

Šolski center Celje

Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

IZDELAVA CNC REZKALNEGA STROJA

Raziskovalna naloga

Področje: strojništvo

Avtorja:

Staš Doberšek, M-4. c

Jaka Kočet, M-4. c

Mentorja:

mag. Andro Glamnik, univ. dipl. inž.

Aleš Ferlež, mag. inž. energ.

Celje, marec 2022

IZJAVA

Mentorja Aleš Ferlež in Andro Glamnik, v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljava, da je v raziskovalni nalogi z naslovom Izdelava CNC rezkalnega stroja, katere avtorja sta Jaka Kočet in Staš Doberšek:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisnimi pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, _____

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

POVZETEK

Dandanes si sodobne industrije ne znamo več predstavljati brez avtomatizirane proizvodnje. V to spada tudi CNC-obdelava, ki zajema veliko ponovljivost, točnost in večjo serijsko produktivnost. S tem namenom smo se odločili izdelati CNC rezkalni stroj za les, ki bo pripomogel k večji produktivnosti podjetja. Raziskovalna naloga vsebuje podrobno predstavitev CNC-strojev, konstruiranje, izdelavo konstrukcije, montažo komponent in zagon naprave. Stroj smo skonstruirali sami s pomočjo programov za 3D-modeliranje, prav tako smo sami varili konstrukcijo, vse dele, ki so potrebovali strojno obdelavo, smo izdelali s pomočjo nekaterih podjetij. Celotno elektroinštalacijo smo izvedli sami, enako tudi testiranje in zagon. Kljub vsemu smo na koncu ugotovili, da so izboljšave še vedno možne. Pri delu smo pridobili veliko novih znanj in neprecenljivih izkušenj za našo nadaljnjo strokovno pot.

Ključne besede: CNC-stroj, konstruiranje, 3D-modeliranje

SUMMARY

Today, we cannot imagine modern industry without automated production. This, of course, includes CNC machining, which brings high repeatability, accuracy and higher serial productivity. To this end, we have decided to build a CNC milling machine for wood, which will help to increase a company's productivity. The research paper includes a detailed presentation of CNC machinery, design, manufacture, assembly of components and the commissioning of the device. We designed the machine ourselves using 3D modelling software and we also welded the structure ourselves, whereas the parts that required machining were made with the help of some companies. Besides, all the electrical installations, as well as the testing and commissioning was carried out by ourselves. Despite investing a lot of time in market research, planning and consulting, we finally realised that there was still room for improvement. What we gained was a lot of new knowledge and invaluable experience for our future career.

Key words: CNC machine, 3D modelling, construction

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	OPIS OBRAVNAVANEGA PROBLEMA.....	1
1.2	HIPOTEZE	1
1.3	STRUKTURA RAZISKOVALNEGA DELA.....	2
2	CNC-STROJI.....	3
2.1	ZGODOVINA RAZVOJA	5
2.2	ZNAČILNOSTI CNC-STROJEV.....	5
2.3	MERJENJE POTI IN POLOŽAJA OSI.....	6
2.4	PODATKI O POLOŽAJU IN KOORDINATNI SISTEM	7
2.5	NAČIN KRMILJENJA.....	8
2.6	CNC-PROGRAM	9
2.7	PROGRAMIRANJE CNC PROIZVODNIH STROJEV	10
2.8	RAZISKAVA TRGA.....	10
3	KONCIPIRANJE	12
3.1	ZAHTEVNIK	12
3.2	KONCEPTNA SLIKA IN ORGANIZACIJSKA SHEMA.....	13
3.3	MOŽNE PREDSTAVITVE.....	15
3.3.1	Konstrukcija iz zakrivljene pločevine	15
3.3.2	Konstrukcija iz jeklenih profilov	15
3.3.3	Izvedena konstrukcija	16
4	KONSTRUIRANJE	18
4.1	KONSTRUIRANJE DELOV	18
4.1.1	Podnožje	20
4.1.2	Miza.....	21
4.1.3	Most.....	22
4.1.4	Z os	23
4.2	IZBIRA STANDARDNIH DELOV	24
5	IZDELAVA IN TESTIRANJE	26

5.1	IZDELAVA SESTAVNIH DELOV	26
5.1.1	Izdelava podnožja	27
5.1.2	Izdelava mize	30
5.1.3	Izdelava mostu	34
5.1.4	Izdelava nosilnih nog mostu	36
5.2	PESKANJE IN BARVANJE S TEMELJNO BARVO	37
5.3	STROJNA OBDELAVA SESTAVNIH DELOV KONSTRUKCIJE	42
5.3.1	Rezkanje	42
5.3.2	Vrtanje in izdelava navojev	43
5.4	MONTAŽA KOMPONENT	45
5.4.1	Montaža zobatih letev in vodil	45
5.4.2	Montaža stebrov, mostu in z osi	47
5.4.3	Montaža servomotorjev in reduktorjev	50
5.4.4	Montaža energetskih verig	52
5.4.5	Montaža električne inštalacije	54
5.5	VARNOST	59
5.6	TESTIRANJE	60
5.7	ZAGON	61
6	PREDSTAVITEV REZULTATOV	62
7	ZAKLJUČEK	64
8	VIRI IN LITERATURA	65

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema krmiljenja CNC-stroja	4
Slika 2: Nesting linija KDT	11
Slika 3: Obdelovalni center Morbidelli Author X5	11
Slika 4: Konstrukcija iz pločevine	15
Slika 5: Konstrukcija iz jeklenih profilov	16
Slika 6: Konstrukcija, ki je bila izdelana.	16
Slika 7: Konstrukcija, izbrana za izdelavo	17
Slika 8: Model nosilne plošče z osi	19
Slika 9: Skonstruiran nosilni steber	20
Slika 10: Model podnožja.....	20
Slika 11: Model mize.....	21
Slika 12: Model sestave mostu	22
Slika 13: Model sklopa z osi	23
Slika 14: Material za izdelavo	26
Slika 15: Material za izdelavo	26
Slika 16: Rezanje z ročno plazmo	28
Slika 17: MIG-varjenje	29
Slika 18: Profila in profil z rezervoarjem za vakuum črpalko.....	30
Slika 19: Zvarjeno podnožje.....	30
Slika 20: Razrezan material z laserskim razrezom.....	31
Slika 21: Varjenje jeklenih valjancev	32
Slika 22: Varjenje mize na podnožje	32
Slika 23: Miza, zavarjena na podnožje.....	33
Slika 24: Miza in podnožje zavarjena.....	33
Slika 25: Varjenje jeklenega valjanca na konstrukcijo mostu	34

Slika 26: Varjenje plošč za pritrditev stebrov	35
Slika 27: Stebra mostu v postopku sestave.....	36
Slika 28: Steber mostu zavarjen	37
Slika 29: Prikaz postopka peskanja	38
Slika 30: Peskanje stebrov.....	38
Slika 31: Konstrukcija v temeljni barvi.....	39
Slika 32: Pobarvano podnožje	40
Slika 33: Pobarvan most.....	41
Slika 34: Rezkalni stroj Bohrwerk	42
Slika 35: Obdelani sestavni deli z osi.....	43
Slika 36: Vrtanje.....	44
Slika 37: Vrezovanje navojev.....	44
Slika 38: Namestitev vodil in zobate letve	45
Slika 39: Nameščeno vodilo in zobata letev.....	46
Slika 40: Združena konstrukcija in most	47
Slika 41: Namestitev drsnih vozičkov	48
Slika 42: Montaža z osi na most.....	48
Slika 43: Montaža sklopa druge plošče	49
Slika 44: Sestava servomotorja, reduktorja, nosilca in zobnika.....	50
Slika 45: Namestitev na konstrukcijo.....	51
Slika 46: Montaža reduktorja na x osi	51
Slika 47: Kanal za energetske verige	52
Slika 48: Montaža kanala za energetske verige na x osi.....	52
Slika 49: Montaža kanala in verige na y osi.....	53
Slika 50: Montaža energetske verige na z osi.....	53
Slika 51: Frekvenčni regulator Altivar 31	55

Slika 52: Servoregulatorji z razdelilnimi terminali	56
Slika 53: Krmilnik CS MIO IP-S in vhodno/izhodni modul	57
Slika 54: Napajalnik Siemens.....	57
Slika 55: Varnostni modul XPSUAB31CC.....	58
Slika 56: Releji	59
Slika 57: Semafor	60
Slika 58: Varnostna blazina.....	60

KAZALO TABEL

Tabela 1: Zahtevnik.....	12
Tabela 2: Standardni elementi	24
Tabela 3: Predstavitev hipotez.....	62

Zahvala

Najina iskrena zahvala gre v prvi vrsti staršem, ki so imeli potrpljenje in naju ves čas spremljali. Posebej bi se zahvalila Jakovemu očetu Miroslavu, ki je projekt skrbno spremljal od začetka do konca, nama svetoval, pri nekaterih delih pa tudi pomagal, in mami Andreji, ki je skrbela za finančno plat projekta. Zahvalila bi se rada tudi mentorjema, Alešu Ferležu, mag. inž. energ., in mag. Andru Glamniku, univ. dipl. inž., za vso pomoč pri procesu izdelovanja raziskovalne naloge ter najini profesorici slovenščine, Brigiti Renner, prof., za vso pomoč in nasvete pri oblikovanju raziskovalne naloge ter njen jezikovni pregled. Ker pa je bil projekt tako obsežen, morava izreči zahvalo tudi nekaterim posameznikom in podjetjem, ki so pripomogli k dokončanju naloge. V začetni fazi projekta nama je svetoval g. Anže Plevnik in naju usmerjal pri izbiri konstrukcije in načina konstruiranja. Skozi ves čas naju je spremljal g. Denis Štimulak in naju vodil v ključnih trenutkih in ob pomembnih odločitvah. V podjetju Šeško, d. o. o., so nama pripomogli z laserskim razrezom pločevine in cevi, kar nama je olajšalo delo pri sestavi konstrukcije. G. Andraž Tehovnik iz podjetja Tehovnik, d. o. o., nama je svetoval pri izbiri zobatih letev in zobnikov, ki so nama jih tudi izdelali. Servomotorje in regulatorje sva kupila pri podjetju ProElektronika, kjer so nama jih pomagali dimenzionirati in jih v procesu umerjanja stroja pomagali tudi nastaviti. G. Sašo Goubar in podjetje Tekavc, d. o. o., so nama pripomogli s CNC-obdelavo sestavnih delov z osi stroja. G. Jure Jereb, direktor podjetja Jereb elektronika, d. o. o., nama je svetoval pri ožičenju elektro omare in nama podal primer načrta vezave. Vsem se še enkrat iskreno zahvaljujema za vso pomoč.

UPORABLJENE KRATICE

3D – tridimenzionalno

CAD – Computer Aided Design (računalniško podprto konstruiranje)

CAM – Computer Aided Manufacturing

CNC – Computer Numerical Control

NESTING – postopek razmestitve obdelovancev po surovcu za minimiziranje odpada

WOP – Workshop-Oriented Programming

1 UVOD

CNC-rezkanje in CNC-struženje sta postopka obdelovanja kovin, plastike in lesa z modernimi stroji, ki so krmiljeni z računalnikom. CNC-rezkanje je postopek odrezovanja različnega materiala (kovina, les, umetne mase), pri katerem rezkalo opravlja glavno rotacijsko gibanje. V grobem rezkanje delimo na vertikalno in horizontalno. Tako CNC-struženje kot CNC-rezkanje sta izjemno kakovostna načina obdelave, na katera ne vpliva razpoložljivost delavca, ampak je izdelek vedno iste kakovosti. V raziskovalni nalogi bova predstavila izdelavo CNC rezkalnega stroja za les, ki bo služil za obdelovanje lesenih vzorcev v domači delavnici.

1.1 OPIS OBRAVNAVANEGA PROBLEMA

Cilj naloge je bil izdelati CNC rezkalni stroj za les, ki bo primerljiv s stroji na tržišču. Želeli smo uporabiti servomotorje zaradi zaprtozančnega sistema krmiljenja in krmilnik, ki bi bil neodvisen od Windows operacijskega sistema.

1.2 HIPOTEZE

Cilj raziskovalne naloge je bil primerjati, ali lahko profesionalno izdelan CNC-stroj izdelamo sami doma s primerljivimi specifikacijami za manjšo ceno.

V raziskovalni nalogi smo si postavili naslednje hipoteze:

- H1 – Izdelati CNC rezkalni stroj za les, ki ustreza industrijskim in varnostnim standardom.
- H2 – Izdelati stroj, ki bo deloval po principu "NESTING".
- H3 – Vpenjati obdelovance s pomočjo vakuum mize.
- H4 – S strojem dosegati minimalno hitrost 20 m/min na x in y osi.
- H5 – Stroj izdelati ceneje kot je cena primerljivih strojev na tržišču.

