pri katerem pritismo cev s pomočjo hidravlične sile ob upogibno kolo, ki je v obliki loka, tako da se cev popolnoma prilega obliki. Na cev delujejo tlačne napetosti, zato se deformira in v zakrivljenem področju dobi ovalno obliko. Čeprav lahko z enim upogibnim kolesom oziroma matriko proizvajamo različne oblike, moramo pri spremembi preseka cevi upogibni lok zamenjati. Krožni upogibni stroji s potisnimi profili nudijo večje moči za upogib cevi z močnejšimi stenami in večjim premerom. Ta postopek se uporablja, kadar končni izdelek v zakrivljenem področju ne zahteva enakega notranjega preseka. Slabost takšne naprave je, da lahko z njo krivimo cevi le do 90 stopinj. Cena takšne naprave je okoli 300 evrov, po navadi pa zraven dobimo komplet upogibnih orodij in tako lahko krivimo cevi premera od 15 do 80mm.



Slika 4: Ročna hidravlična naprava za krivljenje s potiskanjem Vir [5]

2.5.3 Rotacijsko krivljenje z vlečenjem

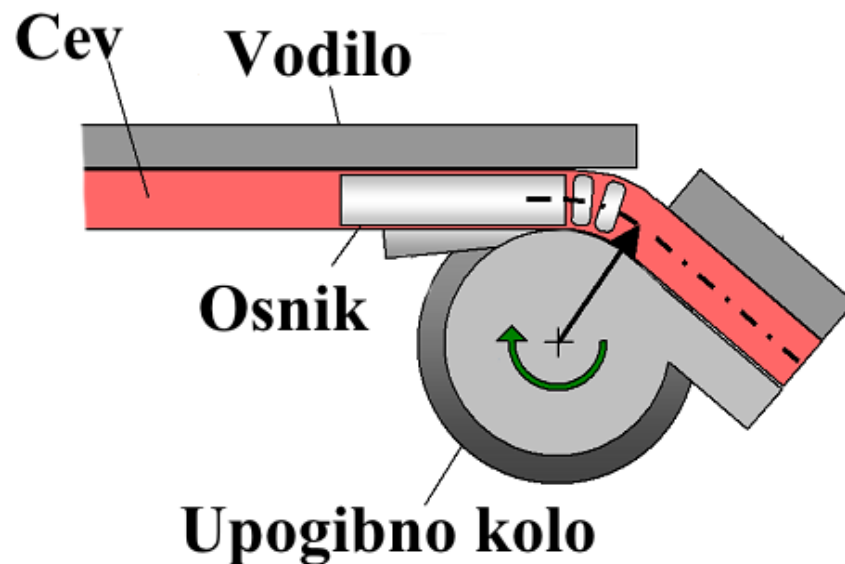
To je zelo natančna tehnologija krivljenja cevi, saj za krivljenje uporabljamo natančno izdelano upogibno kolo, okoli katerega s pomočjo mehanske sile vlečemo cev do želenega kota. S pomočjo vodila pa cev ohranimo v določenem položaju. Naprave so v večini podprte s hidravliko ali z elektromotorjem, kadar pa je premer cevi manjši, jih lahko krivimo tudi z ročnim vzvodom. Pogosto je na napravo pritrjeno merilo, s katerega lahko odčitavamo kot krivljenja, ki v večini primerov ni večji od 180 stopinj. Takšne naprave so zelo priljubljene na ameriškem trgu, saj zaradi svoje velikosti in natančnosti ustrezajo vsem ljubiteljskim in profesionalnim oblikovalcem avtomobilov, izpušnih cevi in kletk. Cene takšnih naprav so po navadi večje od 1000 evrov, cena pa se razlikuje od proizvajalca in želenega pogona na napravi. Upogibna orodja je po navadi potrebno dokupiti ali pa s pomočjo načrtov izdelati svoja.



Slika 5: Ročna naprava za krivljenje cevi z vlečenjem Vir [6]

2.5.4 CNC krivljenje cevi

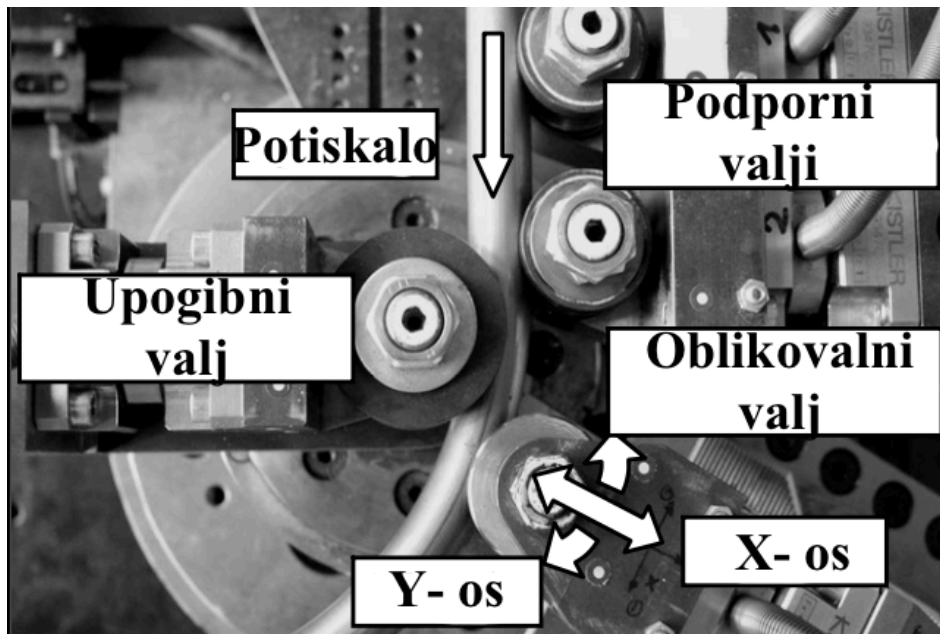
CNC krivljenje je postopek, ki je v osnovi podoben rotacijskemu krivljenju. Cevni nastavki oprimejo cev in jo ovijejo okoli upogibnega kolesa do želenega kota. Zaradi pritiska sile kovina spremeni svojo obliko v obliko oblikovalnega orodja. Cevi so lahko oblikovane z ali brez vnaprej določene oblike, krivljenje pa se lahko v nekaterih primerih dodatno podpre tudi s toplotno obdelavo. Glavna značilnost CNC krivljenja je, da se cev lahko krivi pod različnimi koti, v različnih radijih in v različnih smereh. Pri CNC krivljenju postopek poteka tako, da se cev najprej vpne in se nato postopoma krivi od enega konca do drugega. Cev se postopoma pomika naprej in se ukrivi v določeno smer pod določenim kotom. Z numeričnim krmiljenjem lahko vnaprej natančno določimo kot in smer krivljenja. Cene takšnih naprav so zaradi njihove natančnosti in hitre izdelave visoke, od 5000 pa vse do 70.000 evrov. Cene se razlikujejo glede na velikost in proizvajalca stroja.



Slika 6: CNC krivljenje cevi Vir [6]

2.5.5 Valjasto krivljenje cevi

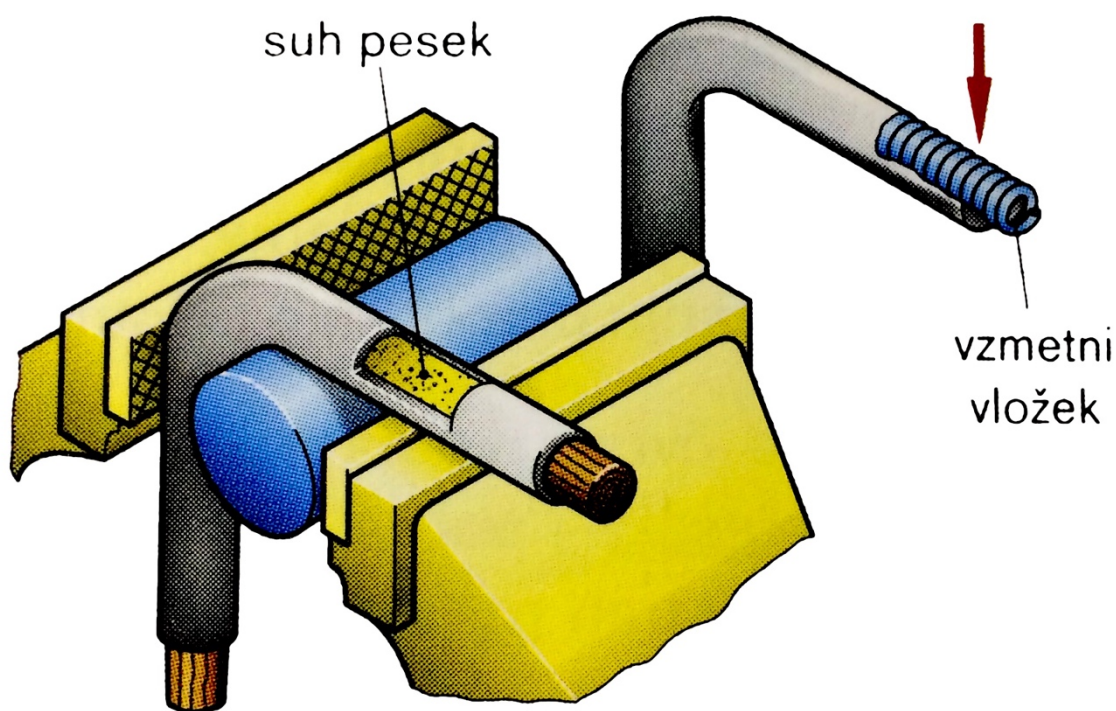
Je najpogosteje uporabljen postopek krivljenja, saj lahko krivimo cevi različnih geometrij. Prav tako pa je možno tudi 3D krivljenje, ki zahteva krivljenje na večjih površinah. Postopek deluje tako, da stroj potiska cev skozi upogibni in podporni valj. Kot krivljenja pa nastavljamo z oblikovalnim valjem. Če želimo spremeniti površino krivljenja, mora potiskalo zavrteti cev okoli njene vzdolžne osi. Postopek je zelo prilagodljiv, saj z enim orodjem omogoča izdelavo poljubnih kotov, čeprav geometrijska natančnost procesa ni primerljiva z rotacijskim krivljenjem. Cene takšnih naprav se razlikujejo glede na velikost in število valjev, lahko pa se primerjajo s cenami CNC krivilnih naprav.



Slika 7: Valjasto krivljenje cevi Vir [7]

2.5.6 Krivljenje z uporabo polnil

Cevi se velikokrat krivijo tudi brez uporabe ustreznih krivilnih naprav, največkrat kar v primežu. Takrat je potrebno cevi za nepoškodovano krivljenje napolniti s nestisljivo maso (pesek, mivka), vzmetnim vložkom ali osnikom. Pesek in mivko uporabljamo takrat, kadar je krivljenje enostavnejše in želimo s pomočjo mase in sil, ki so v notranjosti cevi, preprečiti njeno deformacijo. Osnik pa se ne uporablja samo pri enostavnejšem krivljenju, ampak tudi pri krivljenju zahtevnejših oblik v krivilnih napravah. S svojo posebno obliko omogoča veliko natančnost in dober nadzor nad samim krivljenjem. Uporaba polnil je pri krivljenju priporočljiva, saj z njihovo pomočjo izboljšamo postopek krivljenja in tako dobimo kvalitetnejši končni izdelek.



Slika 8: Krivljenje cevi v primežu s pomočjo polnil Vir:[5]

3 METODE DELA

3.1 Pregled strojnega dela

3.1.1 Stojalo

Stojalo je namenjeno temu, da je na njega pritrjen agregat ter vse ostale komponente. Stojalo smo zasnovali tako, da je lahko premično ali stabilno na mestu. Iz tega razloga smo na dno pritrdili kolesca z zaklopom proti kotaljenju. Mentor je imel doma sestavljeno pravokotno ogrodje iz petih železnih cevi kvadratnega prereza in eno cev pritrjeno navpično na to ogrodje. Na našem stojalu smo želeli pločevinasto dno, zato smo morali na ogrodje na dno dodatno privariti dve cevi, saj bi brez njih dno bilo brez podpore in bi se pod najmanjšo obremenitvijo plastično deformiralo. Tako smo lahko na naše stojalo pritrdili dve pločevinasti plošči in izdelali dno. Najprej smo pločevino naravnali z ogrodjem, skozi oboje zvirtali luknje in nato vse skupaj zakovičili. Skozi dno in dodatno privarjeni palici, v razmiku, ki ustreza našemu agregatu, smo izvrtali dodatne štiri luknje za pritrditev agregata.



Slika 9: Prikovičen poden na ogrodje (Foto: L. Hergold)

Za mobilnost ogrodja smo na robove privarili po eno jekleno ploščico na vsak rob. Uporabili smo MAG postopek varjenja, pri katerem se uporablja aktivni plin, ki je v večini primerov mešanica argona in ogljikovega dioksida. Iz varilske pištote prihaja skozi plinske šobe plin, skozi varilsko žico pa tok, ki ustvari oblok, da se plin vname in začne topiti žico v varjenec, oziroma predmetm, ki se vari. Uporabili smo soležni spoj, kjer sta varjenca v isti ravnini.

Odvisna je tudi velikost izbranega toka. Za debelejšje materiale se uporablja večji tok kot za tanjše. V našem primeru smo uporabili tok 150A. Skozi ploščico smo izvrtali štiri luknje. Na te ploščice smo pritrdili kolesca. Za dodatno protikorozijsko zaščito smo ves poden prebarvali z nitroakrilno modro barvo.