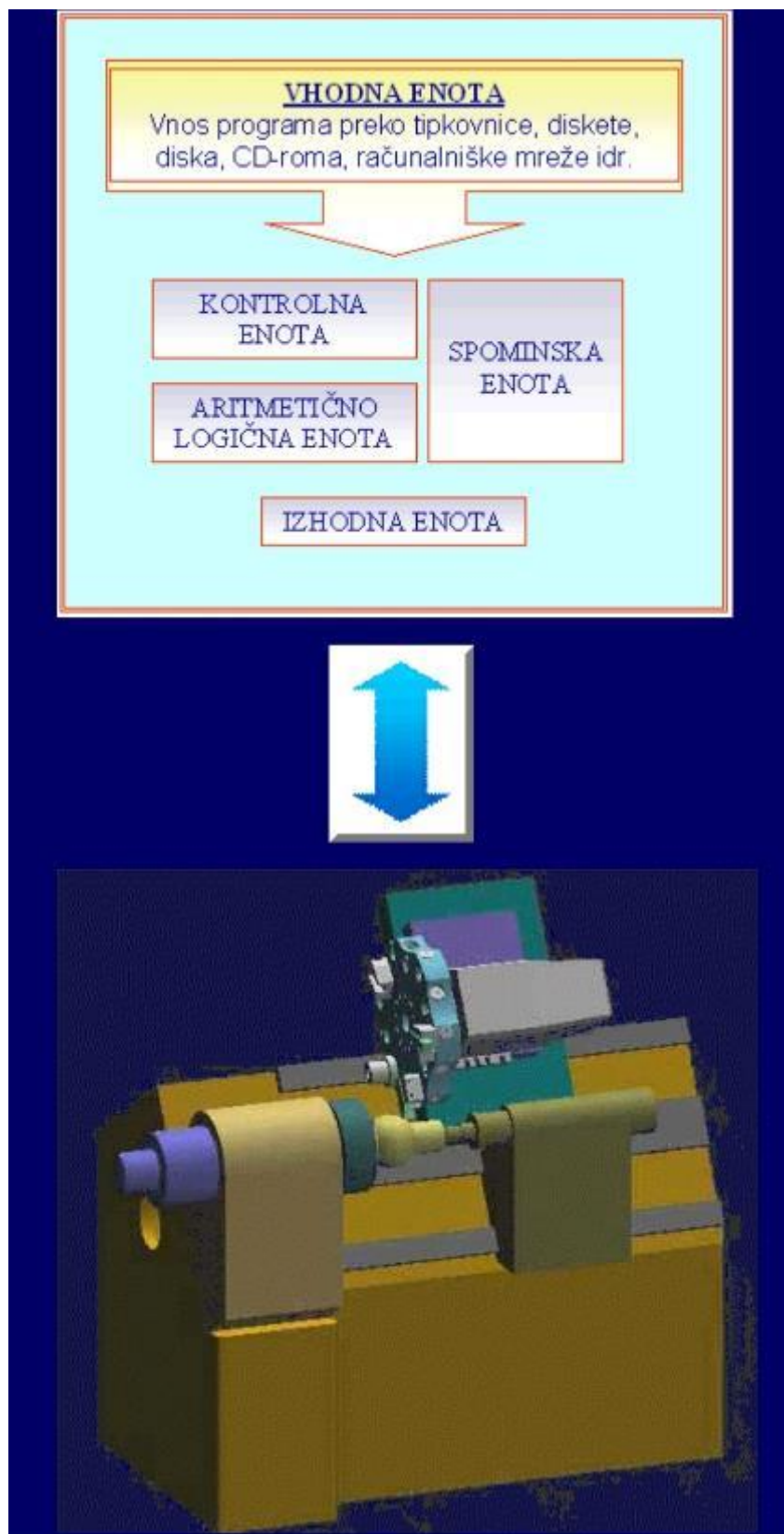
1.3 STRUKTURA RAZISKOVALNEGA DELA

V raziskovalni nalogi smo sprva predstavili temo in si zadali hipoteze. Sledilo je snovanje različnih konstrukcij v programskem okolju Solidworks. Zasnovali smo 3 različne tipe konstrukcij in na koncu izbrali najprimernejšo. Sledilo je naročanje materiala za izdelavo konstrukcije. Ob prispetju materiala smo pričeli z izdelavo konstrukcije, ki je vsebovala različne postopke obdelave. Po končanem varjenju je bila konstrukcija speskana, pobarvana in porezkana. Sledila je montaža vseh strojnih komponent in napeljava električne inštalacije.

2 CNC-STROJI

CNC-stroj je sestavljen iz dveh glavnih delov: stroja, na katerem se izvaja obdelava delov, in CNC-krmilnika, ki to obdelavo krmili. CNC-program, ki vsebuje natančen popis poteka obdelave na stroju, predstavlja vhodne informacije, ki jih CNC-krmilnik potrebuje za krmiljenje obdelave. CNC-stroj je neke vrste avtomat, ki ga lahko prosto programiramo. Njegova glavna značilnost je fleksibilnost, to je možnost hitre preureditve stroja z ene na drugo obdelavo, in sicer z zamenjavo programa in eventualno z manjšimi hitrimi preureditvami stroja. Zato je še posebej primeren za avtomatizacijo maloserijske in srednjeserijske proizvodnje. Računalniško vodeni obdelovalni stroji so torej sestavljeni iz mehanskega dela, ki se po izgledu bistveno ne razlikuje od klasičnega, in iz krmilnega dela, v katerega je vgrajen računalnik, ki vodi in krmili ves proces obdelave izdelka. Osnovne prednosti obdelovalnih CNC-strojov pred klasičnimi so:

- večja produktivnost in izkoriščenost stroja,
- kakovost in natančnost izdelave izdelka,
- nespremenljiva kakovost obdelave,
- manjši stroški izmeta in nadzora,
- krajši obdelovalni časi,
- možnost nadgradnje v smislu večje avtomatizacije,
- izdelava zahtevnih, sestavljenih oblik,
- velika ponovljivost,
- možnost arhiviranja in ponovne uporabe NC-programov.



Slika 1: Shema krmiljenja CNC-stroja

(Vir: www2.sts.si)

2.1 ZGODOVINA RAZVOJA

V sredini 20. stoletja se je začel razvoj CNC-strojev za namenske proizvodne postopke (npr. struženje ali rezkanje). Poteke gibanja na stroju za proizvodjanje želene geometrije obdelovanca krmilimo s programom. V nadaljnjem razvoju so na CNC-delovanje preusmerjeni dodatni postopki izdelave (npr. rezanje z laserjem, plamensko rezanje). Pri klasičnem CNC-stroju gre za samostojen stroj, na katerem se ročno izvaja zamenjava orodja, obdelovanca in programa.

Že v sredini 20. stoletja se pojavijo obdelovalni stroji, ki jih upravljajo števila. Vsi obdelovalni parametri so bili predstavljeni s števili; npr. podajanje, rezalna hitrost, geometrija obdelovanca. Pogosto je bil teoretični in matematični opis poti orodja sicer možen (npr. zahtevni letalski deli), vendar je bila izdelava s pomočjo kopirnih šablon nenatančna.

Po 2. svetovni vojni so v ZDA izdelali prvi NC obdelovalni stroj (Numerical Control; numerično krmiljen). Ta stroj je deloval tako, da je dobival podatke o položaju orodja preko luknjanega traku. Vmesne vrednosti za te položaje so se izračunale in servomotoji so gibanje osi tako krmilili oz. vodili, da je bila izdelana zahtevna kontura. Ukazi so bili po stavkih dovedeni v stroj. Za program ni bilo nobenega pomnilnika; pomnilni medij je bil luknjani trak in krmilje ni bilo sestavni del stroja.

Iz NC-strojev so se z uporabo mikroprocesorjev razvili kompleksnejši CNC-krmilniki (Computer Numerical Control) z velikim naborom funkcij. Danes ni več klasičnih NC-strojev, zato gledamo na pojem NC in CNC kot sinonim (enakoznačno). " (MEHATRONIKA, 2017: 227)

2.2 ZNAČILNOSTI CNC-STROJEV

Za današnje CNC-stroje so tipične naslednje značilnosti:

- Izdelava obdelovanca poteka s pomočjo programa, ki je shranjen v pomnilniku in je izbran za trenutno obdelavo. V tem programu so vsi potrebni obdelovalni podatki: geometrija obdelovanca, podajanje, rezalna hitrost, vklop/izklop hladilne tekočine, orodje in menjava orodja po naročilu prisotnega ukaza. Program se v stroj lahko vnese na naslednje načine: preko komandne plošče stroja, s pomočjo osebnega računalnika (PC), z disketo ali preko računalniškega omrežja (LAN).
- Vse enote za gibanje (npr. osi, vretena, sistem za menjavo orodja) imajo svoj lasten pogon (posamični pogon).

- *Tudi glavno vreteno je gnano z brezstopenjskim pogonskim motorjem, s čimer je zagotovljeno spreminjanje vrtljajev vretena ob spremembi geometrije obdelovanca tako, da je rezalna hitrost konstantna (npr. čelno struženje).*
- *Vsaka os ima svoj regulacijski krog za položaj in število vrtljajev.*
- *Z uporabo brezračnih krogelnih vreten za pogon podajanja je izničena napaka pri spremembi smeri gibanja. To je pri trapeznih vretenih nemogoče.*
- *S pomočjo sistema za avtomatsko menjavo orodja so možne menjave orodja preko ukazov v programu. Zaradi tega lahko posamezni stroj dalj časa deluje brez posega posluževalca npr. en posluževalec lahko posluhuje več strojev. Obrabljeno ali zlomljeno orodje nadomestimo z novim." (MEHATRONIKA, 2017: 229)*

2.3 MERJENJE POTI IN POLOŽAJA OSI

NC-stroj potrebuje za vsako krmiljeno os sistem za merjenje položaja osi, ki posreduje izmerjene podatke o trenutnem položaju osi v obliki električnega signala. Izbira ustreznega merilnega sistema je odvisna od več kriterijev: največja dolžina podajanja, največja hitrost podajanja osi, natančnost, enostavnost vgradnje in cena. Merilni sistemi delujejo na različne načine.

- *Pri neposrednem načinu merjenja se zajemajo podatki o položaju direktno na vodilih stroja, medtem ko se pri posrednem načinu meri položaj npr. na podajalnem vretenu.*
- *Pri analognem načinu ustreza vsakemu položaju osi določena fizikalna vrednost (npr. fazni zamik med dvema električnima napetostma). Pri digitalnem (diskretnem) načinu merjenja položaja pa je merilno območje razdeljeno na določeno števno število korakov.*
- *Inkrementalni način merjenja meri prirastek (inkrement) glede na prejšnje stanje. Pri absolutnem načinu dobimo vrednost položaja nemudoma po vklopu merilne naprave.*

Pri inkrementalnim načinu merjenja moramo stroj po vklopu najprej postaviti v referenčno točko.

Absolutni način merjenja je potreben tam, kjer nastopajo težave s prekinitvami delovanja, saj je pred ponovnim delovanjem zopet potreben čas za ponovno določitev referenčne točke. Zelo zamudno bi bilo npr., če bi morali varilni robot pri prekinitvi varjenja karoserije osebnega avtomobila ročno voditi v referenčno točko, kajti pri avtomatskem iskanju referenčnega položaja robot trči z varjencem.

Med absolutnim in inkrementalnim merilnim postopkom je še psevdoabsolutni (lažno absolutni) sistem merjenja. Ta naprava ima referenčno sled oznak z določenimi različnimi razmiki. Položaj se lahko ugotovi le s prehodom preko dveh sosednjih referenčnih oznak in merskega sistema ni potrebno voditi v referenčno točko. Ob vklopu je dovolj, če preidemo le dve referenčni oznaki, ki sta druga za drugo, in s tem merski sistem sam določi trenutni položaj.

Programiranje CNC-strojev je popolnoma neodvisno od uporabljenega merilnega sistema. Krmilnik vse podatke preračunava glede na specifični koordinatni sistem na stroju." (MEHATRONIKA, 2017: 230)

2.4 PODATKI O POLOŽAJU IN KOORDINATNI SISTEM

Da je položaj togega telesa (npr. rezkar, stružni nož, prijemalo varilnega robota) v prostoru enoznačno opisan, je potrebno šest drug od drugega neodvisnih podatkov. To so parametri položaja (npr. x , y in z). Dodatno so potrebni še podatki o orientaciji (npr. zasuk A , B in C okrog konkretne x , y in z osi). Torej določajo eksakten podatek položaja togega telesa v prostoru skupaj trije parametri položaja in trije parametri orientacije. Glede na to, kako kompleksno mora biti gibanje po prostoru pri posameznem CNC-stroju, je potrebno različno število medsebojno neodvisnih osi. Pri 2D-krmiljenju se torej lega lahko spreminja le v ravnini, pri 3D-krmiljenju pa se lahko spreminja v prostoru. Pri 4- in večosnem krmiljenju nastopijo poleg prostorskega položaja še spremembe usmerjenosti (zasuka).

Na mnogih CNC-strojih se za opis položaja uporablja kartezijev koordinatni sistem; za tri dodatne podatke o orientaciji pa se podajajo zasuki okrog posameznih osi.

Zaradi tega so za 3D-krmilnike naslednje omejitve. Vsaka od treh osi ima sistem za merjenje poti. Običajno se sistemi za merjenje nanašajo na strojno ničelno točko M . To ničelno točko določi proizvajalec stroja in uporabnik nanjo ne more vplivati. Na stružnicah leži večinoma na osi vretena na naslonski ploskvi vpenjalne glave. Pri rezkalni strojih je položaj odvisen od proizvajalca.

Če v krmilniku ni aktivnega orodja, se vsi podatki o položaju na CNC-stroju nanašajo na točko vpenjanja orodja T . Če proizvajalec uporablja za svoje osi inkrementalni merilni sistem in strojna ničelna točka ni dosegljiva (npr. stružnica z ničelno točko v vpenjalni glavi), tedaj proizvajalec določi v obdelovalnem območju stroja novo točko, ki se imenuje referenčna točka R . Od te točke so razdalje v x , y in z smeri točno določene. Po vklopu stroja se le-ta postavi v referenčno točko po postopku, ki ga je sprogramiral proizvajalec. Ker so razdalje v x , y in z

smeri do strojne ničelne točke točno določene, dobi s tem krmilnik podatke o položaju v prostoru.

Odkvisno od oblike obdelovanca je za vsak del programa (ali obdelovanca) določena ničelna točka. V tej točki leži koordinatno izhodišče, na katerega je sprogramirana pot orodja po posameznih oseh. Iz varnostnih razlogov je določeno, da se pri premikanju v pozitivni smeri osi orodje oddaljuje od obdelovanca." (MEHATRONIKA, 2017: 231)

2.5 NAČIN KRMILJENJA

Vsem numerično krmiljenim strojem je skupno, da se glede na koordinatni sistem definirajo točke v prostoru in eventualno še orientacije. To izvedemo z direktnim podajanjem eksaktnih koordinat (npr. pri struženju in rezkanju) ali s pomočjo učenja upravljalnika (npr. pri robotu vodimo prijemalo po točkah v prostoru in prevzamemo na ta način pridobljene koordinate). V programu samem pa je kasneje po vnosu ustreznih navodil določeno, po kateri poti so točke povezane. Tretja možnost za določitev oblike poti je s pomočjo znanega postopka "Play - Back". Upravljelec vodi robota ročno in krmilnik shrani vse podatke, npr. položaj in hitrost potovanja.

Krmiljenje po točkah

Pri krmiljenju po točkah je najpomembnejši hitri korak od začetne do ciljne točke. Pot med začetno in končno točko ni točno določena. Ločimo dva načina krmiljenja poti po točkah. Pri asinhronem krmiljenju gibanja po točkah se vse potrebne osi gibljejo z največjo hitrostjo. Če so poti gibanja posameznih osi različno dolge, so tudi časi gibanja posameznih osi različni (če so največje hitrosti za vse osi enake) in s tem vse osi največkrat ne dosežejo istočasno končne točke.

Pri sinhronem krmiljenju gibanja po točkah dosežejo posamezne osi končno točko istočasno tudi pri različno dolgih poteh za posamezno os – s prilagajanjem hitrosti gibanja posameznih osi. Os z najdaljšo potjo gibanja je vodilna os. Ostale osi zmanjšajo hitrost gibanja tako, da se vse osi gibljejo enako dolgo. S krmiljenjem po točkah so opremljeni preprosti roboti, NC vrtalni stroji, štanice in točkovni varilni stroji.

Krmiljenje po poti

Pri krmiljenju po poti se izpeljejo koordinirana gibanja z dvema ali več osmi istočasno. Če leži pot gibanja samo v eni ravnini, govorimo o 2D-krmiljenju po poti (2-dimenzionalno). Tukaj se

lahko dve osi, ki sta med seboj usklajeni, gibljeta istočasno. To je krmiljenje, ki lahko interpolira gibanje res samo v eni ravnini, vendar pa so te ravnine lahko različne. To krmiljenje je znano kot 2D-krmiljenje. Ravnino izbere upravljaliec.

S 3D-krmiljenjem (3-dimenzionalno) se lahko izpelje prostorsko gibanje. Tukaj se lahko med sabo usklajeno istočasno gibljejo tri osi." (MEHATRONIKA, 2017: 233)

2.6 CNC-PROGRAM

Osnovna zgradba CNC-programa je določena v standardu DIN 66025. Vsak program je sestavljen iz stavkov in vsak stavek iz besed. Vsaka beseda sestoji iz naslovne črke in števila. Stavek se začne s številko stavka. Za številko so z besedami navedeni vsi podatki, ki so pomembni za obdelavo obdelovanca, kot so:

- Pogoji za pot (G-funkcije). Določajo vrsto in način gibanja (hod, pomik, krožno gibanje, korekcija polmera, absolutno/inkrementalno itd.).
- Geometrijski podatki (x, y, z, i, j itd.). Ti služijo krmilniku za premikanje osi (podatki o položaju).
- Tehnološka navodila; z njimi je določen pomik (F), vrtljaji (S) in orodje (T).
- Ukazi za vklop in izklop (M-funkcije). Služijo za določanje funkcij stroja (vklop/izklop, hlajenje, menjava orodja itd.).
- Podprogrami in klic ciklov.

Na žalost vse G- in M-funkcije niso normirane. Nekatere vrednosti so za proizvajalce krmilnikov prosto dostopne. Nekatere funkcije so aktivne že ob vklopu (npr. G90, G40). Začetno stanje ob vklopu je odvisno od krmilnika. Shranjene delovne funkcije so aktivne tako dolgo, dokler niso prepisane z drugo funkcijo. Ločimo glavne in odvisne stavke. Tudi podatki o koordinatah delujejo pri večini krmilnikov modalno (izjema: krožna interpolacija); to pomeni, če se vrednost koordinate ne spremeni, lahko ponovno navajanje opustimo.

Absolutno in inkrementalno programiranje

- Pri absolutnem programiranju (G90) se ničelna točka ne spreminja. Vsi podatki o koordinatah se nanašajo na ničelno točko, ki je bila pred tem določena v odvisnosti od oblike obdelovanca. Ustrezna CNC tehniška risba je kotirana od ničelne točke. S tem upravljalcu pri programiranju ni potrebno opraviti nobenih izračunov.

- *Pri inkrementalnem programiranju (G91) se prirastek k predhodni točki doda v smeri, ki jo določa predznak." (MEHATRONIKA, 2017: 236–237)*

2.7 PROGRAMIRANJE CNC PROIZVODNIH STROJEV

Rentabilnost CNC-strojev je v veliki meri odvisna od zmogljivosti sistema, ki se uporablja za programiranje. Prav v smislu fleksibilnosti mora biti CNC-program za določen izdelek izdelan hitro in brez napak. Današnji krmilniki so tako zmogljivi, da lahko med tekočo obdelavo delamo nove programe oz. jih nalagamo in dosežemo minimalne zastoje stroja.

Neodvisno od postopka programiranja nudijo danes vsi proizvajalci krmilnikov možnost, da na krmilniku proizvodni proces simuliramo. To je velika prednost, saj že pri pripravi programa odkrijemo napačna gibanja, uporabo napačnega orodja in s tem preprečimo drage trke in poškodbe orodja in obdelovanca. Mnoge simulacije omogočajo tudi prikaz vpenjalnih sredstev, da tako enostavno in učinkovito še pred proizvodnjo ugotovimo, ali bi med orodjem in vpenjalno pripravo prišlo do kolizije oz. če bi orodje vpenjalno pripravo »obdelovalo«. Razlikujemo naslednje tri postopke programiranja:

- *ročno programiranje*
- *v delavnico usmerjeno programiranje (WOP-Workshop-Oriented Programming)*
- *programiranje s programskim sistemom*

Pri ročnem programiranju piše programer proizvodne naloge v NC-kodi. Običajno krmilnik ne nudi grafične podpore za prikaz točk na konturi. Programer mora vse izračunati sam, saj programira pot gibanja orodja. Za kompleksne večdimenzionalne obdelovance je ta postopek programiranja popolnoma neprimeren. Ta način programiranja najdemo le še na starejših CNC-strojih." (MEHATRONIKA, 2017: 247)

2.8 RAZISKAVA TRGA

Pred snovanjem CNC-stroja smo najprej morali preučiti, kaj nam lahko tovarniško izdelani stroj ponudi in kakšna je njegova cena. Glede na zahteve delavnice smo sestavili zahtevnik, kaj želimo obdelovati, v kakšni velikosti in točnosti. Dobro smo preverili, kaj nam lahko serijsko izdelani CNC-stroji ponudijo in izbrali takšnega, ki bi zadostil našim potrebam. Okvirna cena

novega serijsko izdelanega CNC-stroja znaša približno 80.000 evrov. Na sliki 2 lahko vidimo stroj proizvajalca KDT, ki bi bil primerljiv s strojem, ki ga bomo izdelali. Cena rabljenega stroja Morbidelli Author letnik 2007, ki ga lahko vidimo na sliki 3, znaša približno 55.000 evrov.



Slika 2: Nesting linija KDT

(Vir: www.bolha.com)



Slika 3: Obdelovalni center Morbidelli Author X5

(Vir: www.bolha.com)

3 KONCIPIRANJE

3.1 ZAHTEVNIK

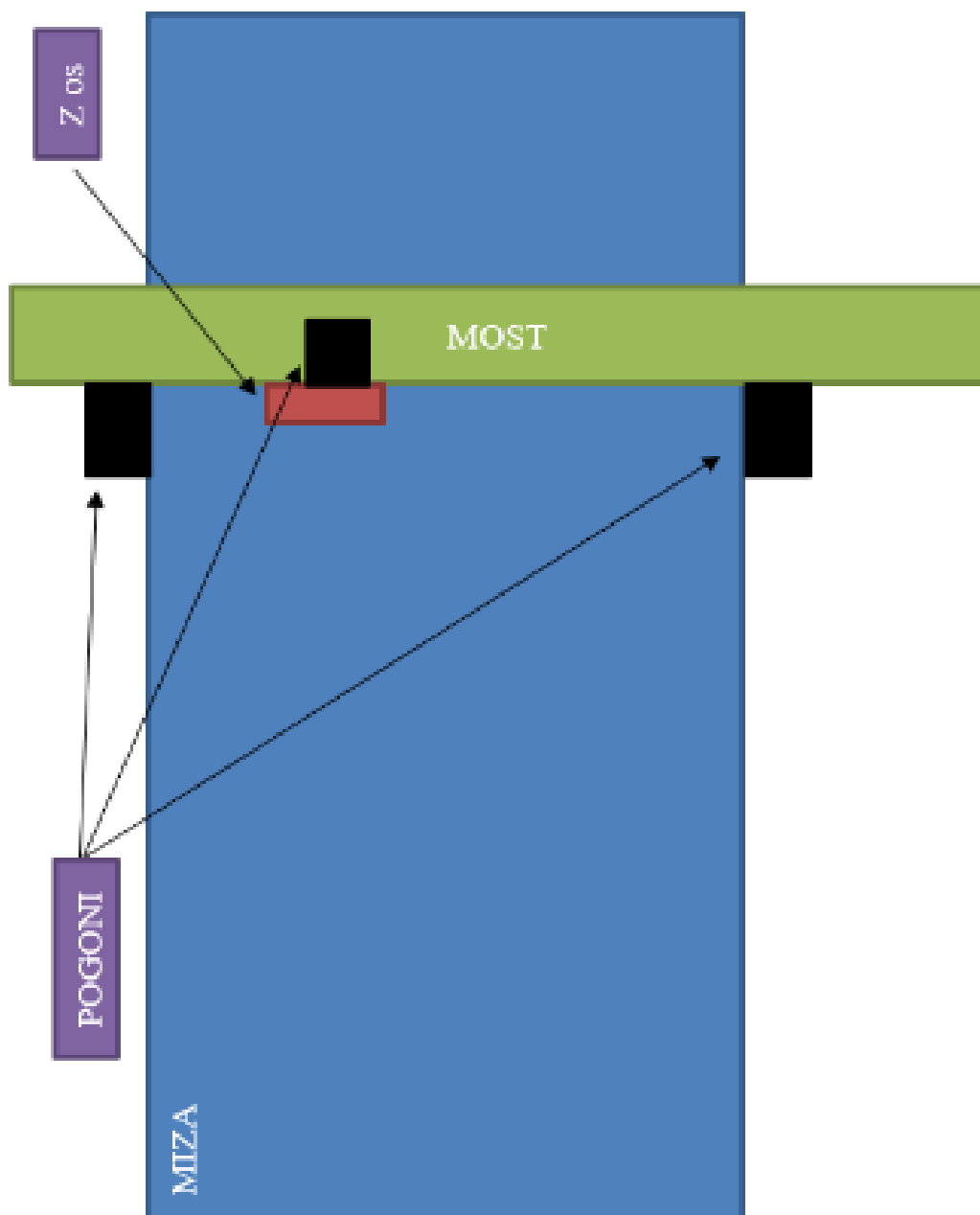
Zasnova je potekala v 3D modelirnem programu Solidworks. Ideje za različne zasnove smo pridobili z ogledom nekaterih CNC-strojov na tržišču. Glavna iztočnica za najboljšo zasnovo in odpravo vseh napak nam je predstavljal doma izdelani CNC-stroj, ki je imel veliko napak in je zahteval redna popravila in izboljšave.