Slika 10: Privarjena ploščica na ogrodje (Foto: L. Hergold)



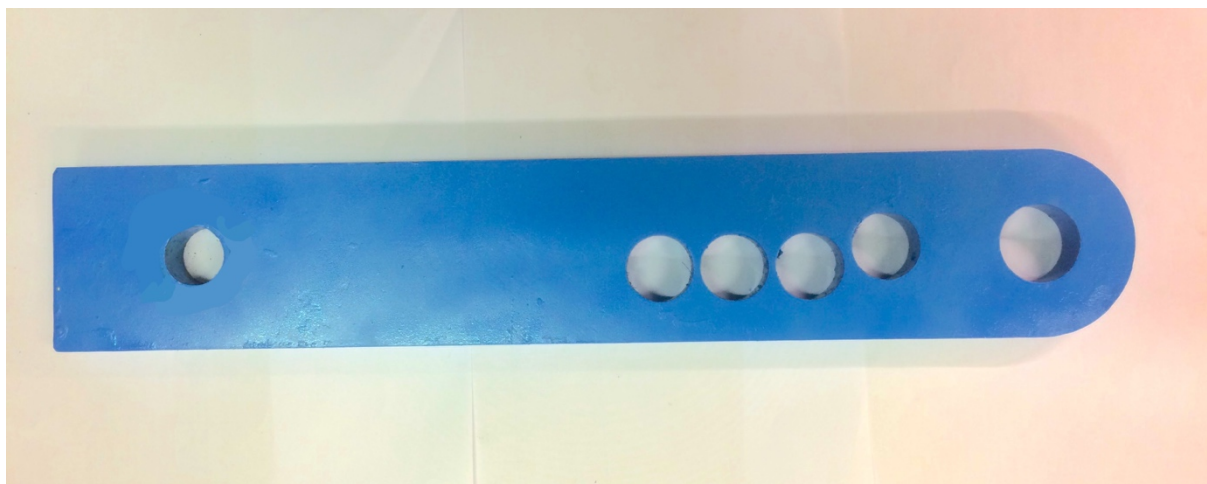
Slika 11: Pritrjena kolesa na ogrodje (Foto: L. Hergold)

3.1.2 Podporne roke

Izdelati smo morali dve vrsti podpornih rok. Njihova naloga je, da držijo upogibno kolo, hidravlični cilinder in ostale komponente v zraku in pri miru, z izjemo gibljivih delov. Ker imamo dve vrsti rok, smo morali izdelati po dva kosa vsake. Naloga ene vrste rok je, da podpira teža kolesa in komponent. Ena izmed teh vrst je negibljivo privarjena na ohišje, druga pa negibljivo pritrjena na prvo preko navojnih palic in zatičev. Druga vrsta rok je namenjena temu, da premika upogibno kolo, njiju pa premika cilinder. Glede na to, da je bila izdelava rok bolj zapletena, smo jih dali izdelati na laserski rezalnik.



Slika 12: Podporne roke 1 (Foto: L. Hergold)



Slika 13: Podporne roke 2 (Foto: L. Hergold)

3.1.3 Upogibno kolo

Upogibno kolo se pri napravah za krivljenje cevi uporablja za vodenje in vlečenje cevi, ki jo krivimo. Glede na zunanji prerez cevi in debelino stene moramo izbrati ustrezen premer upogibnega kolesa, ki pa nam ga določi dopustni krivilni polmer. V našem primeru smo se odločili za cevi zunanjega premera 50 mm, ki so najbolj uporabne, saj so primerne za različne konstrukcije. Na spletu in v strokovni literaturi smo poiskali, kakšno velikost upogibnega kolesa moramo izbrati. Za cevi iz jekla mora biti ta polmer trikratnik zunanjega polmera cevi. Mi smo se odločili za zunanji premer 320 mm saj smo napravo želeli skonstruirati tako, da je upogibna kolesa mogoče na enostaven način zamenjati in kriviti drugačne premere cevi.

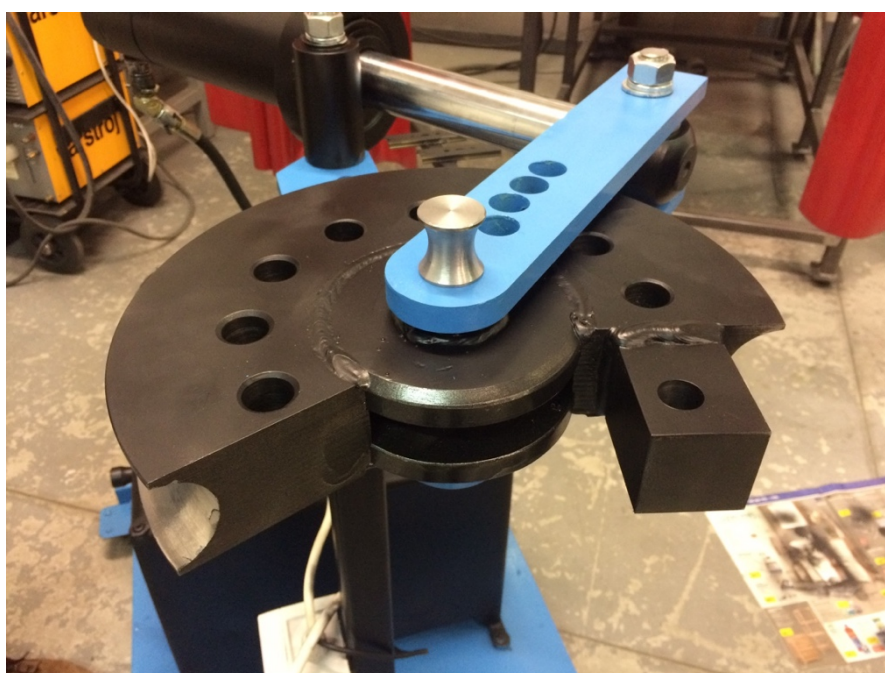
V skladišču šole smo poiskali surovec, ki je ustrezal našim meram, to pomeni, da je bila debelina surovca 60 mm (cev ima premer 50 mm, 5 mm ostane še za zgornjo in spodnjo steno kolesa), premer pa je 320 mm. Čelno smo poravnali zgornjo in spodnjo ploskev na stružnici, nato pa postružili še radij 25 mm v notranjost stene kolesa, v katerega se uleže krivljena cev. Pod kotom 145 stopinj smo s frezalnim strojem odstranili material, saj naš stroj krivi kote do 180 stopinj kot tudi zaradi same teže. V upogibnem kolesu smo potrebovali sedem lukenj, ki so izvrtane na vsakih 30 stopinj. Luknje so premera 22 mm, zaradi te velikosti pa smo morali vsako luknjo najprej izvrtati s svedrom premera 10 mm, nato 17 mm, 20 mm in na koncu s svedrom premera 22 mm. Te luknje služijo, da lahko z zatičem začasno pritrdimo kolo na roko med krivljenjem cevi.



Slika 14: Vrtanje lukenj v upogibno kolo (Foto: L. Hergold)

Ker je imelo naše kolo v sredini veliko izvrtino, smo postružili še dve ujemajoči se plošči, ki smo ju kasneje privarili v notranjost kolesa. V sredino plošč smo postružili luknjo premera 50 mm, v katero smo privarili pušo enakega zunanjšega polmera z debelino stene 6.25 mm. V to pušo smo drsno uležajili manjšo pušo, katere zunanji premer je enak notranjemu premeru večje puše.

Potem je bilo potrebno izdelati kvader dimenzij 50 mm / 50 mm / 70 mm katerega naloga je, da nanj z zatičem pritrdimo objemko. Kvader smo privarili na desno stran upogibnega kolesa.



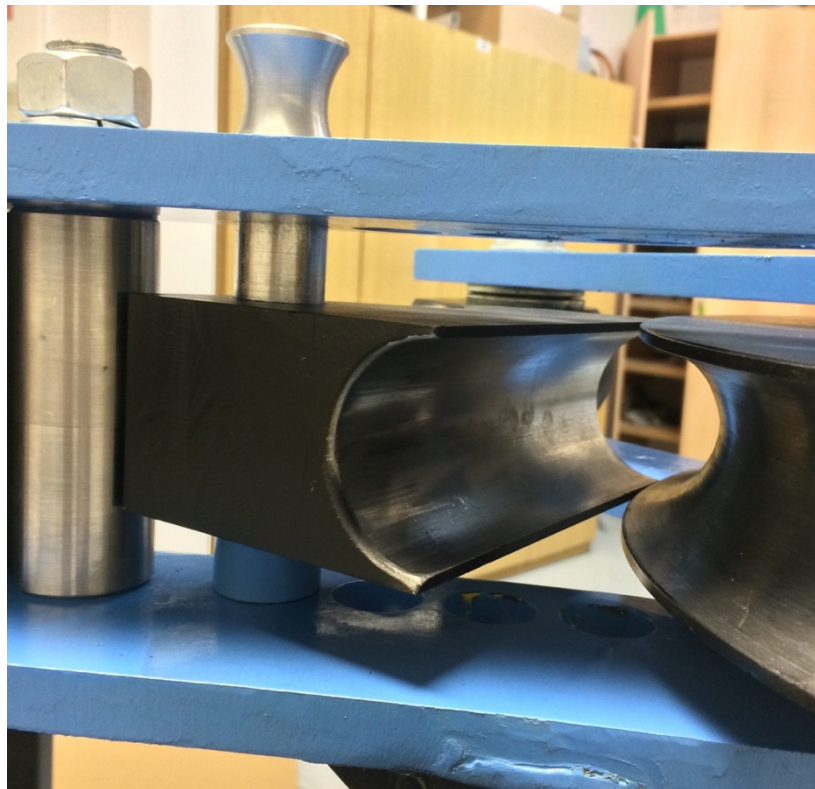
Slika 15: Privarjene plošče in kvader na upogibno kolo (Foto: L. Hergold)

3.1.4 Vodilo

Vodilo za cev je potrebno, da cev vodi, ko se le ta krivi ter da se cev med krivljenjem ne premika v neželene smeri. To vodilo smo dali izdelati, saj bi z napravami in orodji, ki jih uporabljamo pri praksi in v šoli to težko storili s potrebno natančnostjo.

Vodilo ima vrezan utor z enakim premerom, kot ga ima cev oziroma s polmerom 25 mm. Stene vodila so enake debeline kot stene upogibnega kolesa, saj je najbolje, da se po višini popolnoma ujemata.

V vodilo smo nato glede na našo napravo in dimenzije naših mer izvrtali izvrtino. Ta je namenjena temu, da se lahko vodilo plavajoče pritrdi na podporno roko z zatičem.

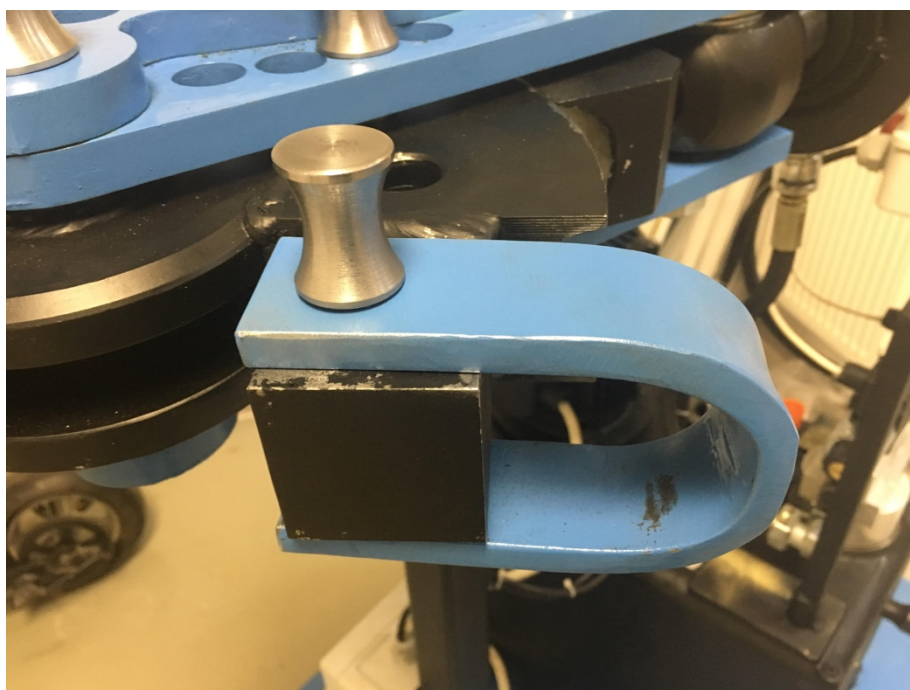


Slika 16: Vodilo vpeto med podporne roke (Foto: L. Hergold)

3.1.5 Objemka

Objemko potrebujemo, da se cev, ki jo krivimo začasno pritrdi za zatičem na začetek upogibnega kolesa. To je potrebno, saj se brez objemke cev ne bi držala kolesa in je tako sploh ne bi mogli ukriviti.

Za izdelavo objemke smo potrebovali 300 mm dolgo in 60 mm široko železno ali jekleno ploščo, debeline vsaj 5 mm. Najprej smo jo odrezali na potrebno širino, nato pa smo jo ukrivili. Krivili smo jo s pomočjo toplotne obdelave, pri čemer se razteznost materiala poveča. Za dovolj natančno krivljenje smo na sredino plošče položili cev enakega premera, kot jo bo krivil ta stroj ter smo okoli nje ovili oziroma ukrivili ploščo. Ukriviti jo je bilo potrebno za 180 stopinj, zato da lahko lepo sede na kvader, ki je privarjen na upogibno kolo.



Slika 17: Objemka (Foto: D. Vajdec)

3.1.6 Puše

Puša je strojni element podoben kovinskemu vložku, ki se namesti v izvrtino zaradi zmanjšanja njenega premera.

Za našo napravo smo potrebovali 6 puš. Štiri izmed teh so se uporabile, da smo eno v drugi drsno uležajili in s tem dobili dva drsna ležaja. Eno smo privarili na sredino plošč na upogibnem kolesu in vanjo vstavili še eno. Drugo pa smo privarili na prirobnico cilindra ter vanjo vstavili drugo pušo. Ena puša se je uporabila za držanje razmika med podpornimi rokami, zadnja puša pa se je uporabila za roko cilindra, da lahko ta drsi, medtem ko krivi cev.

Uporabili smo puše naslednjih mer (višina/zunanji premer/notranji premer):

- 70.5 mm/ 38 mm /25 mm
- 70.5 mm/ 39 mm/ 21 mm
- 68 mm/ 50 mm/ 38 mm
- 101 mm/ 38 mm/ 21 mm
- 101 mm/ 38 mm/ 21 mm
- 98 mm/ 55 mm/ 37.8 mm



Slika 18: Pet puš, dve sta drsno uležajeni (Foto: J. Vitko)

3.1.7 Zatiči

Zatiči se pri napravah za krivljenje cevi uporabljajo za začasno pritrjevanje delov med seboj. Po navadi je to med stabilnimi podpornimi rokami in upogibnim kolesom, premikajočimi se podpornimi rokami in upogibnim kolesom, objemko za cev in kvadrom na podpornem kolesu ter med stabilno podporno roko in vodilom za cev.

Za izdelavo zatičev ter dveh puš smo prosili podjetje CNC P&K Pušnik v Radljah ob Dravi, kjer so nam natančno in hitro izdelali zatiče, ki smo jih potrebovali.

Potrebovali smo tri vrste zatičev (dolžina od začetka zatiča do začetka ročaja/premer):

- zatič 150 mm/ 24.5 mm
- zatič 150 mm/ 24.5 mm
- zatič 120 mm/ 22 mm



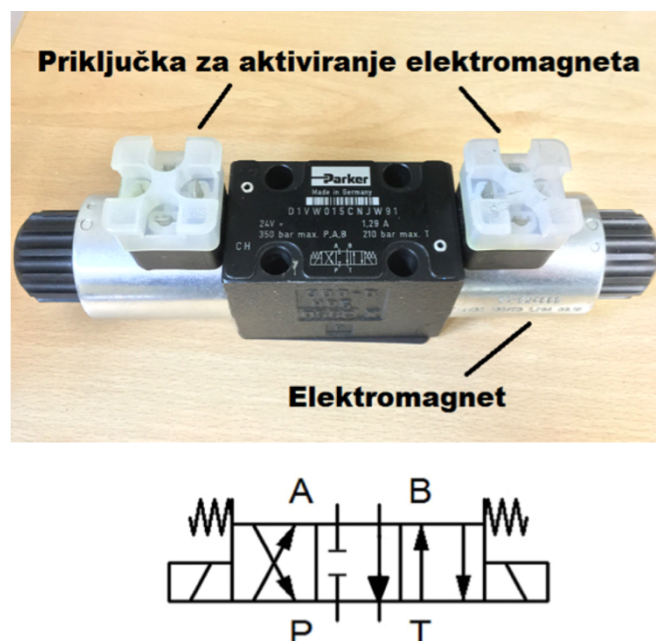
Slika 19: Štirje zatiči (Foto: L. Hergold)

3.2 Hidravlika

3.2.1 Potni ventil

Ventili v hidravliki igrajo pomembno vlogo. V hidravličnih napravah služijo za krmiljenje in regulacijo tlaka, volumenskega toka ter smeri pretakanja hidravlične tekočine. Glede na nalogo, ki jih opravljajo v hidravlični napravi, razlikujemo štiri vrste ventilov. Poznamo potne, tokovne, tlačne in ventile za zapiranje. Pri potnih ventilih lahko že po njihovem imenu ugotovimo, da služijo za krmiljenje poti, kjer se pretaka hidravlična tekočina. Imajo funkcijo zapiranja in odpiranja hidravličnih poti in s tem vplivajo na smer gibanja in pozicioniranja delovnega člena, ki je v našem primeru hidravlični cilinder.

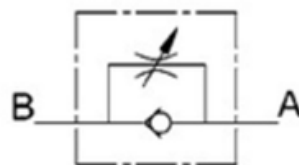
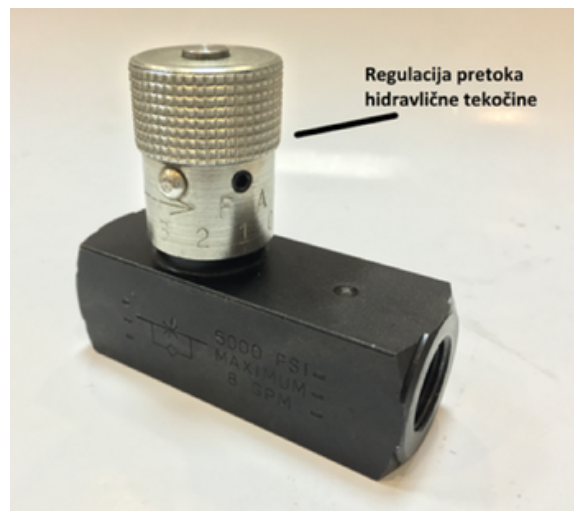
Pri raziskovalni nalogi smo potrebovali potni ventil, ki bo krmilil hidravlični cilinder. Uporabili smo 4/3 potni ventil kar pomeni, da ima 4 priključke in 3 položaje. Ventil v srednjem položaju miruje. Z aktiviranjem iz desne ali leve strani, se ventil pozicionira v enega izmed položajev in tako spremeni pretok tekočine v povratni ali delovni vod. Potrebovali smo ventil, ki ga električno krmilimo. To pomeni, da se aktivira z elektromagnetom, na katerega je priključen krmilnik Arduino, ki mu pošilja signale za delovanje ventila. Ventil pa ima tudi vgrajeno vzmet iz obeh strani, ki ga po aktiviranju postavi v ničelni oziroma mirovni položaj.



Slika 20: 4/3 potni ventil (Foto: D. Vajdec)

3.2.2 Ventil za nastavljanje hitrosti

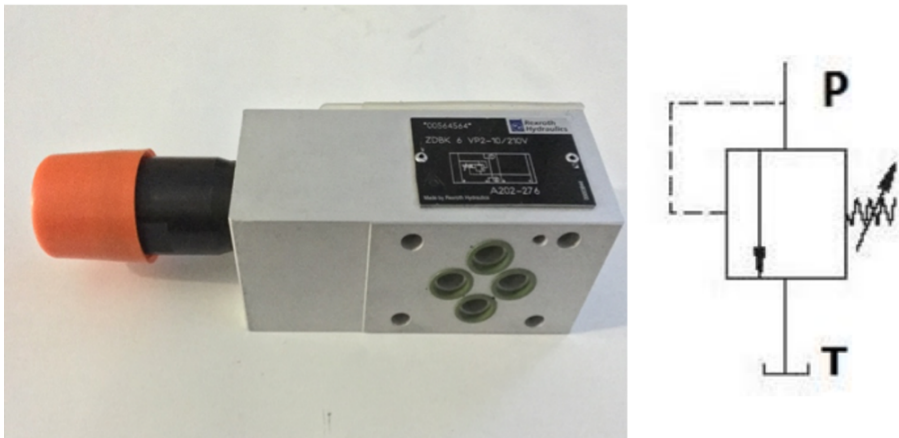
Dušilni ventil se v hidravliki uporablja za regulacijo hitrosti. Pri tem ventilu se pretok olja duši v eni smeri, v drugi smeri pa je pretok neoviran. V smeri možnega pretoka tekočine lahko teče samo skozi dušilko, pri kateri nastavljamo pretočni prerez. Dušilne ventile največkrat uporabimo za regulacijo hitrosti hidravličnih ali pnevmatskih cilindrov. Zelo pomembno vlogo za delovanje naše naprave je igral tudi ta ventil. Z njim smo nastavili primeren pretok hidravličnega olja in posledično hitrost giba hidravličnega cilindra.



Slika 21: Ventil za nastavljanje hitrosti (Foto: D. Vajdec) Vir:[8]

3.2.3 Varnostni ventil

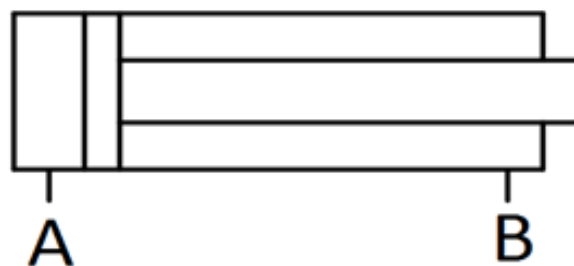
Varnostni hidravlični ventil se uporablja za preprečevanje obremenitev hidravličnega sistema. Ventil deluje tako, da mu nastavimo določeno vrednost pritiska tekočine, do katere lahko skozi ta ventil hidravlična tekočina normalno kroži po sistemu. Ko pritisk doseže nastavljeno vrednost se ventil aktivira in prepreči povečevanje pritiska preko nastavljene vrednosti. S tem se tudi prekine kroženje tekočine in posledično delovanje hidravličnih komponent.



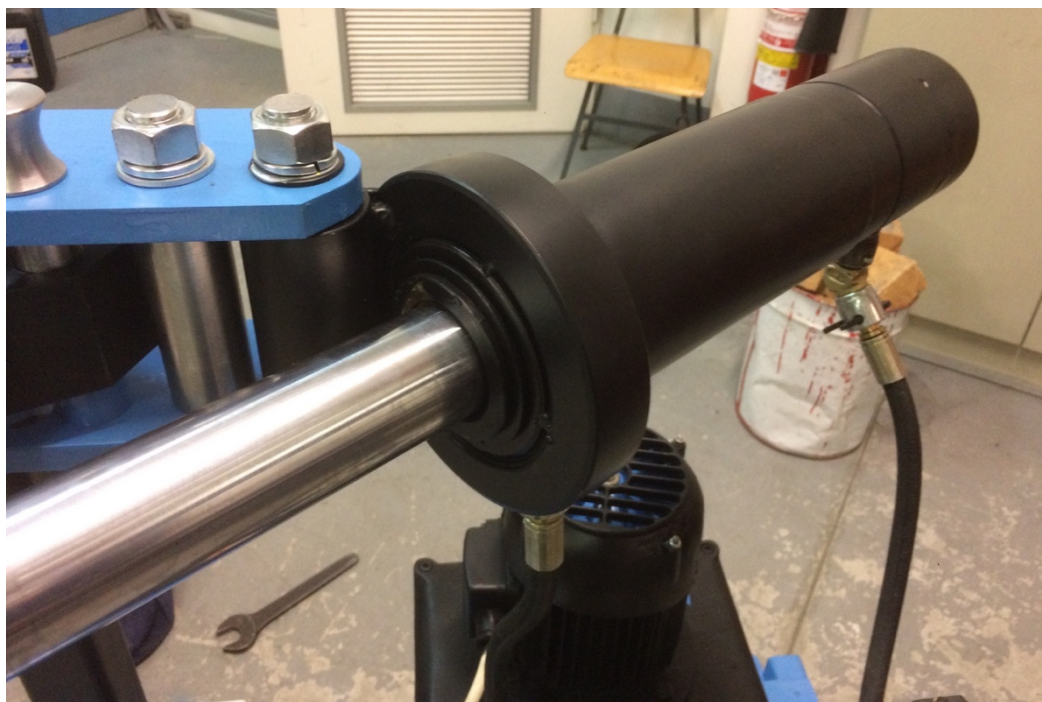
Slika 22: Varnostni ventil (Foto: D. Vajdec) Vir [9]

3.2.4 Hidravlični valj (cilinder)

Cilinder ali valj spada med najpomembnejše delovne komponente v hidravliki. Hidravlični cilinder spreminja hidravlično energijo v mehansko. Njegovo gibanje je premočrtno, zato ga imenujemo tudi linearni motor. Po načinu delovanja razlikujemo enosmerne in dvosmerne valje. Enosmerni valj se uporablja, kjer je potrebno delo samo v eni smeri gibanja na primer za dvigovanje, vpenjanje, spuščanje itd. Delovni gib je izvršen s tlakom hidravlične tekočine, povratni gib pa z vzmetjo ali z zunanjo silo. Dvosmerni valj uporabimo, kadar je potrebno delo v obeh smereh gibanja. Pri tem cilindru olje doteka v valj na strani z batom in tega potiska v smeri navzven. Olje na drugi strani bata, ki ni pod tlakom, odteka iz nasprotno ležeče komore nazaj v rezervoar. Pri premikanju bata navznoter je proces obrnjen. Pri napravi za krivljenje cevi je cilinder z vijakom pritrjen na podporne roke, ki potiskajo upogibno kolo, v katero je vpeta cev. Cilinder mora z batom preko podpornih rok potiskati upogibno kolo v obe smeri za določen premik. Za ta namen smo morali uporabiti dvosmerni cilinder.



Slika 23: Simbol hidravličnega cilindra Vir [10]



Slika 24: Hidravlični cilinder vpet med podporne roke (Foto: L. Hergold)

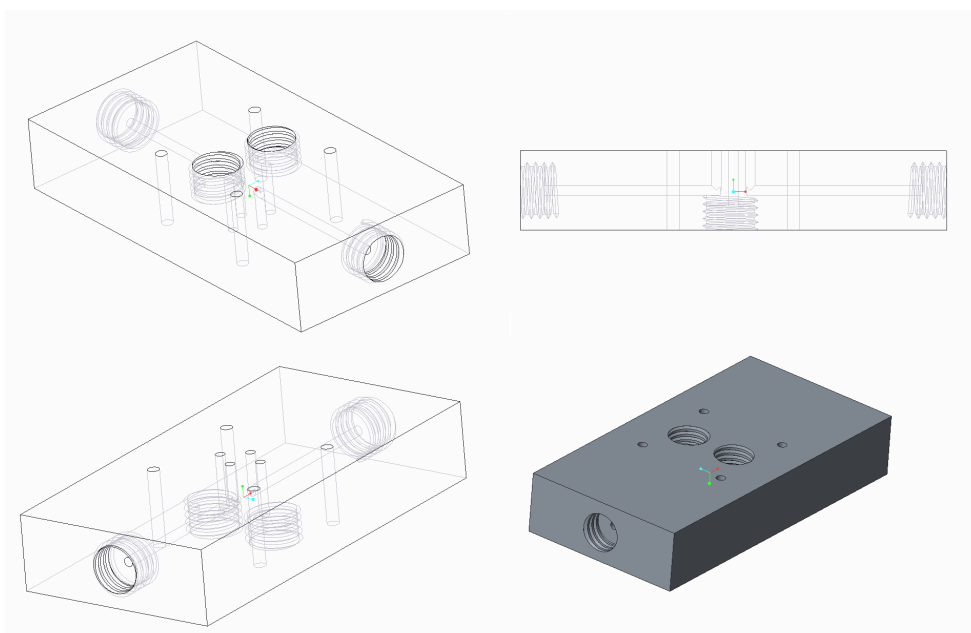
3.2.5 Hidravlični blok (priključna ploščica)

Blok ali priključna ploščica je iz aluminija izdelana kocka, v kateri so izvrtane pretočne luknje ali delovne poti. Luknje so med seboj smiselno povezane, po njih pa se pretaka hidravlična tekočina. Blok ima poleg delovnih kanalov tudi luknje z navojem, ki služijo za pritrditev hidravličnih delovnih komponent direktno nanj.