Tabela 1: Zahtevnik

Z - zahteva Ž - želja	zahteva/želja
Z	varna uporaba
Z	enostavno rokovanje
Z	zanesljiv in stabilen sistem
Z	avtomatska menjava orodja
Z	možnost nadaljnje nadgraditve stroja
Ž	ponovitvena točnost $\pm 0,05$ mm
Ž	stroj zaznava prisotnost oseb
Ž	vpenjanje obdelovancev z vakuum mizo
Ž	centralno mazanje vodil in krogličnega vretena

3.2 KONCEPTNA SLIKA IN ORGANIZACIJSKA SHEMA

Na sliki 4 vidimo konceptno sliko (angl. Concept design), ki prikazuje idejno zasnovo stroja in nam pomaga z vizualizacijo postavitve komponent, v našem primeru pogled s ptičje perspektive. Na njej so prikazani vsi večji sklopi stroja.



Slika 4: Konceptna slika

(Vir: Osebni arhiv)

Spodaj prikazana organizacijska shema je grafična ponazoritev poteka obdelave na stroju, ki smo se ga odločili izdelati. Na začetku imamo surovce dimenzij 2800 x 2070 mm, iz katerih izdelujemo različne polizdelke s postopkom rezkanja, npr. stranice omar, predalnikov ... Pri obdelavi nastane odpad, ki ga ločimo od polizdelkov.



Slika 5: Organizacijska shema

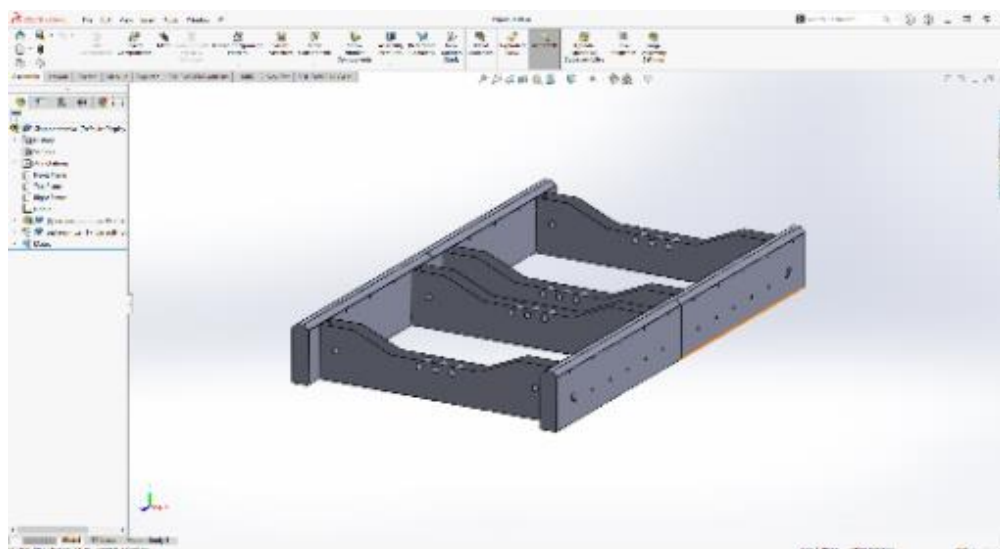
(Vir: Osebni arhiv)

3.3 MOŽNE PREDSTAVITVE

Tako kot pri razvoju vsakega izdelka proizvajalci izdelajo več različnih variant, smo tudi mi skonstruirali več različnih možnih izvedb CNC-stroja. Te smo med seboj primerjali in se odločili za konstrukcijo, ki je najlažja za izdelavo in cenovno najsprejemljivejša.

3.3.1 Konstrukcija iz zakrivljene pločevine

Ena izmed možnosti je bila izdelava podnožja stroja iz zakrivljene pločevine, ki je prikazana na sliki 2. Napolnili bi jo s polnilnim sredstvom: betonom ali epoksi granitom. Ta konstrukcija ni bila sprejemljiva, saj nismo imeli na voljo strojev, ki bi lahko natančno zakrivili pločevino naših dimenzij.

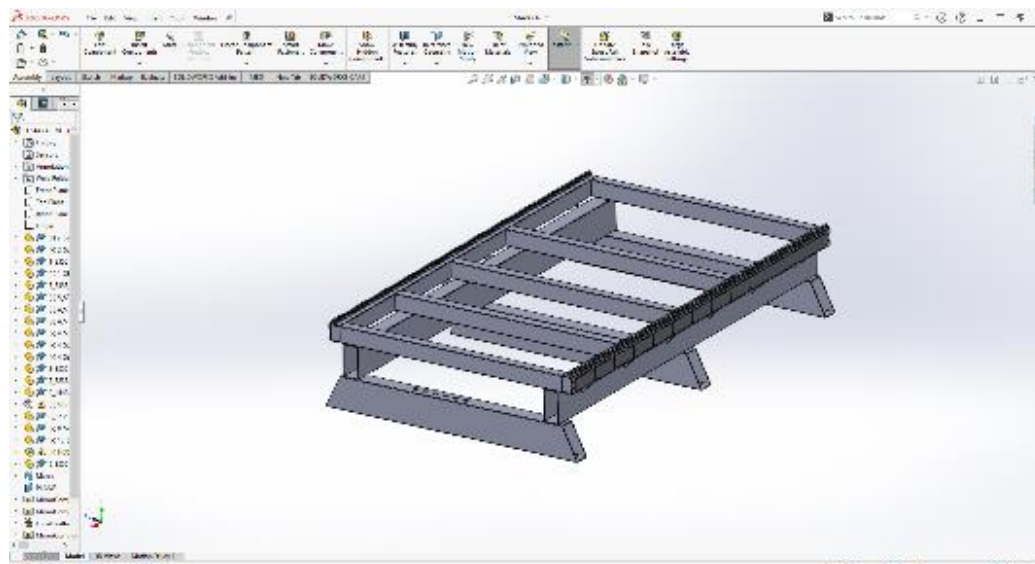


Slika 4: Konstrukcija iz pločevine

(Vir: Osebni arhiv)

3.3.2 Konstrukcija iz jeklenih profilov

Drugo možnost nam je predstavljala zasnova iz jeklenih profilov, njena zasnova je vidna na sliki 5. Po tehtnem premisleku in posvetu z mentorjem sva ugotovila, da bo zaradi položaja mostu in nastalih sil na mizo in podnožje potrebno spremeniti zasnovo.

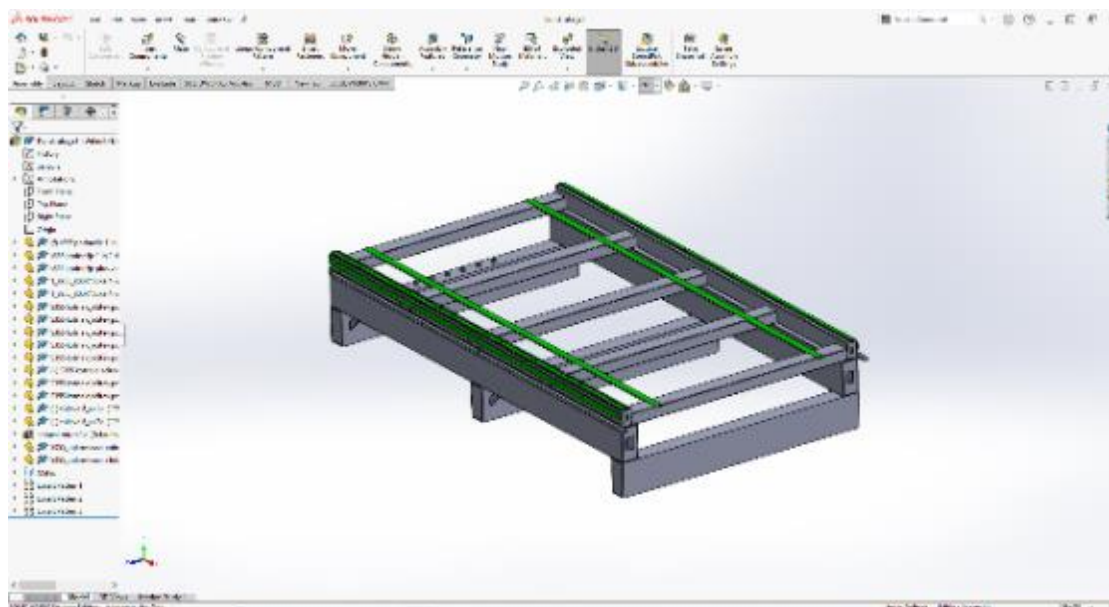


Slika 5: Konstrukcija iz jeklenih profilov

(Vir: Osebni arhiv)

3.3.3 Izvedena konstrukcija

Izvedena konstrukcija, prikazana na sliki 6, se razlikuje po zasnovi od druge, ki je bila pomanjkljivo zasnovana. Pri zasnovi smo morali upoštevati tudi velikost stroja, ki je konstrukcijo obdeloval.



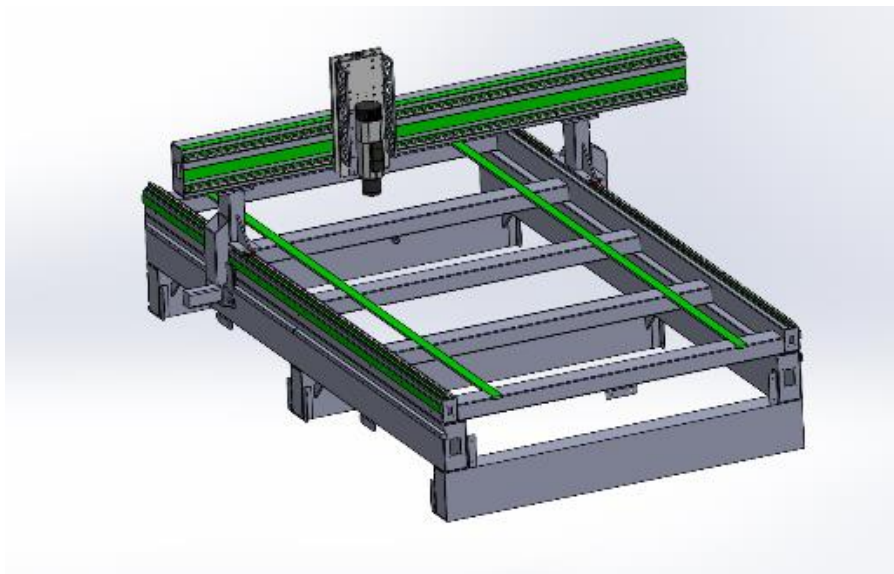
Slika 6: Konstrukcija, ki je bila izdelana.

(Vir: Osebni arhiv)

Modeliranje se je pričelo z določitvijo maksimalnih dimenzij stroja, ki znašajo:

- dolžina: 4000 mm
- širina: 2300 mm
- višina: 2300 mm

Glede na določene dimenzije smo izrisali posamezne elemente, ki smo jih kasneje začeli sestavljati. S tem smo pridobili sliko, kako bo stroj izgledal. Konstrukcija, izbrana za izdelavo, je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Konstrukcija, izbrana za izdelavo

(Vir: Osebni arhiv)

4 KONSTRUIRANJE

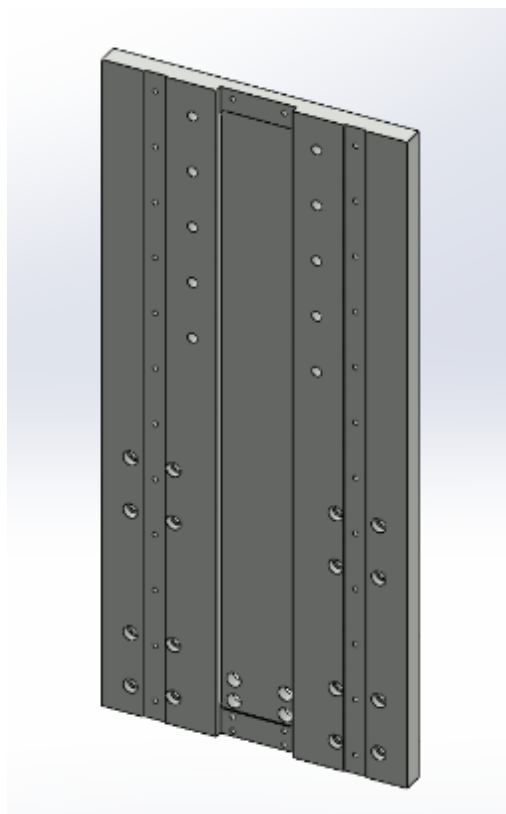
SolidWorks je programski paket za računalniško podprto konstruiranje in inženirske analize. Uporablja se tudi pri enostavnejših simulacijah in inženirskih analizah. V osnovi zajema 3D-modelirnik, modul za sestavljanje in modul za izdelavo tehniške dokumentacije. Z mnogimi dodatki je uporaben na različnih tehniških področjih: strojništvo, elektrotehnika, lesarstvo itd.