Hidravlični blok se uporablja kot pomemben člen delovnih elementov. Hidravlična tekočina naprej priteče do delovnih komponent (potni ventili, varnostni ventili ...). Tako se lahko hidravlična tekočina krmili preko delovnih komponent, nato pa priteče v hidravlični blok, preko katerega se najpogosteje preusmeri v hidravlični cilinder.

Priključna ploščica ali blok se najpogosteje izdeluje po naročilu, zato smo ga za raziskovalno nalogo izdelali sami. V programu za modeliranje Solidworks smo narisali 3D model bloka z vsemi potrebnimi luknjami, ki nam je pomagal pri sami izdelavi. Poiskali smo odpadni kos aluminija in ga na rezkalnem stroju obdelali do končnih mer. S svedrom premera 5 mm smo na vrtalnem stroju izvrtali 4 navpične luknje za priključitev hidravličnih komponent. V izvrtane luknje smo nato z navojnim svedrom vrezali metrične navoje. Za pretočne luknje smo z istim

svedrom izvrtali 2 navpični luknji namenjeni za dovod hidravlične tekočine (P) in odtok v cisterno (T). Potrebno je bilo še izvrtati 4 pretočne luknje. Sprva smo izvrtali 2 navpični luknji do polovice obdelovanca, nato pa še 2 luknji iz strani poševno do sredine, da je nastala pravokotna povezava lukenj. Naredili smo še 4 navoje, v katere se privijejo priključki za cevi. Pretočne luknje smo na vrhu povečali s svedrom premera 20 mm in v njih z navojnim svedrom vrezali $\frac{1}{2}$ colski navoj.

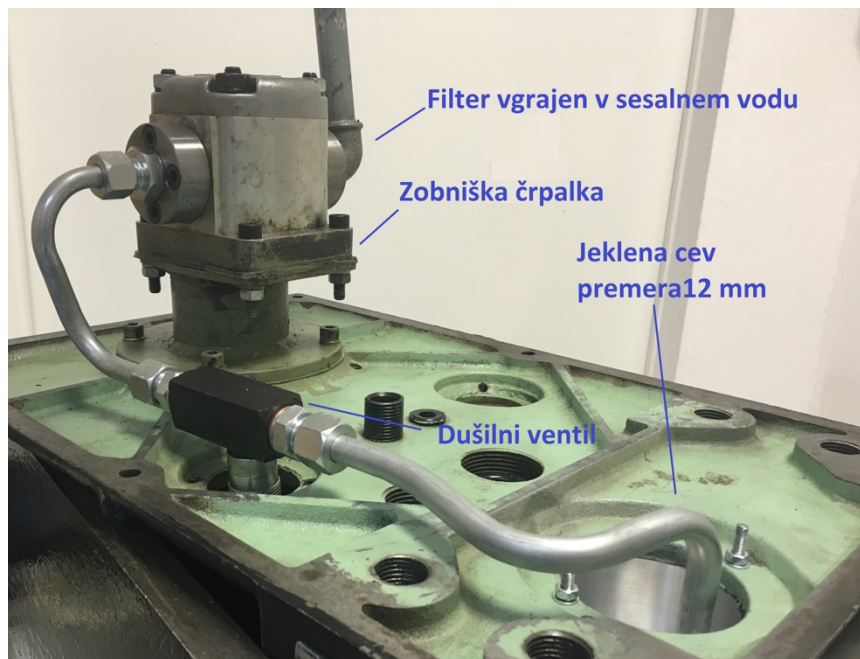


Slika 25: Hidravlična priključna ploščica narisana v programu Creo (Foto: D. Vajdec)

3.2.6 **Vezava hidravličnih komponent**

Vse priskrbljene hidravlične komponente je bilo potrebno smiselno povezati, da je naprava za krivljenje cevi delovala, kot smo načrtovali. Celotno hidravliko poganja agregat, ki je v našem primeru sestavljen iz elektromotorja, črpalke, filtra ter dušilnega ventila. 2,5 kW asinhronski motor poganja zobniško črpalko tipa G2, ki proizvede pretok 19 l/min pod pritiskom 140 barov. Agregat je vgrajen v kovinsko posodo, ki služi kot rezervoar s hidravličnim oljem. V cisterno smo dolili 15 litrov hidravličnega olja in tako, dobili primerno količino hidravlične tekočine. Hidravlična tekočina se filtrira v sesalnem vodu, kar pomeni, da črpalka črpa olje iz rezervoarja preko filtra. Črpalka je nato povezana z dušilnim ventilom, s katerim smo nastavili primeren pretok olja za optimalno delovanje naprave. Za boljšo in pravilnejše delovanje bi morali dušilni ventil vezati za varnostnim ventilom in tako nastavljati hitrost. Najbolje bi delovalo, če bi ga

namestili, kjer se pretok olja duši pred vstopom v cilinder. Olje se tako pretaka skozi črpalko in dušilni ventil po ceveh do hidravličnega bloka, od koder sledi krmilni del hidravlike.

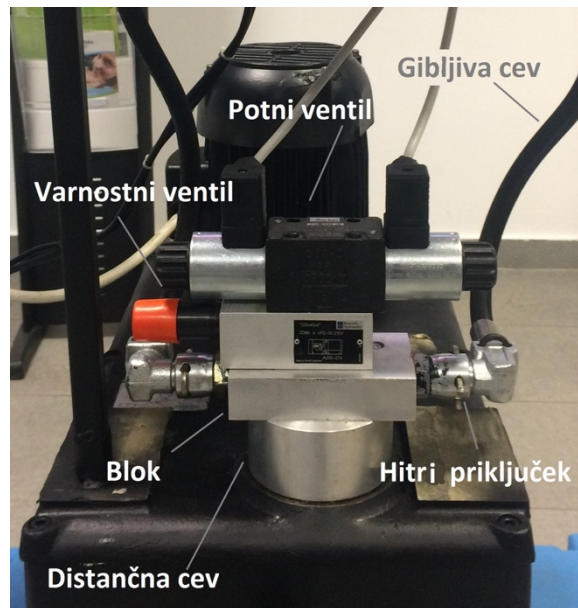


Slika 26: Komponente vezane v agregatu (Foto: D. Vajdec)

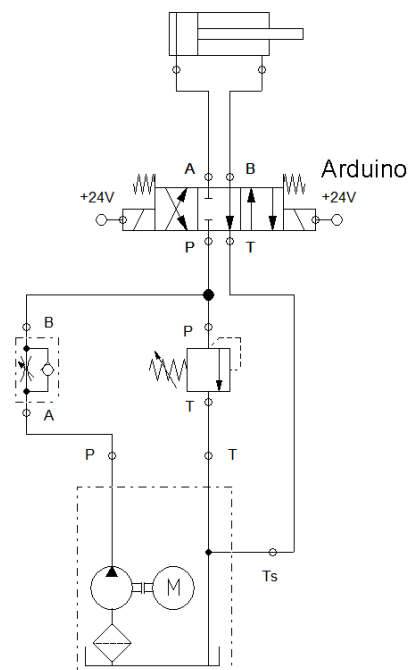
Celoten del, ki je vgrajen v rezervoar, smo povezali s trdimi hidravličnimi kovinskimi cevmi premera 12 mm. Cevi smo s pomočjo ročne naprave za krivljenje ukrivili tako, da so se komponente med seboj povezale. Za prikllop cevi v komponente smo uporabili reducirni priključek z $\frac{1}{2}$ colskim navojem. Priključek se iz ene strani privije v komponento, iz druge strani pa se vstavi cev, ki jo na priključek z notranjim konusom privijemo z matico.

Sledil je krmilni del hidravlike, ki se nahaja nad agregatom. Ta del je sestavljen iz potnega, varnostnega ventila in hidravličnega bloka, ki so skupaj pritrjeni z navojnimi palicami. Te tri komponente pa so skupaj pritrjene na distančno cev, ki je namenjena temu, da so komponente dvignjene v višino. Tako smo lahko uporabili krajše cevi za povezavo hidravličnega cilindra ter ventilov in bloka. Hidravlično olje preko črpalke in dušilnega ventila priteče v hidravlični blok. Olje nato steče preko varnostnega ventila do potnega ventila. Varnostni ventil preprečuje obremenitve hidravličnega sistema. V primeru povečanja pritiska preko nastavljene vrednosti se ventil aktivira in olje priteče nazaj v rezervoar. Iz varnostnega ventila nato olje priteka v potni ventil, ki olje preusmeri po delovnih pretočnih poteh, ko ga aktiviramo iz desne ali leve strani. Ventil aktiviramo z električnimi signali, ki jih pošilja krmilnik Arduino. Ko je

hidravlična tekočina pravilno usmerjena, lahko priteče nazaj v hidravlični blok, od koder priteka olje v cilinder. Za povezavo krmilnega dela hidravlike smo uporabili gibljive cevi, saj se hidravlični cilinder ob delovanju premika. Za priključitev cevi v komponente pa smo uporabili hitri priključek, ki se uporablja v rudarski hidravliki. Priključek ima na eni strani cevni navoj. Iz druge strani pa se vstavi cev, ki jo pritrdimo z jeklenimi zatiči



Slika 27: Komponente hidravličnega krmilja (Foto: D. Vajdec)



Slika 28: Hidravlična vezava narisana v FluidSim (Foto: D. Vajdec)

3.3 Pregled elektronskega dela

V nadaljevanju so opisani elektronski sestavni deli, potrebni za pravilno delovanje naprave.

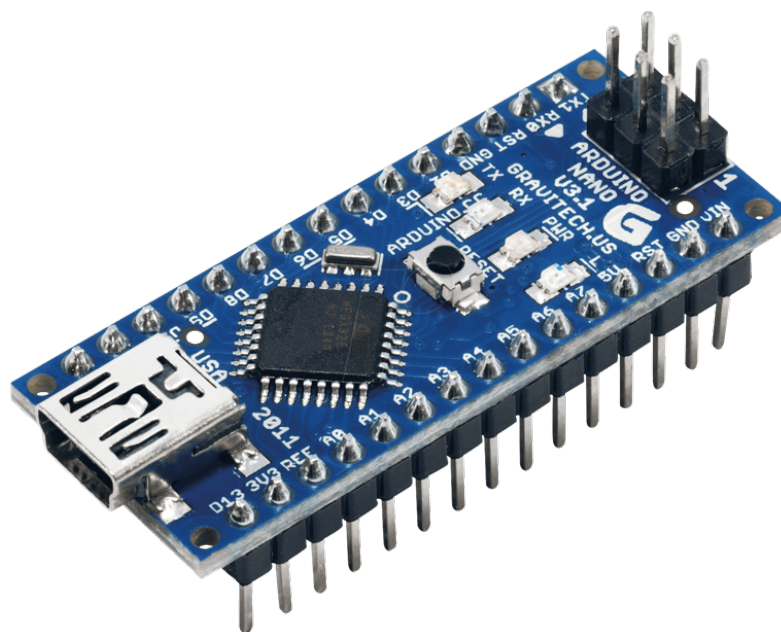
3.3.1 Arduino

Je odprtokodni mikrokontroler, ki temelji na enostavni uporabi strojne ter programske opreme. Namenjen je vsem, ki jih zanima ustvarjanje različnih projektov na področjih elektrotehnike, strojništva, mehatronike in računalništva. Zasnovan je bil z namenom, da elektrotehniko približa tudi tistim brez znanja o strojni in programski opremi mikrokontrolerov. Njegova prednost je nizka cena in mala poraba energije. Poznamo več modelov Arduino kontrolerov, ki se med seboj razlikujejo po velikosti, moči in številu vhodov.

Pri našem projektu smo uporabili Arduino Nano, ki je zadovoljeval naše potrebe.

3.3.2 Arduino Nano

Je mikrokontroler, ki temelji na ATmega328 s 32 KB spomina. Njegova velika prednost je njegova velikost, saj v dolžino meri le 45 mm v širino pa 18 mm. Ima 14 digitalnih (6 od teh lahko uporabimo kot PWM izhode) in 8 analognih vhodov (A0 do A7). Digitalni vhodi so lahko uporabljeni kot vhod ali izhod in delujejo pri napetosti 5 V ter zavzamejo vrednosti HIGH ali LOW oziroma (0,1). Analogni vhodi pa lahko berejo vrednosti od 0 do 1023, in so namenjeni za priključitev različnih senzorjev, zaslonov in merilnikov. Deluje s 16 MHz taktom in ga lahko napajamo s pomočjo zunanjega napajanja, ki prihaja iz AC-DC adapterja ali baterije ali preko USB povezave. Priporočljiva napajalna napetost je 7 V-12V, s tem zagotavljamo brezhibno delovanje, obenem pa se regulator napetosti ne pregreva in tako ne poškoduje plošče. Mikrokontroler je mogoče programirati s programsko opremo Arduino, ki je na voljo na vseh večjih operacijskih sistemih, kot so Windows, Linux in Mac OS X. Lahko pa ga programiramo kar direktno preko ICSP povezave. [11]



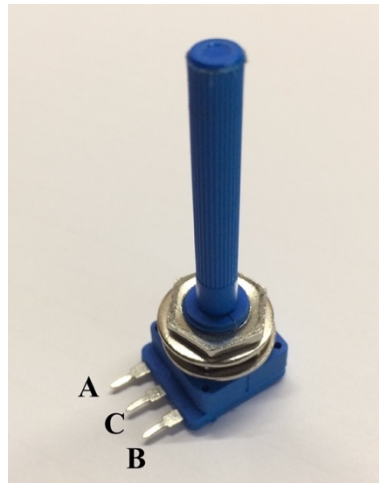
Slika 29: Mikrokrmilnik Arduino Nano Vir:[12]

3.3.3 Potenciometer

Potenciometer ali uporovni merilnik je naprava, s pomočjo katere lahko merimo kotni ali linearni pomik. Izdelan je iz kontaktnega elementa (drsnika), ki drsi po uporovni površini, ki je lahko na jedro navita žica ali plast prevodnega materiala. Potenciometer je upor s tremi priključki, med dvema je upornost stalna (A in B), tretji pa je nastavljen z gumbom ali drsnikom (C).

Glede na tehnične lastnosti ločimo potenciometre na klasične in merilne. Klasične potenciometre uporabljamo za nastavitev zelenih vrednosti v regulatorjih, za nastavitev obratov elektromotorjev, v avdio in video napravah in v podobnih aplikacijah. Merilni potenciometri pa so natančnejši in posledično tudi dražji. Poznamo več vrst potenciometrov, ki se med seboj razlikujejo po obliki, namenu uporabe in materialih. Že na prvi pogled ločimo med linearnimi in rotacijskimi potenciometri. Z linearnimi neposredno izmerimo linearni pomik z rotacijskimi pa zasuk.

Pri našem projektu smo izbrali plastični rotacijski potenciometer, s pomočjo katerega lahko izberemo ustrezen kot, ki je med 0 in 180 stopinjami. Rotacijski potenciometri se uporabljajo za nastavljanje kotnih sprememb pozicije. Izhodno napetost, dobimo med priključkom mase in drsnikom, posledično lahko tako s spremembo kota spreminjamo izhodno napetost. Priključek drsnika smo priključili na analogni vhod mikrokrmilnika in s tem lahko odčitamo vrednost, ki jo želimo. [13]



Slika 30: Potenciometer (plastična izvedba) (Foto: J. Vitko)

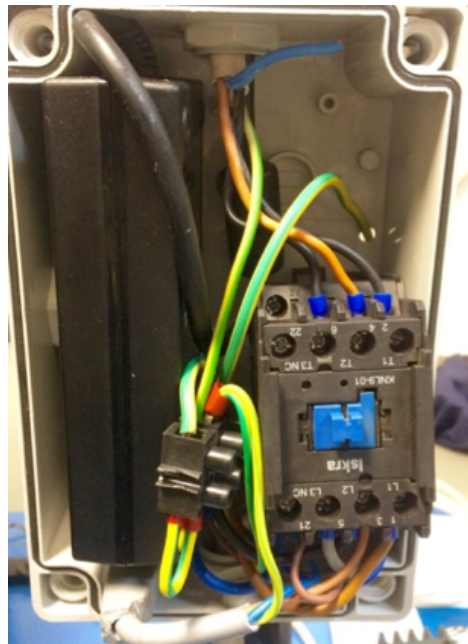
3.3.4 Rele in kontaktor

Releji in kontaktorji so stikala z elektromagnetnim aktiviranjem kontaktov. Zgrajeni so iz vzbujalne tuljave s priključkoma A1 in A2 in kontaktov, ki jih označujemo z oznakami K1, K2 ... Za sklenitev kontakta mora tok steči skozi tuljavo, takoj po prekinitvi pa se kontakt vrne v začetni položaj. Kontakte releja ločimo na delovne, pri katerih se kontakt sklene in tako vključi breme in mirovne pri katerih se kontakt razklene in prekine povezavo. Releji in kontaktorji delujejo po istem principu, zato jih lahko tudi v shemah predstavimo na enak način. Razlika med njimi je samo v tem, da lahko z releji vklapljamo manjša bremena (do moči 1 kW), s kontaktorji pa večja. Z releji je možno brez potencialno vklapljanje, kar pomeni, da lahko s kontakti vključujemo tokokroge z različnimi potenciali. Uporabljamo jih kot vmesnike med signalnim in močnostnim delom, iz njih lahko naredimo več signalov ali pa jih s časovnim relejem zakasnimo.

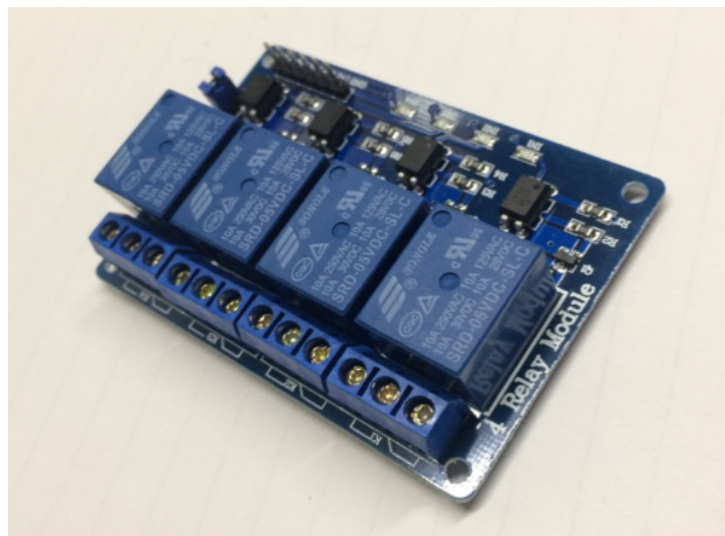
Poznamo več vrst relejev kot so:

- Zakasnilni rele, ki preklopi z določeno zakasnitvijo po prihodu napajalnega toka.
- Časovni releji, ki kontakte sklenejo po določenem času.
- Hermetični, ki imajo kontakte zaprte oz. ločene od vplivov okolice.

Za vkapljanje trifaznega elektromotorja smo izbrali kontaktor Iskra z močjo 4 kW, maksimalnim delovnim tokom 25 A in vklopno napetostjo 230 V / 50 Hz. Za krmiljenje hidravličnega ventila pa smo izbrali relejsko ploščico s štirimi 5 V releji. Ploščico je enostavno krmiliti s mikrokrmilnikom Arduino in sicer tako da z logično ničlo (LOW) vklopimo ali izklopimo kontakte releja. Dobra lastnost relejske ploščice je tudi, da ima ločeno krmiljenje od močnostnega dela preko opto spojnika.



Slika 31: Kontaktor iskra (Foto: J. Vitko)



Slika 32: Relejska ploščica s 5 V releji (Foto: J.Vitko)

3.3.5 LCD zaslon

Lcd zaslon je tekočerkristalni zaslon, ki za prikazovanje slike uporablja tehnologijo tekočih kristalov. Ti svetlobe ne oddajajo, ampak jo le modulirajo in tako ustvarjajo kompleksnejše vzorce in oblike.

Za prikazovanje poteka dela naprave smo uporabili LCD zaslon, ki je kompatibilen s krmilnikom Arduino. Za lažjo priključitev in upravljanje zaslona smo uporabili I2C modul, ki služi kot vmesnik pri uporabi standardnega LCD zaslona. Z uporabo modula zmanjšamo število priključkov in tako lahko s samo dvema analognima vhomoma (SDA in SDC) na krmilniku spreminjamo stanje na zaslonu. Modul je za delovanje potrebno priključiti na napetost 5 V, kontrast na zaslonu pa je mogoče spreminjati z že vgrajenim potenciometrom. Zaslon ima 4 vrstice in 20 stolpcev, v katere lahko poljubno vpisujemo črke, številke ali poljubne oblike. Pri programiranju zaslona smo poiskali potrebno knjižnico, s pomočjo katere smo združili modul in zaslon.



Slika 33: LCD zaslon (Foto: J.Vitko)

3.3.6 Napajalnik Epson M159A

Napajalnik je naprava, ki izmenično napetost (ta je po navadi med 230 in 220 volti) usmeri v enosmerno napetost. S pomočjo manjšega transformatorja napetost najprej zmanjša na določeno vrednost, potem pa pozitivne in negativne polvalove izmenične napetosti s pomočjo štirih mostično vezanih diod (Greatzov spoj) in zaporedno vezanih kondenzatorjev, usmeri v enosmerno napetost. Ta napetost je primerna za napajanje različnih mikrokrmilnikov, led diod, relejev in zaslonov.

Mi smo za napajanje celotnega krmilnega sistema uporabili napajalnik Epson M195A, ki je imel izhodno napetost 24 V in tok 2 A. S tem smo dosegli vse potrebne pogoje za krmiljenje hidravličnega ventila in napajanje mikrokrmilnika Arduino in celotnega vezja.

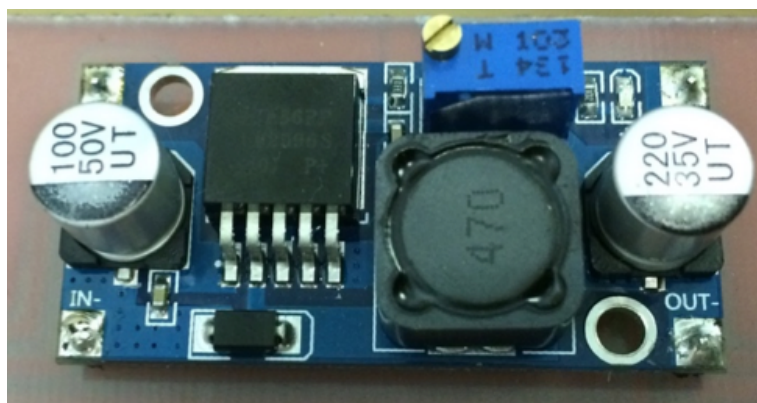


Slika 34: Napajalnik Epson M159A (Foto: J. Vitko)

3.3.7 Regulator napetosti LM2596 DC – DC

Modul LM2596 je integrirano vezje za enostavno in priročno uporabo preklopnega regulatorja, ki je veliko bolj učinkovit v primerjavi z linearnim regulatorjem. S pomočjo njega zmanjšamo vhodno enosmerno napetost, ki je lahko med 4.5 do 40 V na želeno izhodno napetost, ki je lahko med 1.5 do 35 V. To napetost lahko nastavljamo z vgrajenim potenciometrom. Zmožen je prenesti tok 3 A. Modul je zelo uporaben tudi zaradi svoje velikosti, saj so komponente zaradi 150 KHz preklopne frekvence majhne.

V našem primeru smo uporabili regulator napetosti in tako zmanjšali napetost iz 24 V na 12 V, za napajanje mikrokrmilnika Arduino in treh relejev.

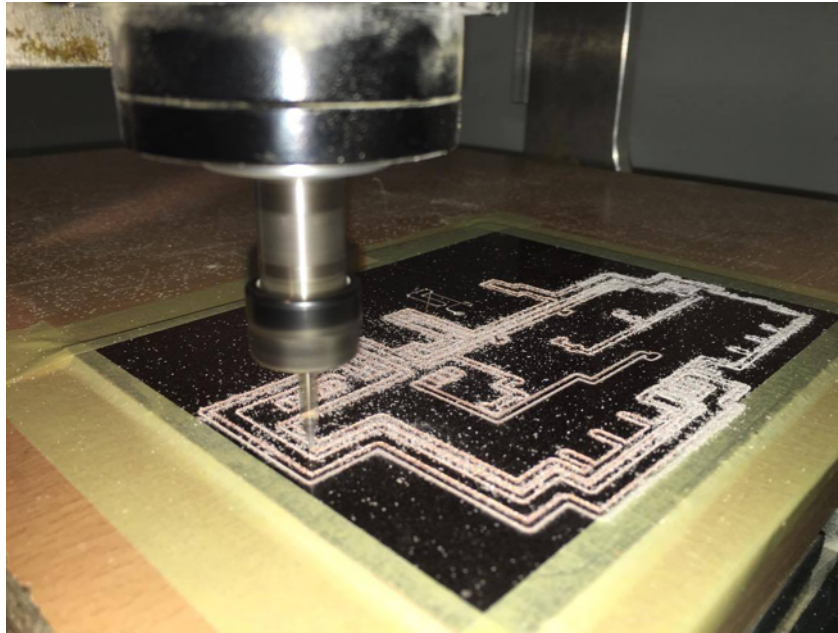


Slika 35: Regulator napetosti LM2596 DC – DC (Foto: J. Vitko)

3.3.8 Tiskano vezje

Za povezavo vseh električnih komponent smo izdelali tiskano vezje. Najprej smo v programu Sprint-Layout, ki je namenjen hitri izdelavi tiskanih vezij narisali skico našega vezja. V programu smo uporabili že narisane komponente, jih pravilno razporedili, povezali, jih označili in tako je sledila izdelava samega vezja na šolskem CNC koordinatnem rezkalniku. Izbrali smo bakreno ploščico, ki je ustrezala velikosti našega vezja in jo vpeli na mizo rezkalnika. Potem je bilo potrebno glavo rezkalnika pravilno skoordinirati, to smo storili s programom Mach 3. V ta program smo prav tako vnesli skico našega vezja in ta nam jo je spremenil v G-kodo, s pomočjo katere se rezkalnik orientira. Ko nastavimo vse potrebne nastavitve, je potrebno v glavo rezkalnika vstaviti sveder. Nato nastavimo pravilno število vrtljajev in začnemo z izdelavo. Rezkalnik deluje tako, da odstranjuje baker iz površine in posledično

ustvari utore, ki ločijo povezave med seboj. Ko je obdelava končana, naložimo program za vrtanje lukenj na našem vezju, zamenjamo sveder in ponovno ga ponovno zaženemo. Po končni obdelavi izpnemo ploščico in spomočjo multimetra pregledamo ali so vse povezave med seboj ločene in jih v primeru da niso, ločimo in ploščico rahlo zbrusimo.