SolidWorks je zmogljiv in enostaven programski paket. Čeprav ga po zmogljivosti pogosto prekašajo programski paketi, kot so Catia, Unigraphics in Pro/ENGINEER, je zaradi relativno enostavne uporabe zelo priljubljen.

SolidWorks temelji na modelirnem jedru Parasolid, ki je v lasti podjetja Siemens PLM Software. Za izdelavo modelov in sestavov uporablja parametrični pristop na osnovi funkcij. Parametri modela so vezani na omejitvene pogoje, katerih vrednosti določajo obliko geometrije modela. Parametri so lahko številske, npr. dolžina črte in premer kroga, ali pa so geometrijski, kot so vzporednost, koncentričnost, vodoravnost, navpičnost itd. Parametri so lahko tudi v relaciji med seboj in na ta način opisujejo želeni dizajn. Preprosteje povedano, če oblikujemo model pločevinke za pijačo, lahko določimo, da bo odprtina vedno na zgornji ploskvi ne glede na višino modela. Tudi če kasneje spremenimo parameter, ki določa višino, bo še vedno veljalo omenjeno pravilo. Končno podobo 3D-modela določa množica funkcij. Med njimi so lahko razne oblike in operacije, ki z uporabo ene za drugo vodijo do želenega rezultata. Načrtovanje se po navadi začne z 2D- ali 3D-skico, ki vsebuje geometrijske elemente, kot so točke, črte, loki, stožnice in zlepci. Skici nato dodamo novo prostorsko dimenzijo, da določimo velikost in položaj geometrije. Zatem lahko uporabimo tudi že prej omenjene relacije med parametri, če želimo npr. doseči vzporednost dveh ploskev. Parametrična narava SolidWorksa pomeni, da dimenzije in relacije določajo geometrijo in ne obratno. Dimenzije na skici lahko nadzorujemo neodvisno ali pa v relaciji z drugimi parametri znotraj skice ali izven nje.

4.1 KONSTRUIRANJE DELOV

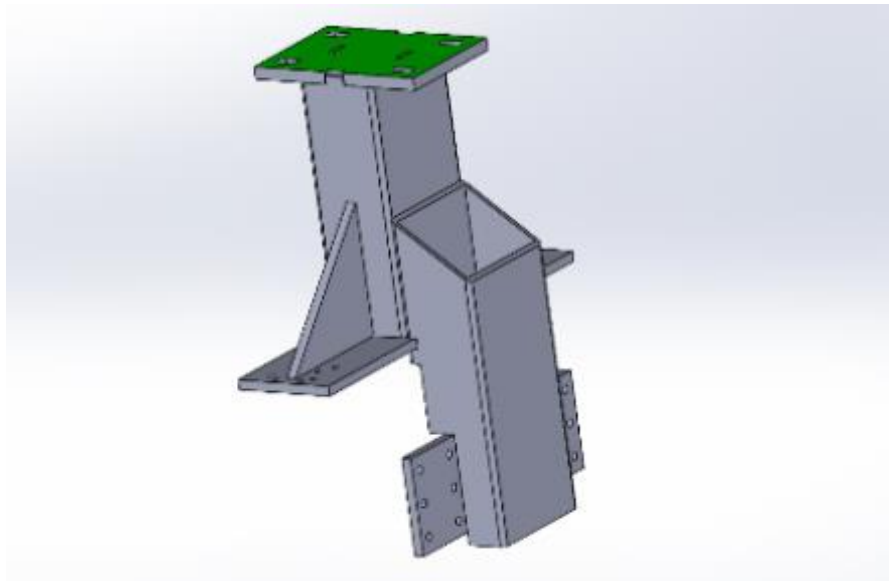
Stroj je bil v 90 % skonstruiran iz nestandardnih elementov, saj je za industrijski stroj praktično nemogoče dobiti 3D-modele, načrte in skice. Ostalih 10 % predstavljajo standardne komponente, kot so vijaki. Spodnja slika predstavlja skonstruiran model nosilne plošče z osi.



Slika 8: Model nosilne plošče z osi

(Vir: Osebni arhiv)

Naloga nosilne plošče z osi, ki jo lahko vidimo na sliki 8, je pritrnitev servomotorjev za x in z os, vodil za pomik glavnega vretena v smeri z osi, pritrnitev sklopa krogličnega vretena in pritrnitev vozičkov za pomik vretena v smeri x osi.



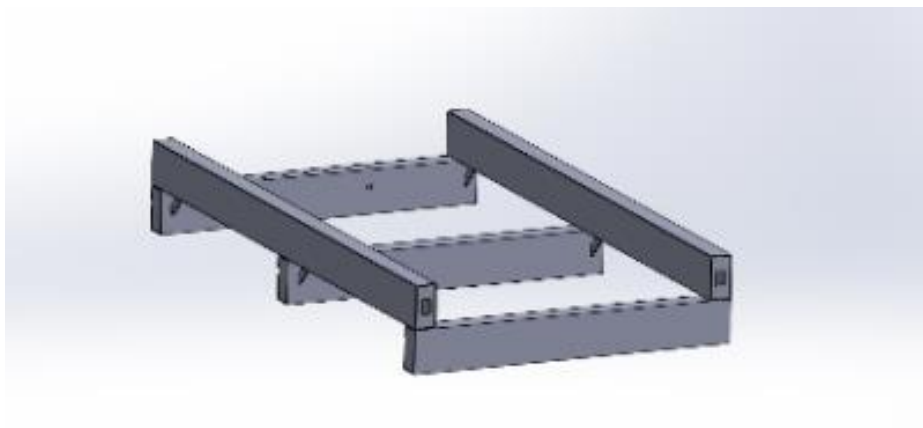
Slika 9: Skonstruiran nosilni steber

(Vir: Osebni arhiv)

Slika 11 prikazuje nosilni steber mostu, katerega naloga je pozicioniranje mostu na konstrukcijo, pritrditev drsnih vozičkov, namestitvev servomotorjev in reduktorjev.

4.1.1 Podnožje

Pri konstruiranju podnožja smo morali upoštevati, da bo to nosilni del stroja in smo zaradi tega izbrali profile 300 x 150 x 8 mm. Tako smo pridobili težo, homogenost in nizko težišče stroja. V kotih konstrukcije smo dodali ročice iz ploščatega jekla debeline 12 mm. Po potrebi smo predvideli polnjenje cevi s polnilnim sredstvom, ki bi povečal težo stroja. Model podnožja je prikazan na spodnji sliki.



Slika 10: Model podnožja

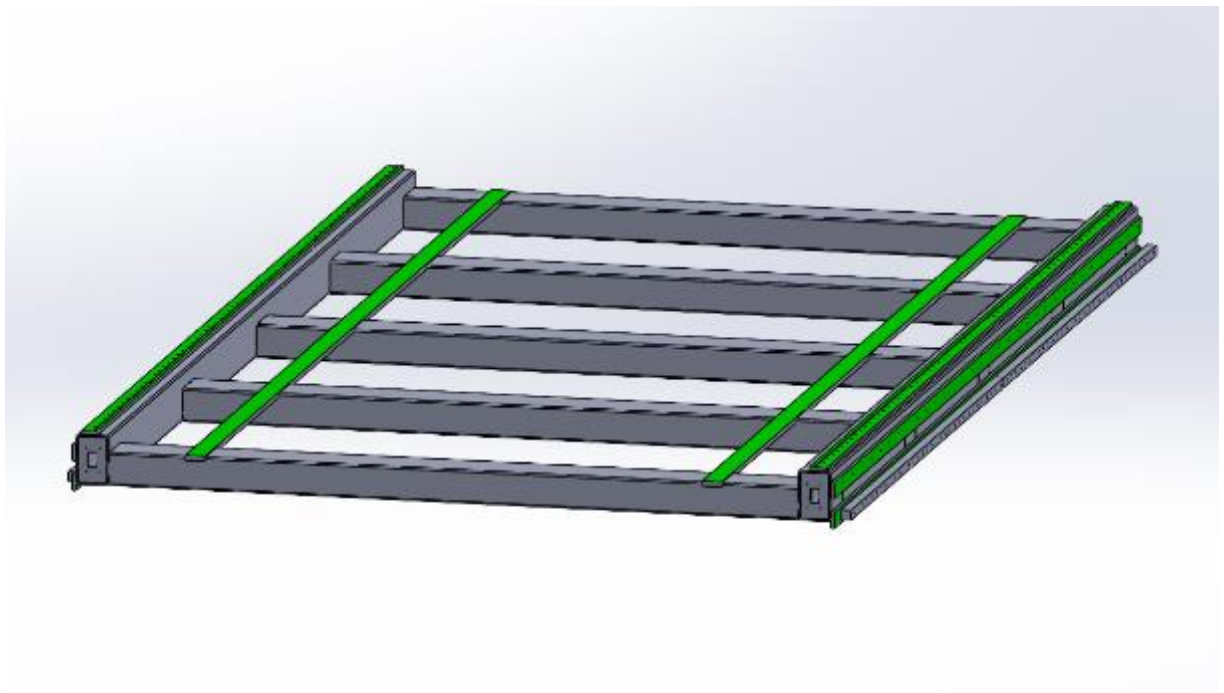
(Vir: Osebni arhiv)

4.1.2 Miza

Miza je bila skonstruirana tako, da bomo nanjo lahko montirali naslednje komponente:

- vodila
- zobate letve
- pnevmatski cilindri
- konzole s tipkami

Na vsaki strani mize sta dodana tudi dva ploščata jeklena profila širine 60 mm in debeline 15 mm za možnost montaže vodil za vakuumsko prijemala. Model mize je prikazan na sliki 11.

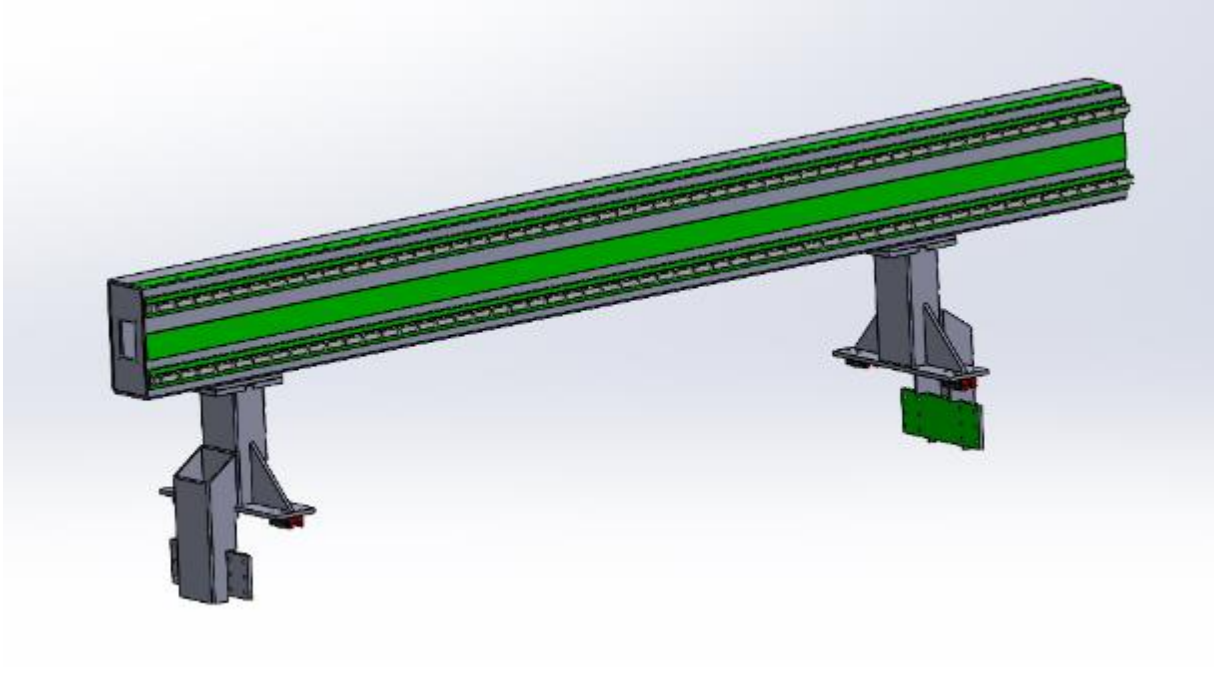


Slika 11: Model mize

(Vir: Osebni arhiv)

4.1.3 Most

Most je konstruiran tako, da je sestavljen iz 2 podsestavov. V prvem podsestavu je tram mostu, na katerega so privarjeni ploščati jekleni profili za montažo vodil, drugi podsestav pa sta stebra mostu, na katera so pritrjeni vozički in reduktor z motorjem. Oba podsestava sta prikazana združena na spodnji sliki.