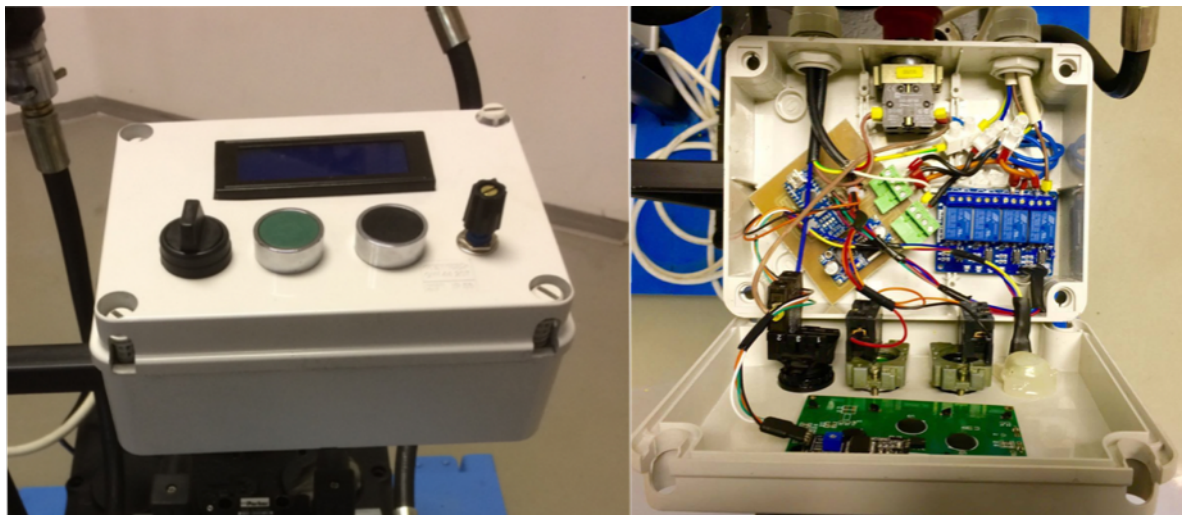


Slika 36: Izdelovanje tiskanega vezja (Foto: D. Vajdec)

3.3.9 Vezava elektronskih komponent

Kasneje je bilo potrebno vse električne komponente združiti. Za vkapljanje motorja smo izbrali enopolno industrijsko stikalo in tako ločili močnostni del od krmilnega. Potem je sledilo pritrdjevanje komponent na ploščico. Najprej smo pritrdili konektorje, s pomočjo katerih smo lahko kasneje na ploščico privijali vodnike za napajanje celotnega vezja (24 V) in za krmiljenje ventila. Potem smo prispajkali še regulator napetosti LM2596 in mu njegovo izhodno napetost nastavili na 9 V, kar napaja celotno vezje in mikrokrmilnik Arduino. Na vezje smo priključili tudi relejsko ploščico, na kontakte posameznega releja pa smo priključili napajalno napetost (24 V), ki v primeru vklopa releja vkaplja smeri ventila. Povezave za zaslon, dve tipki in potenciometer smo prispajkali direktno na ploščico zaradi boljšega stika. Prav tako smo na vezje prispajkali Arduino, ki pa ga je mogoče za programiranje tudi odstraniti in ponovno pritrditi. Celotno vezje in komponente smo vstavili v škatlo, na kateri smo izrezali

prostor za zaslon in tipke, dodali pa smo še varnostno stikalo, ki ga v primeru nevarnosti pritisnemo in tako izklopimo celotno napravo. Škatlo smo namestili na delovno višino za boljše upravljanje same naprave.



Slika 37: Celotno vezje v škatli (Foto: J. Vitko)

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

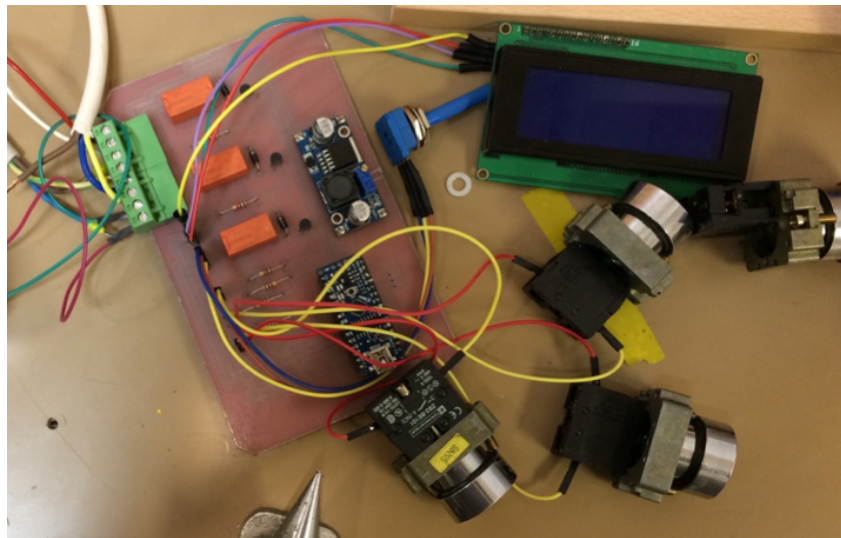
Naprave za krivljenje cevi se danes uporabljajo na veliko področjih tehnike. V Sloveniji sicer manj kot drugod po svetu. Na primer v Ameriki so te naprave skoraj v vsaki delavnici, kjer je potrebno samo malo krivljenja. Za ta projekt oziroma raziskovalno nalogo smo se odločili, ker to področje še ni dodobra raziskano v naši državi, kot tudi na predlog mentorja. Osredotočili smo se na naprave, ki cevi vlečejo in ne potiskajo. Cene takšnih hidravličnih naprav se v Sloveniji gibljejo od 700-2000 €. Naprave znanih podjetij v Ameriki pa se gibljejo tudi do vrtočlavih 3000 €. Zato smo se odločili narediti tudi napravo, ki bi se lahko primerjala s profesionalnimi ameriškimi napravami, z dodatkom avtomatskega načina in hkrati z zelo nizkimi stroški. Napravo bi prav tako bilo potrebno priključiti na trifazni izvor napetosti, saj bi sama črpalka z rezervoarjem že bila na mobilnem ogrodju, s katerim bi lahko napravo tudi premikali.

Zastavili smo si sledeče hipoteze

1. Možna je izdelava naprave, ki je enostavna za uporabo

Hipotezo smo potrdili. Izdelava naprave, ki je enostavna za uporabo je seveda mogoča, vendar smo med raziskavo naleteli na veliko ovir. Sprva smo si zadali cilj narediti vezje, ki bi ga krmilili z mikrokrmilnikom Arduino, kar je seveda uspelo. V vezje smo vključili 3 releje, pretvornik napetosti iz 24 V DC v 12 V DC, tri tranzistorje ter antiparalelne diode, upore vrednosti 1 k Ω in tipke. Vezje je nekaj časa delovalo, kar se tiče samega cilindra in črpalke. A se nismo zavedali, da v našem vezju prihaja do napetostnih konic neznanega izvora. Med ugotavljanjem vira težav so se nam uničili 4 mikrokrmilniki Arduino. Najprej smo poskušali z vezanjem antiparalelnih diod na tuljave elektromagnetnega hidravličnega ventila, kar pa ni pomagalo. Sledilo je poskušanje z nižjo napetostjo, kar ni delovalo. Naslednja mogoča težava je bila, da se napetostne konice pojavljajo na pretvorniku napetosti, zato smo mikrokrmilnik vezali na svoj izvor napetosti, ki je bil 9 V adapter. To je za nekaj časa rešilo težavo, a problem je nastal, ko smo želeli sestaviti samo vezje, v katerega pa nismo mogli vključiti velikega adapterja. Zato smo morali poiskati novo rešitev. Po poskusu uporabe manjšega adapterja z napetostjo 9 V se nam je uničil še en mikrokrmilnik, saj nismo preverili ali je adapter stabiliziran (to pomeni, da je nazivna napetost ves čas enaka, tudi ko breme oziroma porabnik

ni priključen). Zaradi tega je adapter v resnici proizvajal napetost 16 V, saj naš porabnik ni bil dovolj velik.

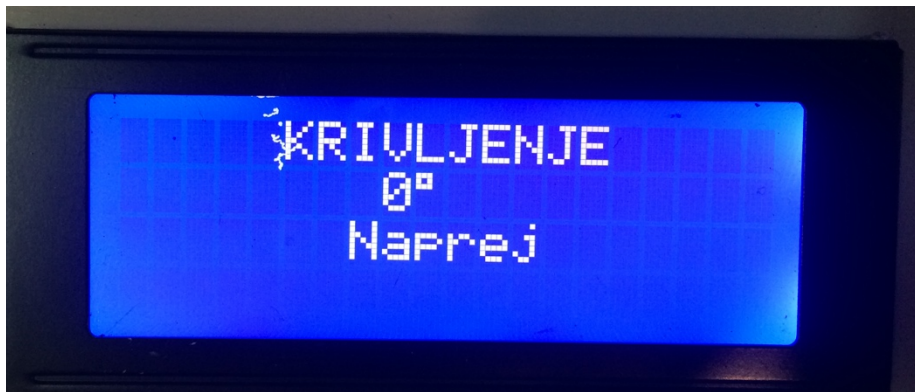


Slika 38: Staro vezje (Foto: J. Vitko)

Nazadnje smo se odločili, da bomo uporabili relejsko ploščico z optičnimi spojniki, ki ločijo vezje mikrokrmilnika od preostalega vezja in ga s tem zaščitijo pred preobremenitvami in napetostnimi konicami, ki bi se lahko pojavile, ko smo združili vse negativne potenciale na vezju. Odločili smo se narediti manjše, a bolj učinkovito vezje, ki ne bi povzročalo težav z napetostnimi konicami. Vezje smo izrisali v programu Sprint layout ter ga nato dali zrezkati na rezkalnik, ki ga imamo pri praksi. Ko smo vezje povezali še na elektromotor ter ventile, se je to ob preizkušanju obneslo, kot je bilo načrtovano. Sama uporaba je tako, kljub zahtevni izdelavi in veliko porabljenega časa, enostavna, saj se za vklop uporablja eno stikalo, za krmiljenje pa dve tipki ter potenciometer, ki določa ali bo vklopljen avtomatski ali ročni način krivljenja.

Našo napravo smo izdelali tako, da deluje na dva možna načina, avtomatsko in ročno krmiljenje. Za začetek moramo napravo vklopiti. To storimo z navadnim stikalom, ki vklopi elektromotor. Ta požene črpalko, ki olje črpa po hidravličnem sistemu. S pomočjo potenciometra nastavimo kot krivljenja. Če je kot krivljenja nastavljen na manj kot 4 stopinje, lahko uporabljamo ročno krmiljenje. Ko pa je kot krivljenja nastavljen na več kot 4 stopinje, lahko vklopimo avtomatski način. Mejo 4 stopinje smo izbrali iz vidika zagotovitljivosti, da se

ne bi zaradi možnosti pojava motenj spremenila vrednost potenciometra, kar bi lahko vodilo do aktiviranja oziroma vklopa avtomatskega načina krmiljenja.



Slika 39: Zaslون pri ročnem načinu krmiljenja (Foto: J. Vitko)

Ko je motor vklopljen in je aktiviran ročni način krmiljenja, lahko za krivljenje cevi držimo zeleno tipko. Ko pa je dosežen zelen kot krivljenja, moramo držati črno tipko za povratek valja v prvotno stanje. Ko je motor vklopljen in je aktiviran avtomatski način krivljenja je na potenciometru nastavljen zelen končni kot cevi. Ob pritisku na zeleno tipko se začne krivljenje cevi. Če je nastavljen kot krivljenja manjši kot 30 stopinj (30 stopinj je maksimalen zakrivljen kot v enem hodu valja), se izpiše na zaslonu da za nadaljne krivljenje praestane 0 nič stopinj. Na zaslonu se izpiše napis: "IZSTAVI ZATIČ" in ko je ta izstavljen, lahko ponovno pritisnemo zelen gumb, ki vrne valj v prvotno stanje. Ob prednastavitvi potenciometra na kot večji od 30 stopinj pa je potrebno za končen kot več hodov valja. Pri vsakem hodu je potrebno zatič izstaviti in ponovno vstaviti, vse to se izpiše na zaslonu. Na koncu postopka pa se izpiše "KONEC". S črno tipko program ponastavimo in ponovno lahko začnemo od začetka.



Slika 40: Zaslون pri avtomatskem krivljenju (Foto: J. Vitko)

2. Krivljenje z napravo, ki cev vleče je hitrejše in natančnejše od naprave, ki cev potiska.

To hipotezo smo delno ovrgli. Krivljenje z našo napravo za vlečenje je bilo počasnejše, saj lahko v enem hodu zakrivimo le 30 stopinj in se je potem potrebno vrniti nazaj v izhodiščni položaj in postopek ponoviti. Pri napravi s potiskanjem je bilo krivljenje hitrejše, saj naprava cev preoblikuje iz dveh strani in v enem hodu, vendar je največji kot krivljenja 90 stopinj. Pri takšni napravi prav tako ne vemo za koliko stopinj je cev že zakrivljena, saj se cev začne kriviti v sredini in imamo slab nadzor nad velikostjo zakrivljenega kota, torej je natančnost manjša.

Pri naši napravi, ki lahko krivi do 180 stopinj, smo želeli vključiti merilno letev, vendar smo se bolj osredotočali na avtomatsko krivljenje, ki pa samo izpisuje, koliko stopinj bo naprava krivila in koliko jih še mora. To nam je uspelo s pomočjo krmiljenja časa, vendar smo med raziskovanjem ugotovili, da se čas glede na obremenitev valja spreminja. Prav tako je čas potiskanja daljši, kot čas vlečenja, saj je pri potiskanju pri istem pretoku površina večja kot pri vlečenju. Potrebno bi bilo dodati še senzor, ki nam bi pri ročnem načinu na zaslon izpisoval že zakrivljen kot cevi, pri avtomatskem pa bi še lažje in natančneje nadzirali pomik in kot krivljenja. Pri obeh napravah je dobro upoštevati plastično deformacijo cevi, oziroma hookov zakon, kar pomeni, da se cev po določenem delovanju sile plastično deformira, a se po prenehanju delovanja sile, za nekoliko vrne nazaj v prvotno stanje.



Slika 41: Naprava za krivljenjem s potiskanjem (Foto: L. Hergold)

3. Pri krivljenju cevi ne pride do deformacije v krivini

To hipotezo smo potrdili. Odločili smo se, da bomo krivili cevi premera 50 mm, zato smo upogibno kolo ter vodilo cevi prilagodili tej meri. Za krivljenje brez deformacij je potrebno izbrati pravilni premer cevi, saj se je cev popolnoma prilagodila upogibnemu kolesu in vodilu, ki preprečujeta, da bi se cev med krivljenjem premikala. Sprva smo poskusili ukriviti cev premera 40 mm, vendar so se pri krivljenju pojavile deformacije, ki so poškodovale cev in spremenile njen prerez iz okroglega v elipsastega.

Težave pa so se pojavile v vlečenju cevi po vodilu. Cev se je večkrat po površini poškodovala, saj so bili na vodilu ostri robovi, ki so cev rezali po površini. Potrebno je bilo izdelati oglate robove. Zaradi velike površine utora v vodilu je nastajalo trenje med samim vodilom in cevjo, kar je preprečevalo gladko drsenje cevi. Za preprečitev te težave smo se odločili namestiti teflonsko prevleko na vodilo ali pa zagotoviti mazanje.

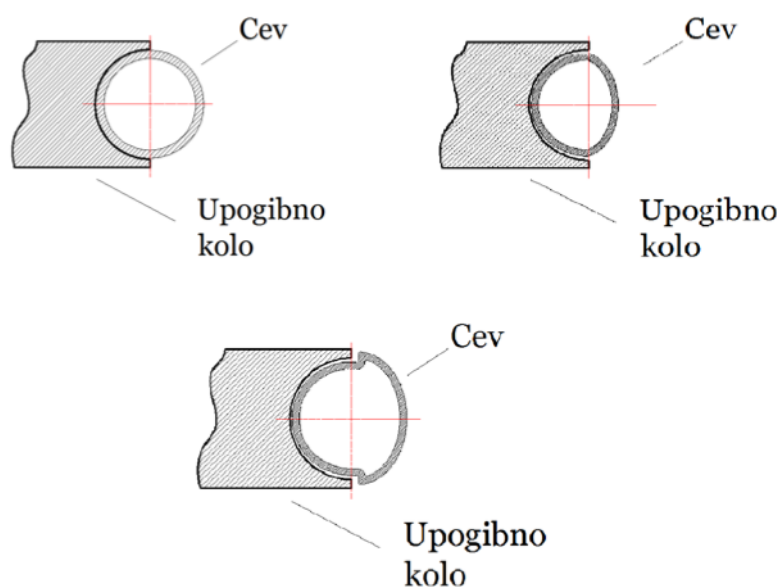


Slika 42: Krivljenje brez deformacij (Foto: J. Vitko)

4. Brez deformacij lahko krivimo več različnih cevi z istim upogibnim kolesom

To hipotezo smo ovrgli. Če uporabljamo upogibno kolo, v našem primeru z utorom premera 50 mm, lahko brez deformacij krivimo samo cevi takšnega premera. V primeru manjše cevi se bo ta ob krivljenju poskušala prilagoditi preostalemu prostoru v utoru velikosti 50 mm, kar pa manjšo cev splošči oziroma deformira v obliko elipse. V primeru, da je cev, ki jo krivimo večja od premera utora v upogibnem kolesu, pa se bo del cevi prilagodil utoru in se pri tem deformiral, kar pa se ne bo uspelo prilagoditi utoru, se bo poskušalo ukriviti po najenostavnejši poti, ki pa je čez 5 mm debele stene upogibnega kolesa.

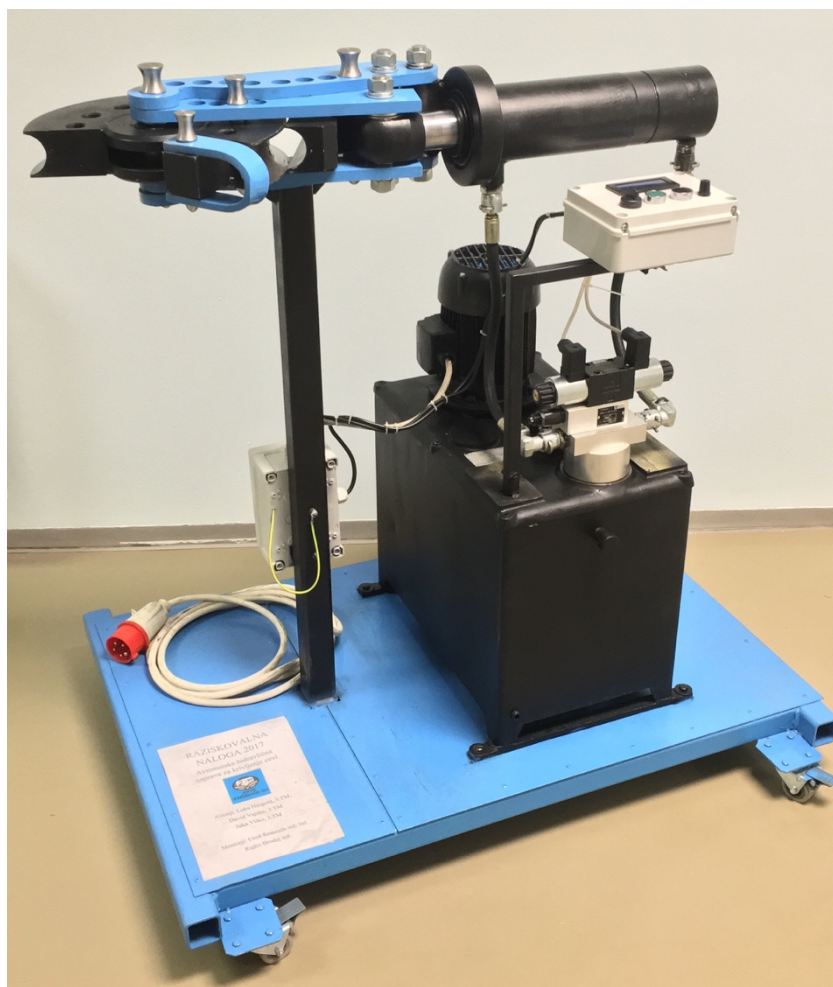
To smo ugotovili iz samega poizkušanja, ko smo v upogibno kolo najprej zaradi pomanjkanja dovolj velikih cevi vstavili premajhno cev, ki se je deformirala, kot smo pričakovali in opisali. Prav tako se je napovedana deformacija pojavila pri ceveh, ki so bile večje, kot bi lahko bile. Ob vstavitvi primerno velikih cevi se deformacija v krivini ali ob prilagajanju utoru v upogibnem kolesu ni pojavila, saj se cev zaradi predhodnega ujemanja z utorom ni mogla deformirati ali prilagoditi v katero koli drugo smer oziroma obliko.



Slika 43: Oblike cevi po deformacijah (ustrezna, premajhna in prevelika cev) (Foto: D. Vajdec)



Slika 44: Deformacija cevi zaradi premajhnega premera (Foto: D.Vajdec)



Slika 45: Končni izdelek (Foto: D. Vajdec)

5 ZAKLJUČEK

Med nastajanjem naše raziskovalne naloge smo pridobili obilo znanja iz različnih področij tehnike in tehnologije, še posebej iz področij, ki so nam bila predhodno manj poznana. Ta področja zajemajo programiranje, hidravliko, kjer smo spoznali tipe črpalk, cevi in priključkov in samo sestavljanje vezja, ki vključuje mikrokrmilnik Arduino. Poleg vsega smo raziskali in se naučili veliko novega o tehnologiji in znanosti, ki se skriva za preoblikovanjem navadnih kovinskih cevi. Samo z znanjem pridobljenim pri pouku bi težko dokončali to raziskovalno nalogo.

Krivilne naprave, ki so avtomatske, že obstajajo, vendar smo se mi odločili izdelati svojo. Naš cilj je bilo enostavno, uporabniku prijazno krmiljenje, zato smo pri raziskavi vrst krmiljenj in o njihovi izdelavi izvedeli veliko koristnih informacij. Zaradi številnih neuspehov in ponovnih poskusov smo bili postavljeni v čevlje pravih raziskovalcev, ki jim velikokrat spodleti in se z vsakim neuspehom naučijo nekaj novega. Kot je dejal Tomas A. Edison: “Ni mi spodletelo, odkril sem le 10000 načinov, ki ne delujejo.“

Zadan cilj smo dosegli, same izboljšave z vidika strojnega dela oziroma konstrukcije ne bi bile potrebne, kar pa se tiče krmiljenja, bi se dalo uporabiti različne mikrokrmilnike, mogoče zanesljivejše in manj občutljive.

Za izboljšanje naše naprave bi bilo potrebnih še nekaj sledečih izboljšav:

- Na valj pritrditi linearni potenciometer, ki bi se vedel kot senzor, da bi vedeli, kakšen kot je že zakrivljen. Uporabljal bi se tudi za nadomestitev krmiljenja časa ter bi bil zanesljivejši in natančnejši.
- Hidravlično vezje bi spremenili tako, da bi bila dušilka vezana tik pred hidravličnim valjem in bi dušila pot valja naprej.
- Namestili bi še sistem , ki bi upogibno kolo držal na mestu ob povratnem gibu cilindra.

6 ZAHVALE

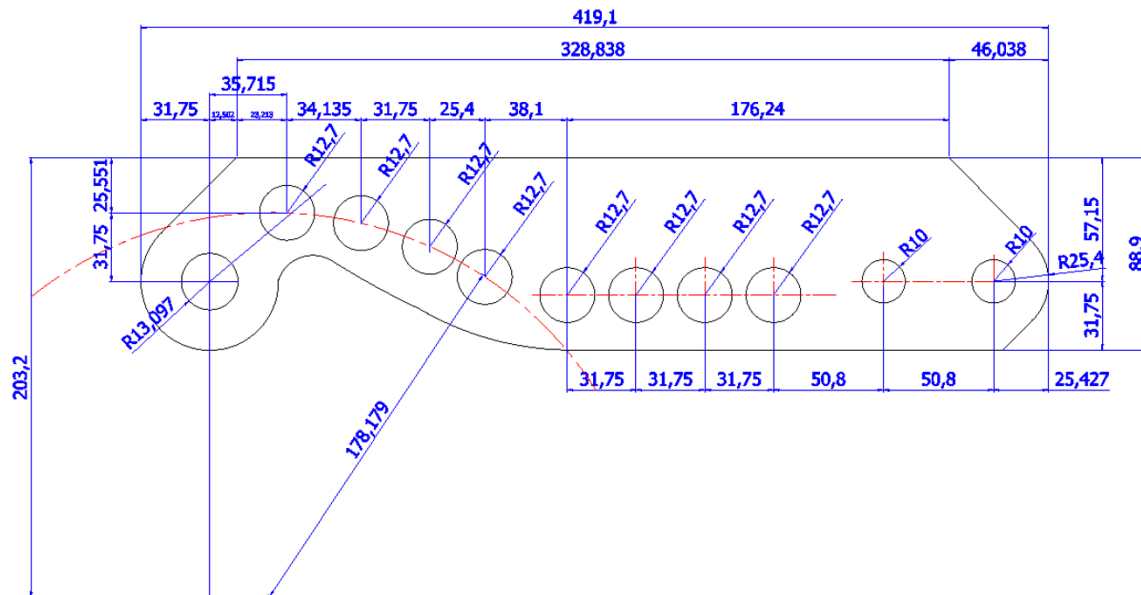
Za pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge se zahvaljujemo:

- Mentorjema, g. Rajku Brodeju in g. Urošu Remenihu, ki sta nam pomagala in ob vsaki težavi bila v podporo. Tako smo vedno poiskali preproste in odlične rešitve;
- G. Petru Ažmanu za pomoč pri rezkanju in izdelavi ključnih delov naprave,
- Podjetju CNC P&K Pušnik za izdelavo zatičev,
- G. Vladu Seitlu za pomoč in svetovanje,
- Dr. Nataši Meh Peer za lektoriranje raziskovalne naloge,
- Ga. Jolandi Melanšek za lektoriranje angleške različice povzetka,
- Našim prijateljem in sorodnikom za podporo pri nastajanju naloge,
- ŠC Velenje – Elektro in računalniški šoli, ki nam je nudila odlične pogoje za izdelavo raziskovalne naloge