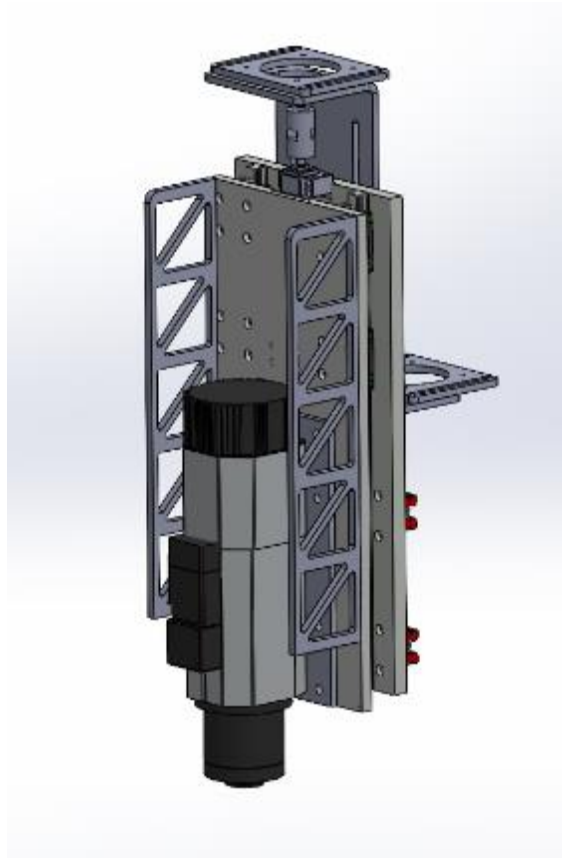


Slika 12: Model sestave mostu

(Vir: Osebni arhiv)

4.1.4 Z os

Skonstruirana je iz 13 komponent, ki so potrebne za togost in delovanje z osi. Nanjo so montirani nosilci servomotorjev za z in x os, sklop krogličnega vretena, parkljasta sklopka za povezavo krogličnega vretena in servomotorja, vodila, vozički ter glavno vreteno. Model sestavljene z osi je prikazan na spodnji sliki.



Slika 13: Model sklopa z osi

(Vir: Osebni arhiv)

4.2 IZBIRA STANDARDNIH DELOV

Tabela 2: Standardni elementi

Standardni deli	Opis
Vijaki	Vijak je strojni element, ki se uporablja za razstavljive zveze. Standardne vijake M4, M5, M6, M8, M12, M14 in M16 smo potrebovali za pritrditev sestavnih delov konstrukcije, mostu in z osi.
Reduktorji	Planetni reduktorji so naprave, ki zmanjšajo število obratov in povečajo moment, imajo veliko natančnost ter majhno zračnost.
Servomotorji	Servomotor je vrsta motorja, ki z enkoderjem nadzira lastno pozicijo, kar omogoča hitre in precizne pomike.
Glavno vreteno	Rotirajoče gibanje orodja opravlja glavno vreteno.
Zobate letve	Zobate letve so strojni element, ki spreminjajo rotacijsko gibanje v linearnega.
Vodila in vozički	Vodila in vozičke uporabljamo za precizno vodenje in ponovljivost pri pozicioniranju stroja.
Kroglično vreteno in matica	Uporabili smo kroglično vreteno 25 x 5 mm za pomik po z osi. Njegova naloga je sprememba rotacijskega gibanja v linearno.
Parkljasta sklopka	Parkljasto sklopko smo uporabili za prenos vrtilnega gibanja s servomotorja na kroglično vreteno in tako dosegli dušenje vibracij ter izničili morebitno nepravilnost krogličnega vretena in servomotorja.
Kabel	Kabel je električni vodnik iz ene ali več med seboj izoliranih žic. Uporabili smo kable: 5 x 2,5 mm ² , 2 x 2 x 0,5 mm ² , 7G 1,5 mm ² , 4G 2,5 mm ² , 8 x 0,25 mm ² za povezavo električnih komponent.
Energetska veriga	Energetska veriga je strojni element, ki služi za urejenost električne napeljave na gibajočih se delih stroja.

Pnevmatski cilinder	Za stroj smo izbrali pnevmatski cilinder z dvojnimi delovanjem. Premer batnice $\varnothing 20$ mm in hodom 30 mm.
Elektromagnetni ventili	Pnevmatske cilindre krmilimo s elektromagnetnimi ventili 5/2 proizvajalca SMC.
Cevi za zrak	Uporabili smo fleksibilne cevi za zrak $\varnothing 8$ mm.
Vakuum črpalka	Uporabili smo suholamelno črpalko VTLF 2.250 proizvajalca Becker s pretokom 250 m ³ .
Tipke in stikala	Za vmesnik med upravljalcem in strojem smo uporabili tipke in stikala proizvajalca Lovato.
Frekvenčnik	Za pogon glavnega vretena uporabljamo frekvenčnik, s katerim reguliramo obrate orodja. Uporabili smo frekvenčnik Altivar 31 z močjo 11 kW.
Varovalke	Za zaščito prevodnikov in električnih komponent smo uporabili avtomatske varovalke.
Krmilnik	Za krmiljenje stroja smo uporabili 6-osni krmilnik CSMIO/IP-S poljskega proizvajalca CS-Lab.
Končna stikala	Za referenciranje stroja smo uporabili končna stikala proizvajalca Schneider Electric z enim NO- in enim NC-kontaktom.
Releji	Releji so elektromagnetna stikala, ki jih vklapljam s krmilno napetostjo. Uporabili smo jih za krmiljenje elektromagnetnih ventilov.
Konus	Konus je strojni element, ki nam omogoča vpenjanje orodij v glavno vreteno.
Stročnice	Stročnice so strojni elementi, ki objamejo steblo orodja, ko ga vpenjamo v konus.
Mach 4	Mach 4 je program, ki komunicira s krmilnikom, vklaplja dodatne funkcije in predvaja G-kodo.

5 IZDELAVA IN TESTIRANJE

5.1 IZDELAVA SESTAVNIH DELOV

Izdelava se je pričela z nabavo materiala, ki ga lahko vidimo na slikah 14 in 15. Najprej smo naročili jeklene profile dimenzij 300 x 150 x 8 mm, 12000 mm ploščatega jekla debeline 20 mm in širine 40 mm ter profile 150 x 100 x 5 mm.



Slika 14: Material za izdelavo

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 15: Material za izdelavo

(Vir: Osebni arhiv)

5.1.1 Izdelava podnožja

Pri izdelavi smo uporabili sledeče tehnološke postopke:

Laserski razrez

Laserski razrez pločevine trenutno predstavlja enega izmed najkakovostnejših razrezov in se uporablja kot standard v tehnoloških postopkih v proizvodnjah, zato se uvršča med najnaprednejše izdelavne in dodelavne postopke. Laserski rezalnik je stroj, ki uporablja žarek svetlobe za rezanje ali označevanje oblik iz ploskega materiala. Laserski razrez je zelo natančen. Računalniško generirana datoteka nadzira smer, hitrost, intenzivnost in širjenje laserskega žarka. Najprej laserski rezalnik naloži datoteko in program za začetek postopka rezanja. Laserski žarek potuje skozi zbirno lečo, da poveča svojo moč in ustvari natančen rob. Žarek meri okoli 0,2 mm, kar omogoča ustvarjanje kompleksnih vzorcev in modelov. Za odrezovanje se uporabljata plina dušik in kisik.

Razrez z ročno plazmo

Plazemsko rezanje je rezanje jekla in drugih kovin s pomočjo plazme. Uporablja se visokohitrostni curek inertnega plina ali tudi kompresiran zrak. Pojavi se električni oblok med pištolo in površino rezalnega materiala. Plazma ima dovolj visoko temperaturo, da stali rezani material in dovolj visoko hitrost, da odstrani tekoči material iz reza. Plazemsko rezanje je mogoče samo v električno prevodnih materialih, drugače ne pride do obloka. Rezalnik tipa HF uporablja visokofrekvenčno, visokonapetostno iskro, da ionizira zrak in povzroči oblok. Pri tem tipu rezalnikov na začetku ni potreben direkten kontakt pištole z rezalnim materialom. Te vrste se uporabljajo za CNC- (numerično kontrolirano) rezanje. Rezalnik tipa "Pilot Arc" (začetni oblok) uporablja drugačen princip, pri katerem ni potreben začetni kontakt. Najprej se uporabi visokonapetostni, nizkoamperski tok, ki povzroči majhno iskro in s tem majhen "žepek" plazme – imenuje se "pilot arc" – začetni oblok. Ta oblok ima povratno električno pot v rezalno pištolo. Začetni pilot oblok obstaja, dokler se ne približamo rezalnemu materialu, ob stiku vžge glavni plazemski rezalni oblok. Plazemski obloki so zelo vroči (do 25000 °C). Plazemsko rezanje je učinkovito pri tankih in debelih materialih. Ročni rezalniki lahko režejo do okrog 38 mm debele jeklene plošče, močnejši industrijski rezalniki lahko režejo do 150 mm. Prikaz razreza z ročno plazmo lahko vidimo na spodnji sliki.



Slika 16: Rezanje z ročno plazmo

(Vir: Osebni arhiv)

Varjenje MIG

MIG-varjenje je metoda obločnega varjenja v nevtralnem žlahtnem plinu (argon ali helij), ki obdaja varilno žico in zvar ter kemijsko ne reagira z varjencem. To je zaščiteno okolje, v katerem je oksidacija zvara preprečena. Vari se s pomočjo gole elektrode ali strženske žice – pobakrene varilne žice, navite na kolut. Pri varjenju, kjer gori oblok med gorljivo kovinsko elektrodo ter varjencem, se z enosmernim tokom ustvarja visoka temperatura, zaradi česar lahko varimo tudi debele materiale ter poskrbimo za kakovostne kotne zware. MIG-varjenje se zato uporablja za varjenje barvnih kovin in zlitin, aluminija in njegovih zlitin, kot tudi za konstrukcije iz močno legiranih jekel. MIG-varjenje velja za hitro in enostavno, kakovost je boljša kot pri MAG-varjenju, odstranjevanje žlindre pa ni potrebno. Uporablja se pri varjenju, ki ga opravljamo v obratih, ne pa na prostem. V primerjavi z MAG-postopkom nam MIG-varjenje omogoča čiste in gladke zware, zato je kakovost izdelkov višja, predvsem pa je njegova prednost v tem, da lahko varimo materiale večje debeline (do 6 mm), torej tudi ograje, stopnice in velike konstrukcije. Obe metodi je sicer mogoče izvajati z uporabo istega stroja, zamenja se le plin (za MAG-varjenje Co^2 , za MIG-varjenje pa argon). Prednosti MIG-varjenja v primerjavi z MAG-varjenjem:

- višja kakovost izdelkov

- boljše mehanske lastnosti zvara
- lepši, ožji zvari
- možnost navarjanja pri izrabljenih elementih
- enostavna avtomatizacija

Postopek MIG-varjenja prikazuje spodnja slika.



Slika 17: MIG-varjenje

(Vir: Osebni arhiv)

Pričetek izdelave podnožja

Ob dobavi materiala smo pričeli z izdelavo konstrukcije. Najprej je bilo potrebno profile izrezati na ustrezno obliko in jih spojiti z varjenjem. Kote smo dodatno ojačali z ročicami iz ploščatega jekla, kar je razvidno s slike 19. Kot je razvidno na spodnji sliki, eden od profilov služi kot rezervoar za vakuum črpalko.



Slika 18: Profila in profil z rezervoarjem za vakuum črpalko

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 19: Zvarjeno podnožje

(Vir: Osebni arhiv)

5.1.2 Izdelava mize

Miza CNC-stroja je bila izrezana na 3D-laserju, izrezane dele lahko vidimo na sliki 20, in je bila zasnovana tako, da so se deli med seboj sestavili na princip »pero in utor«. S tem se je preprečila morebitna distorzija materiala med procesom varjenja. Varjenje je potekalo na

podnožju, kar je razvidno s slike 22. Miza je bila na podnožje pritrjena s sponami, zato da preprečimo premikanja in distorzije materiala. Ob straneh in na vrhu mize so bili dodatno navarjeni jekleni valjanci za pritrditev zobate letve in vodil, kar je prikazano na sliki 21.



Slika 20: Razrezan material z laserskim razrezom

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 21: Varjenje jeklenih valjancev

(Vir: Osebni arhiv)

Na spodnji sliki je prikazano varjenje mize na podnožje. Pričvrstili smo jo s sponami in jo privarili na več mestih s približno 10 cm dolgimi zvari, kar je razvidno s slike 23.



Slika 22: Varjenje mize na podnožje

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 23: Miza, zavarjena na podnožje

(Vir: Osebni arhiv)

Miza in podnožje sta zavarjena skupaj, kar je prikazano na spodnji sliki.



Slika 24: Miza in podnožje zavarjena

(Vir: Osebni arhiv)

5.1.3 Izdelava mostu

Na profilu mostu je bilo potrebno privariti jekleni valjanec po celotni dolžini in dve jekleni plošči, ki služita pričvrstitvi mostu na stebra. Na sliki 25 je prikazano navarjenje jeklenih valjancev, na sliki 26 pa sta prikazani plošči na spodnjem delu mostu, ki služita pritrditvi stebrov.



Slika 25: Varjenje jeklenega valjanca na konstrukcijo mostu

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 26: Varjenje plošč za pritrditev stebrov

(Vir: Osebni arhiv)

5.1.4 Izdelava nosilnih nog mostu

Stebra mostu sta bila izrezana na 3D-laserju po enakem principu kot miza (»pero in utor«). Spoji so bili zvarjeni skupaj. Na sliki 27 vidimo stebra, zavarjena s točkovnimi vari, na sliki 28 pa steber, ki je dokončno zavarjen.



Slika 27: Stebra mostu v postopku sestave

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 28: Steber mostu zavarjen

(Vir: Osebni arhiv)

5.2 PESKANJE IN BARVANJE S TEMELJNO BARVO

Peskanje

Peskanje je obdelava površine z abrazivnim materialom. Najpogostejši material, ki se uporablja za peskanje, je kremenčev pesek, poleg tega pa se uporabljajo tudi elektrokorund, bakrova žlindra, jeklene kroglice, soda in še veliko drugih materialov. Peskanje je edini postopek za idealno pripravo površine pred nanosom pokrivnih materialov oz. barv. S peskanjem odstranjujemo stare premaze in korozije. Material, ki ga obdelujemo na ta način, lahko poleg čiščenja tudi termično utrjujemo in obdelujemo ter dosegamo različne hrapavosti površin. Na sliki 29 je prikazan postopek peskanja, na sliki 30 pa je prikazana razlika med stebroma pred peskanjem in po njem; na levi je steber pred peskanjem, na desni pa steber po obdelavi s peskanjem.



Slika 29: Prikaz postopka peskanja

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 30: Peskanje stebrov

(Vir: Osebni arhiv)

Barvanje

Izdelke zaščitimo proti koroziji z barvami in laki. Takšne prekrivne plasti tvorijo dobro zaščito, hkrati pa pripomorejo k estetskemu videzu predmeta. Barve in lake nanašamo:

- s čopičem
- z brizganjem
- ali s potapljanjem

V zadnjem času se veliko uporablja prašno barvanje. Nanos prekrivnih plasti je hiter, enostaven in relativno poceni. Barvanje in lakiranje sta najbolj razširjena postopka zaščite proti koroziji. Prašno barvanje je elektrostatično nanašanje barve na kovino. Pred nanosom barve površino obdelovancev najprej razmastimo. Sledi kemijska obdelava, s katero izboljšamo oprijemljivost barve in korozijsko odpornost površine. Čas in vrsto obdelave izberemo glede na material, ki ga obdelujemo.

Barvanje v temeljno barvo

Speskan konstrukcijo smo zaščitili s temeljno barvo, ki smo jo nanašali s pištolo za barvanje. Konstrukcija stroja, pobarvana v temeljno barvo, je vidna na sliki 31.



Slika 31: Konstrukcija v temeljni barvi

(Vir: Osebni arhiv)

Barvanje s poliuretansko barvo

Za zaščito in izgled izdelka smo konstrukcijo pobarvali s poliuretansko barvo v barvni kombinaciji modra in temno siva. Vsi obdelani in izvrtani deli so bili zaščiteni. Na sliki 32 je prikazano pobarvano podnožje v sivi barvi, na sliki 33 pa most, pobarvan v modri barvi.



Slika 32: Pobarvano podnožje

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 33: Pobarvan most

(Vir: Osebni arhiv)

5.3 STROJNA OBDELAVA SESTAVNIH DELOV KONSTRUKCIJE

Narejeno konstrukcijo je bilo potrebno obdelati, da smo dosegli premost in ravnost. Potrebna je bila tudi izdelava izvrtin in vrezovanje navojev.

5.3.1 Rezkanje

Rezkanje je postopek odrezavanja, pri katerem opravlja orodje – rezkalo – rotacijsko glavno gibanje, podajalna gibanja pa so lahko premočrtna ali rotacijska. Podajalna gibanja navadno opravlja obdelovanec. Pri večini obdelovalnih postopkov (struženje, vrtanje ...) je smer podajanja pravokotna na smer rezanja. Pri rezkanju pa se – če zasledujemo posamezni zob rezkala – lega smeri rezanja proti podajalni smeri neprestano spreminja. Rezkanje največ uporabljamo za obdelavo ravnih površin. S posebnimi oblikami rezkal lahko obdelujemo tudi ukrivljene površine – s kopirnim rezkanjem lahko oblikujemo poljubno oblikovane površine, če pa uporabljamo profilna rezkala, dobimo tudi v prerezu oblikovane površine. Na spodnji sliki je prikazan stroj, podoben stroju, na katerem so bili obdelani sestavni deli našega stroja, slika 35 pa prikazuje sestavne dele z osi, ki so bili obdelani na manjšem obdelovalnem centru.



Slika 34: Rezkalni stroj Bohrwerk

(Vir: www.mojstrovina.si)



Slika 35: Obdelani sestavni deli z osi

(Vir: Osebni arhiv)

5.3.2 Vrtanje in izdelava navojev

Vrtanje je operacija obdelave materiala z odrezovanjem. Pri vrtanju orodje zaradi vrtenja in gibanja v svoji osi odrezuje obdelovanec. Pri vrtanju uporabljamo sveder, ki je vpet v vrtalni stroj. Rezultat operacije je izvrtina valjaste oblike. Vrtati je mogoče tudi na univerzalni stružnici, le da se namesto svedra vrti obdelovanec. S posebnimi oblikami svedrov je mogoče izdelati tudi razne oblike izvrtin (stopničaste ali stožčaste). Z navojnim svedrom pa se v izvrtino vreže navoj. Najbolj je razširjeno vrtanje v les, kovino in beton. Oblika svedra je odvisna od vrste materiala, v katerega se vrta. Običajno so svedri večrezilni, izjemoma pa imajo le en rezalni rob. Za notranje strojno rezanje navojev so v rabi strojni navojni svedri. Ker mora sveder vrezati celotno globino navoja, so v rabi različni navojni svedri. Pomembno je, ali režemo navoj v prehodno ali v neprehodno izvrtino. Za zunanje strojno rezanje navojev večinoma uporabljamo glave za vrezovanje navoja, ki so podobne navojnim čeljustim, vendar imajo vstavljena rezila, ki jih je mogoče nastavljanjati na različne premere. Slika 36 prikazuje vrtanje, slika 37 pa vrezovanje navoja v luknjo.



Slika 36: Vrtanje

(Vir:Wikipedia.org)



Slika 37: Vrezovanje navojev

(Vir: Osebni arhiv)

5.4 MONTAŽA KOMPONENT

Montaža združuje vse dejavnosti, ki so potrebne, da iz posameznih delov in predpripravljenih (predmontiranih) sklopov dobimo delujoče sisteme. Glavne naloge montaže so sestavljanje/spajanje elementov in preizkušanje/naravnavanje.

5.4.1 Montaža zobatih letev in vodil

Na konstrukcijo je bilo najprej potrebno namestiti vodila, na katera je nameščen most. Sledilo je nameščanje zobatih letev na konstrukcijo in most ter namestitev drsnih vozičkov na stebre mostu. Spodnja slika prikazuje privijačeno zobato letev s strani podnožja in vodilo pred vijachenjem, na sliki 39 pa nameščeno zobato letev in vodilo, na katerem so izvrtine za vijake zaščitene s plastičnimi čepi.



Slika 38: Namestitev vodil in zobate letve

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 39: Nameščeno vodilo in zobata letev

(Vir: Osebni arhiv)

5.4.2 Montaža stebrov, mostu in z osi

Na podnožje smo najprej namestili vozičke in nanje privijačili stebre za pritrditev mostu. Tram mostu smo na stroj zaradi njegove teže morali dvigniti z viličarjem. Na sliki 40 vidimo montiran podsklop mostu.



Slika 40: Združena konstrukcija in most

(Vir: Osebni arhiv)

Slika 41 prikazuje montažo drsnih vozičkov na nosilno ploščo z osi za pritrditev na most, ki jo lahko vidimo na sliki 42. Nazadnje smo na nosilno ploščo namestili sestavo z osi s sklopom krogličnega vretena in glavnim vretenom, pri tem smo si zaradi teže sklopa pomagali s hidravličnim dvigalom, kar je razvidno s slike 43.



Slika 41: Namestitev drsnih vozičkov
(Vir: Osebni arhiv)



Slika 42: Montaža z osi na most
(Vir: Osebni arhiv)



Slika 43: Montaža sklopa druge plošče
(Vir: Osebni arhiv)

5.4.3 Montaža servomotorjev in reduktorjev

Zaradi večje potisne sile je bilo potrebno na elektromotorje montirati reduktorska planetna gonila v razmerju 10 : 1. S tem smo znižali obrate in pridobili navor na zobniku. Pogonski sklop y osi, ki je sestavljen iz 1,5 kW motorja, planetnega reduktorja, nosilne plošče in zobnika, vidimo na sliki 44. Montiran pogonski sklop na steber mostu je prikazan na sliki 45. Reduktor montiran na x osi je prikazan na sliki 46. Motorji so na reduktorje pritrjeni s 4 imbusnimi vijaki, reduktorji pa na nosilce prav tako s 4 imbusnimi vijaki.

Reduktorje smo izbrali tako, da smo najbolje izkoristili maksimalne obrate motorjev in obdržali želeno hitrost, ki smo si jo zadali v hipotezah.



Slika 44: Sestava servomotorja, reduktorja, nosilca in zobnika

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 45: Namestitev na konstrukcijo

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 46: Montaža reduktorja na x osi

(Vir: Osebni arhiv)

5.4.4 Montaža energetskih verig

Za urejenost električne inštalacije smo predhodno montirali energetske verige na stroju. Ena poteka po y osi, ena po x osi in ena po z osi stroja. Na spodnji sliki vidimo kanal za energetske verige po x osi, ki je montiran na zadnji strani mostu, kot je razvidno s slike 48. Enako kot na x osi smo na y osi montirali kanal in energetske verige, kar je prikazano na sliki 49.



Slika 47: Kanal za energetske verige

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 48: Montaža kanala za energetske verige na x osi

(Vir: Osebni arhiv)

Enako kot na x osi smo na y osi montirali kanal in energetske verige, kar je prikazano na spodnji sliki. Na z osi smo energetske verige montirali vertikalno, za razliko od osi x in y, kjer smo jo montirali horizontalno. Zaradi tega nismo potrebovali vodilnega kanala. Montirana energetska veriga na z osi je prikazana na sliki 50.



Slika 49: Montaža kanala in verige na y osi

(Vir: Osebni arhiv)



Slika 50: Montaža energetske verige na z osi

(Vir: Osebni arhiv)

5.4.5 Montaža električne inštalacije

Montaža električne inštalacije se je pričela z napeljavo kablov po energetskih verigah, ki so vidni na prejšnjih dveh slikah. Za servomotorje smo uporabili kable predpisane s strani proizvajalca, prav tako smo uporabili kable za glavno vreteno po priporočilih proizvajalca. Za servomotorje smo porabili približno 150 m kabla, za glavno vreteno pa približno 50 m.

Kabli iz glavnega vretena so vezani na frekvenčni regulator in krmilnik, servomotorji pa so s kabli povezani na servoregulatorje.

V elektro omaro smo najprej namestili vse komponente, morali smo upoštevati navodila proizvajalcev za ozemljitev, zračenje komponent in priklop kablov.

Komponente, montirane v omari:

- frekvenčni regulator
- servoregulatorji
- krmilnik in dodatni vhodno/izhodni modul
- napajalnik
- varnostni modul
- glavno stikalo
- releji
- osebni računalnik

Frekvenčni regulator, prikazan na sliki 51, ima moč 11 kW in je priključen na trifazno napetost, ki ji spreminja frekvenco in s tem se spreminja hitrost glavnega vretena.