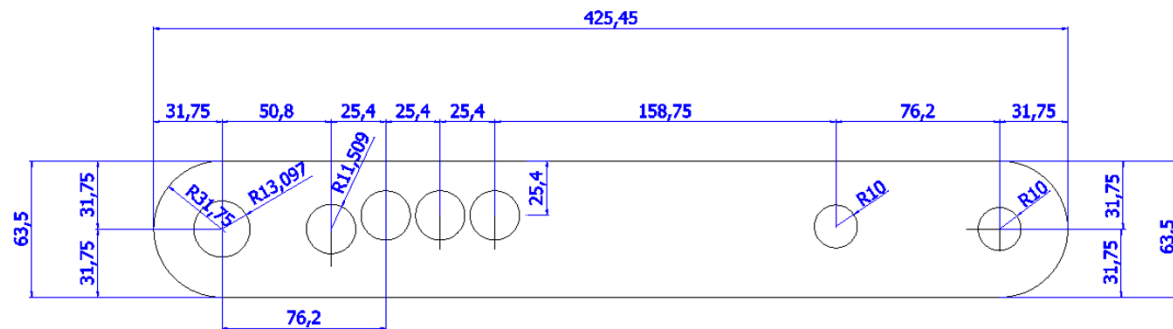
7 VIRI IN LITERATURA

- [1] http://www.aceroplatea.es/docs/comites/documento5_82.pdf 5.2.2017
- [2] <https://www.giz.de/expertise/downloads/Fachexpertise/en-metalwork-pipe-fitting-pipe-bending.pdf> 5.2.2017
- [3] http://www.maurer-markus.ch/ford_a/tipps_rohr_biegen.html 5.2.2017
- [4] <http://www.varesi.si/trgovina/avtogena-oprema/perkeo/hlajenje-klimatizacija/orodje-za-obdelavo-cevi/467-03-1006> 5.2.2017
- [5] Bartenschlager J. 2005. Mehatronika. Fachkunde Mechatronik. Europa Lehrmittel, Nemčija.
- [6] http://www.trick-tools.com/Pro_Tools_MB_105HD_Heavy_Duty_Manual_Tubing_Bender_MB_105HD_514_2 5.2.2017
- [7] http://www1.dem.ist.utl.pt/engopt2010/Book_and_CD/Papers_CD_Final_Version/pdf/06/015_06-01.pdf
- [8] <http://www.tradekorea.com/product/detail/P299619/STU-hydraulic-flow-control-valves.html> 5.2.2017
- [9] <http://www.valvehydraulic.info/hydraulic-pressure-control/hydraulics-unloading-valve-basic-principle-and-symbol.html> 5.2.2017
- [10] <http://www.vikramhydraulic.com/product.html> 5.2.2017
- [11] <https://dk.um.si/Dokument.php?id=52916> 5.2.2017
- [12] <http://www.nuttyengineer.com/product/arduino-nano-origioinal/> 5.2.2017
- [13] http://lrtme.fe.uni-lj.si/lrtme/slo/UNIVSS/meri_pret/seminar%202011/andrej_lazovic_in_andrej_pizmoht_potencimeter_in_induktivni_dajalnik_pozicije.pdf 5.2.2017
- [14] <http://www.schrack.si/trgovina/rele-rt-z-2-kontakta-2x8a-12vdc-5-mm-bistabilni-rt424f12.html> 5.2.2017
- [15] <http://www.chopperhandbook.com/bender.htm> 5.2.2017

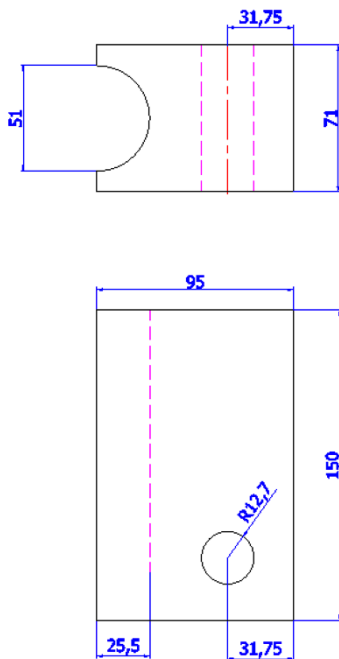
8 PRILOGE



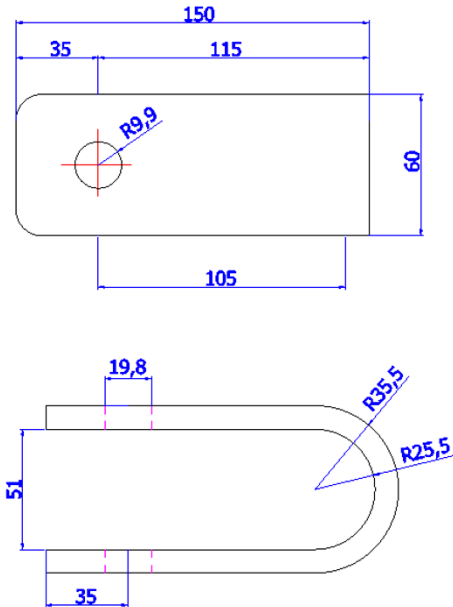
Priloga 1: Tehniška risba podpornih rok Vir: [15]



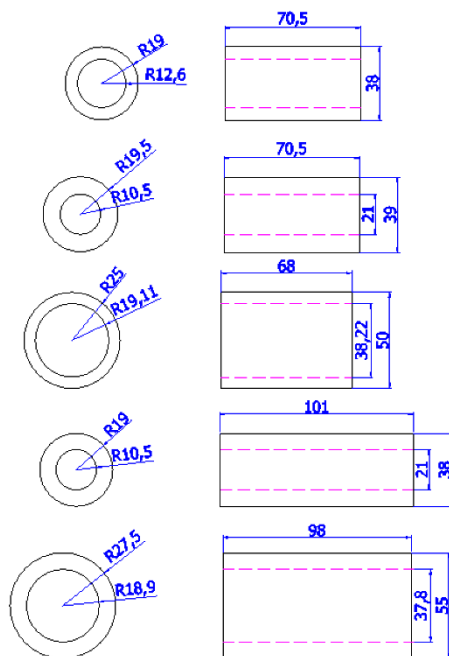
Priloga 2: Tehniška risba podpornih rok Vir: [15]



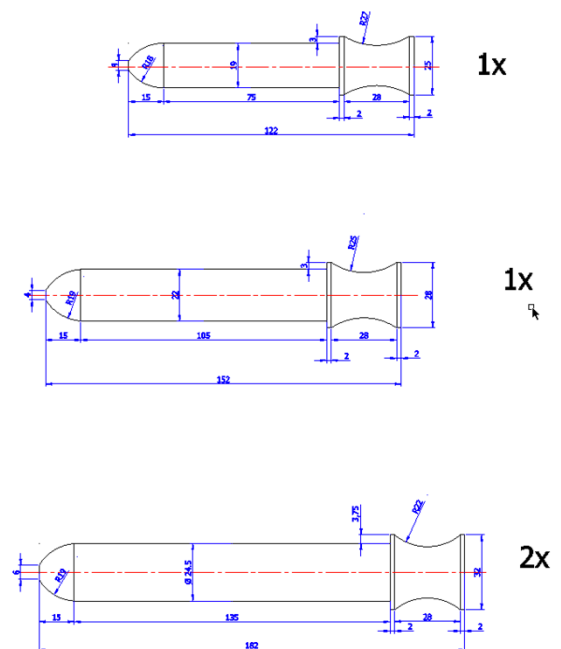
Priloga 4: Tehniška risba vodila Vir: Lasten



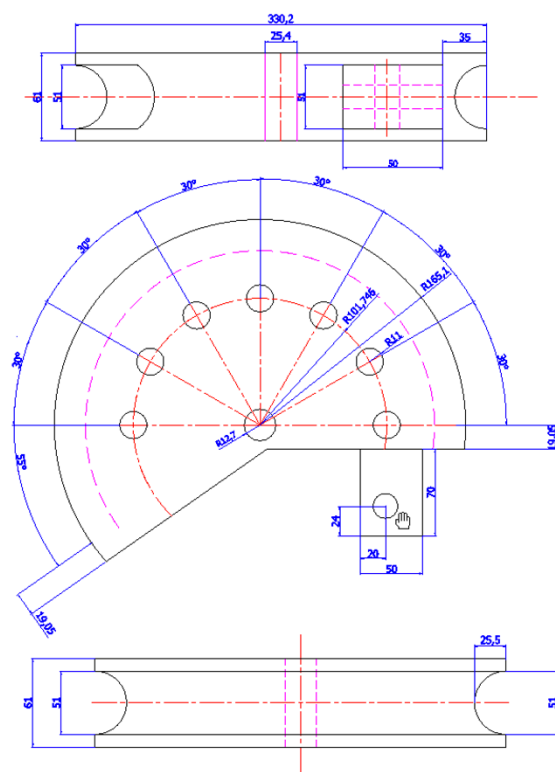
Priloga 3: Tehniška risba objemke Vir: Lasten



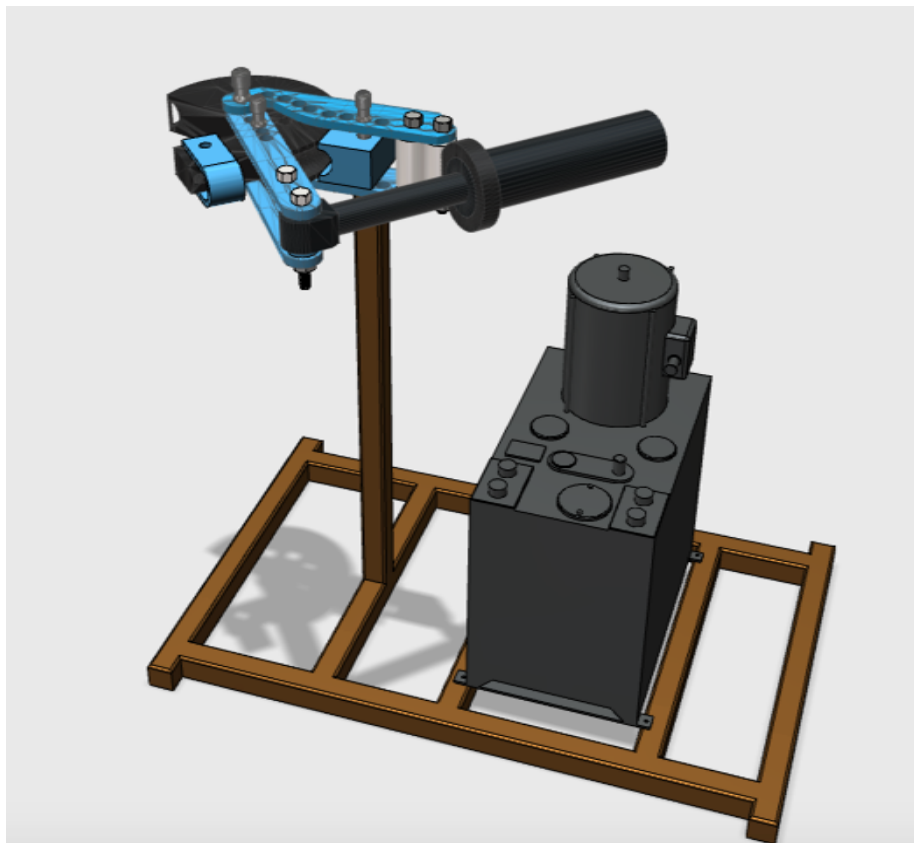
Priloga 5: Tehniška risba puš Vir: Lasten



Priloga 6: Tehniška risba zatičev Vir: Lasten



Priloga 7: Tehniška risba upogibnega kolesa Vir: [15]



Priloga 8: 3D izris naprave za krivljenje cevi Vir: Lasten

8.1 Priloge programa

```
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define tipka1 6
#define tipka2 7
#define tipka3 8
|
#define naprej 4
#define nazaj 5

int pot = 3, stopinje, cas = 0, sezazvit = 0;
boolean executevkl = false, prizgano = false, izenacisezazvit = true;
float casstopinja = 0.116; //nota so sekunde!!

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7);
```

Priloga 9: Seznam uporabljenih knjižnic in spremenljivk Vir: Lasten

```
////////////////////////////////////// ročno krmiljenje
if(stopinje < 4)
{
  if(digitalRead(tipka1) == HIGH && digitalRead(tipka2) == LOW )
  {
    digitalWrite(naprej, LOW);
    lcd.setCursor(7,2);
    lcd.print("Naprej");
  }

  if(digitalRead(tipka2) == HIGH && digitalRead(tipka1) == LOW)
  {
    digitalWrite(nazaj, LOW);
    lcd.setCursor(7,2);
    lcd.print("Nazaj");
  }

  if(digitalRead(tipka1) == LOW)
  {
    digitalWrite(naprej, HIGH);
  }

  if(digitalRead(tipka2) == LOW)
  {
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
  }

  if(digitalRead(tipka2) == LOW && digitalRead(tipka1) == LOW)
  {
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("          ");
  }
}
}
```

Priloga 10: Ročno krmiljenje Vir: Lasten

```

////////////////////////////////////// avtomatsko krmiljenje
if(izenacisezazvit == true)
{
    sezazvit = stopinje;
}
//////////////////////////////////////
if(stopinje > 30 && sezazvit > 30 && digitalRead(tipka1) == HIGH )
{
    izenacisezazvit = false;
    digitalWrite(naprej, LOW);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    cas = 30 * casstopinja * 1000;
    delay(cas);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    lcd.setCursor(3,3);
    lcd.print("IZTAVI ZATIC");
    while(digitalRead(tipka1) == LOW){
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print("NAZAJ");
    digitalWrite(nazaj, LOW);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    delay(cas);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    sezazvit -=30;
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(2,2);
    lcd.print("Do konca :");
    lcd.print(sezazvit);
    lcd.print((char)223);

    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(3,3);
    lcd.print("VSTAVI ZATIC");
}

if((stopinje > 10) && (stopinje <= 30 || sezazvit <= 30) && digitalRead(tipka1) == HIGH)
{
    cas = sezazvit * casstopinja * 1000;
    digitalWrite(naprej, LOW);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print("NAPREJ");
    delay(cas);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(3,3);
    lcd.print("IZSTAVI ZATIC");
    while(digitalRead(tipka1) == LOW){
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print("NAZAJ");
    digitalWrite(nazaj, LOW);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    delay(cas / 1.62);
    digitalWrite(nazaj, HIGH);
    digitalWrite(naprej, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(8,3);
    lcd.print("KONEC");

    delay(3000);
    while(digitalRead(tipka2) == LOW){
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(" ");
    izenacisezazvit = true;
}

//////////////////////////////////////
}

```