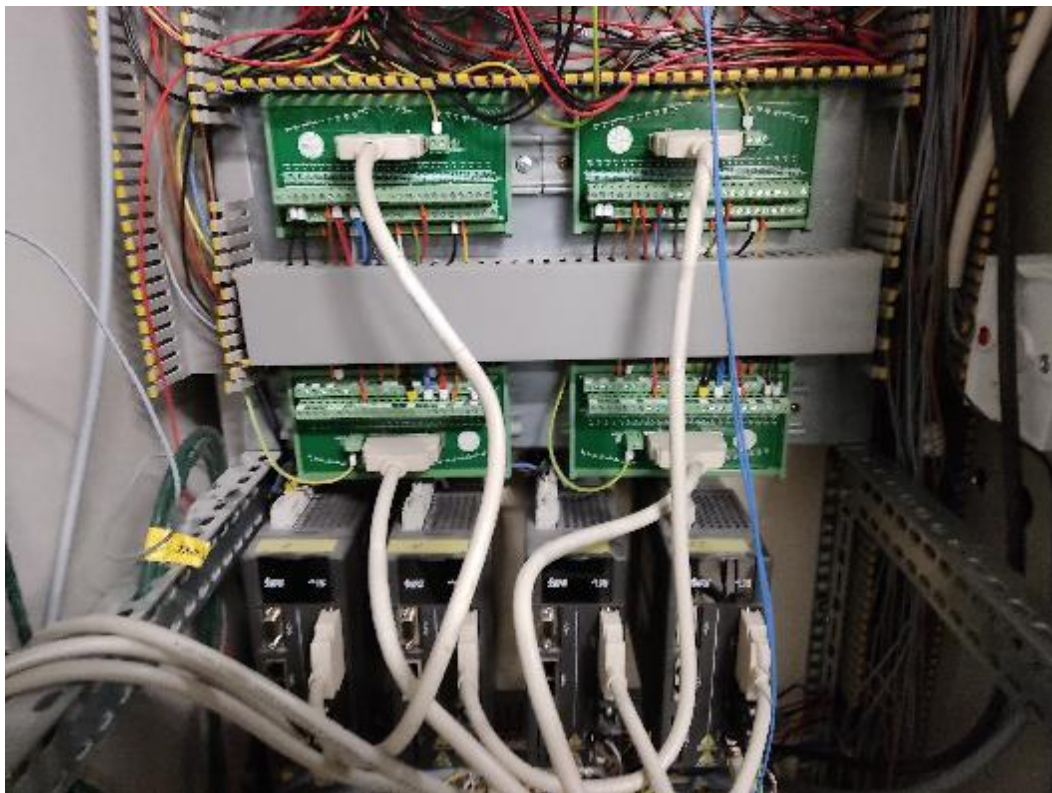


Slika 51: Frekvenčni regulator Altivar 31

(Vir: Osebni arhiv)

V omari so montirani 4 servoregulatorji, ki jih vidimo na sliki 52; 2 z močjo 1,5 kW in 2 z močjo 1 kW. Vsi delujejo na enofazno napetost, signale za sprostitve zavore motorjev prejemajo preko relejev iz krmilnika, signale za hitrost in smer, STEP/DIR, prejemajo direktno iz krmilnika. Povezave na servoregulatorje izvajamo preko razdelilnih terminalov, ki so povezani s servoregulatorji s kabli. Prednost servomotorjev je, da delujejo na zaprtzančnem

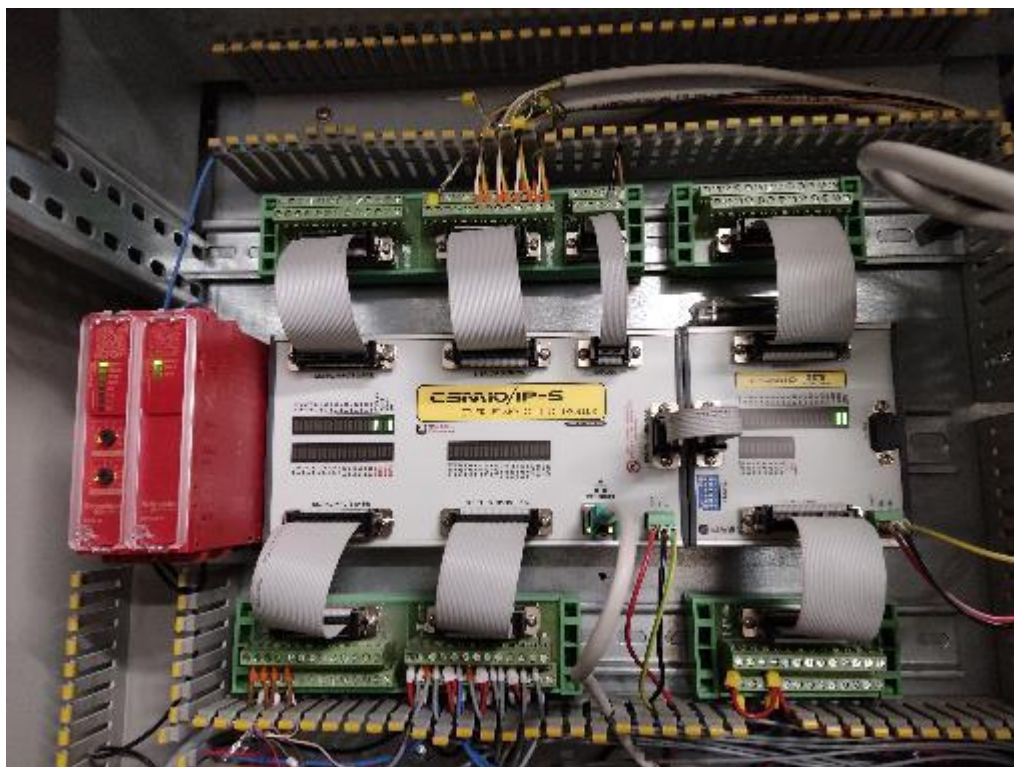
sistemu in tako stalno sledijo svoji poziciji ter javijo napako, če se ta pojavi med zeleno in dejansko pozicijo. Uporabili smo servomotorje proizvajalca Delta s 17-bitnim enkoderjem.



Slika 52: Servoregulatorji z razdelilnimi terminali

(Vir: Osebni arhiv)

Krmilnik CS MIO IP-S poljskega proizvajalca CS LAB smo uporabili, ker smo imeli z njim že izkušnje in je bil kompatibilen s programom Mach 4, ki smo ga imeli namen uporabiti. Ima 32 digitalnih izhodov, 16 digitalnih vhodov, 4 analogne vhode in 2 analogna izhoda. Krmili lahko do 6 osi in podpira dodajanje do 16 vhodno/izhodnih modulov, MPG-modula in ENC-modula. Dodali smo mu 1 dodatni vhodno/izhodni modul. Krmilnik in modul sta prikazana na spodnji sliki.



Slika 53: Krmilnik CS MIO IP-S in vhodno/izhodni modul

(Vir: Osebni arhiv)

Uporabili smo napajalnik Siemens SITOP PSU8200, ki ima trifazno priključno napetost in nam na izhodu daje 24 V DC napetost. Napajalnik je prikazan na spodnji sliki.



Slika 54: Napajalnik Siemens

(Vir: Osebni arhiv)

Varnostni modul, prikazan na sliki 55, skrbi za zaščito ljudi, medtem ko stroj obratuje. Uporabili smo varnostni modul proizvajalca Schneider Electric, ki smo ga povezali na tipke za zaustavitev v sili. Na stroj nameravamo montirati še blazine, občutljive na pritisk, ki bodo prav tako vezane na varnostni modul.



Slika 55: Varnostni modul XPSUAB31CC

(Vir: www.se.com)

Glavno stikalo služi vklopu stroja. Uporabili smo glavno stikalo proizvajalca Schneider Electric.

Releji so elektromagnetna stikala, ki jih vklapljammo s krmilno napetostjo. Uporabili smo jih za krmiljenje elektromagnetnih ventilov in izklop zavor na servomotorjih. Vidimo jih na spodnji sliki.



Slika 56: Releji

(Vir: Osebni arhiv)

Na osebnem računalniku lahko 3D modeliramo, ročno pišemo G-kode in jih nalagamo preko omrežja. Njegova najpomembnejša naloga je v našem primeru poganjanje krmilnega programa Mach 4, ki predvaja G-kodo na krmilnik in nadzoruje delovanje celotnega sistema na stroju.

5.5 VARNOST

Za varnost smo poskrbeli tako, da smo vse vrteče se dele ustrezno zaščitili, da niso neposredno dosegljivi, na več strateških točkah na stroju so montirane gobice za izklop v sili, ki jih je mogoče aktivirati ob nevarnosti ali nepravilnemu delovanju stroja. Ko bo stroj končan, imamo namen montirati tudi varnostne blazine (angl. safety bumper), ki delujejo na pritisk in imajo ob trku s predmetom ali osebo enak učinek, kot če bi pritisnili tipko izklop v sili. Varnostne blazine so prikazane na sliki 57. Na stroj bomo montirali tudi semafor, ki ga vidimo na sliki 58, ki prikazuje trenutno stanje na stroju (stroj je v mirovanju, stroj obratuje, stroj ustavljen zaradi napake) in je viden že od daleč. Želimo si tudi pridobiti CE-certifikat za stroj, zato bomo uredili tudi vse dokumente in se prepričali, da stroj ustreza varnostnim standardom.



Slika 57: Semafor

(Vir: en.cs-lab.eu)



Slika 58: Varnostna blazina

(Vir: www.directindustry.com/)

5.6 TESTIRANJE

Ko smo stroj sestavili in zmontirali osnovne varnostne komponente (tipke za izklop v sili), smo lahko pričeli s testiranjem. Umeriti smo morali osi, da se za enako razdaljo premaknejo virtualno v računalniku kot tudi fizično na samem stroju. Ugotovili smo, da nam rezkanje ob robu stroja onemogoča nosilna plošča glavnega vretena na z osi zaradi drugačne zasnove prejšnjih konstrukcij, tega na 3D-modelu nismo opazili. Nosilno ploščo glavnega vretena smo zato skrajšali za 13 cm in s tem odpravili težavo. Ugotovili smo tudi, da bo najverjetneje treba stroj zaradi sil, ki nastajajo ob izredno hitrih premikih, privijačiti v tla, kar na začetku nismo

predvideli. Izboljšali, bi lahko tudi priključitev vseh vodnikov iz elektro omare na stroj s konektorji v steni omare. Ta nadgradnja bi pripomogla ob morebitnem premikanju stroja, ko je potrebno vse komponente na stroju odklopiti in omarico predstavljati ločeno, nato pa vse ponovno priključiti.

5.7 ZAGON

Končni zagon stroja bomo lahko opravili šele, ko bo na njem vsa oprema za varovanje ljudi in stroja. Tega zaradi obsežnosti in trenutnih dobavnih rokov nismo uspeli opraviti.

6 PREDSTAVITEV REZULTATOV

Čeprav naloga še ni dokončana, lahko že z gotovostjo ovržemo ali potrdimo naše hipoteze. Kljub nekaterim težavam, ki so se pojavile, smo jih s pomočjo staršev, spleta, lastnega znanja, mentorjev in svetovalcev uspešno razrešili.

Tabela 3: Predstavitev hipotez

H1 – Izdelati CNC rezkalni stroj za les, ki ustreza industrijskim in varnostnim standardom.	DRŽI
H2 – Izdelati stroj, ki bo deloval po principu "NESTING".	DRŽI
H3 – Vpenjati obdelovance s pomočjo vakuum mize.	DRŽI
H4 – S strojem dosegati minimalno hitrost 20 m/min na x in y osi.	DRŽI
H5 – Stroj izdelati ceneje kot je cena primerljivih strojev na tržišču.	DRŽI

H1 – Izdelati CNC rezkalni stroj za les, ki ustreza industrijskim in varnostnim standardom.

Zaradi pridobitve CE-certifikata stroj ustreza varnostnim standardom.

H2 – Izdelati stroj, ki bo deloval po principu "NESTING".

Zaradi zasnove je stroj zmožen delovati po principu "NESTING" in lahko to hipotezo potrdimo.

H3 – Vpenjati obdelovance s pomočjo vakuum mize.

Ker smo uporabili vakuum črpalko in temu namenjeno vpenjalno mizo, je surovec možno vpeti s pomočjo vakuum mize.

H4 – S strojem dosegati minimalno hitrost 20 m/min na x in y osi.

Zaradi primerne izbire motorjev in reduktorjev stroj dosega hitrost višjo od 20 m/min.

H5 – Stroj izdelati ceneje kot je cena primerljivih strojev na tržišču.

To hipotezo smo potrdili, ker v ceno stroja ne moremo všteti ur, ki smo jih porabili za konstruiranje.

7 ZAKLJUČEK

Raziskovalna naloga nam je na začetku predstavljala velik izziv, saj takšnega projekta še nismo izdelovali. Prav tako nam je omogočila, da nadgradimo svoje znanje na področjih varjenja, CAD-modeliranja, elektrotehnike in konstruiranja. Ker so se vseskozi pojavljale težave, smo se le-te naučili mirno in učinkovito reševati.

Kljub temu da smo potrdili vse hipoteze, pa nam ni uspelo uresničiti vseh želja naročnika. Napravo za zaznavanje prisotnosti oseb je možno montirati na stroj, a smo se odločili, da tega zaradi varovanja, ki smo ga namenili montirati na stroj, zaenkrat ne bomo dodali. Zagotovo pa bomo na stroj montirali centralno mazanje vodil in krogličnega vretena, kar je bila ena izmed želja naročnika, ki pa nam je zaradi omejenega časovnega roka ni uspelo uresničiti.

Ker v času izdelave stroja ni bila možna dobava varnostnih blazin, ki smo jih omenili v poglavju 5, jih bomo na stroj montirali naknadno. Prav tako bo stroj pokrit s pokrovi, da bo dostop do vrtečih se delov med delovanjem nemogoč.

Želimo si tudi, da bi stroj nadgradili v 4- ali 5-osnega, kar pa trenutno za nas predstavlja velik izziv in bomo to realizirali v kasnejšem času, ko bomo imeli več znanja ter izkušenj na tem področju.

8 VIRI IN LITERATURA

- [1] MEHATRONIKA. [prevajalci Monika Čeh et al.]. 2. izd., 4. natis. Ljubljana: Pasadena, 2017.
- [2] Egradivo.ecnm [online]. (citirano 25. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <http://egradivo.ecnm.si/POV/barvanje.html>
- [3] Formis.si [online]. (citirano 22. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://formis.si/kako-deluje/>
- [4] Kovinc.si [online]. (citirano 23. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.kovinc.si/wiki/mig-varjenje>
- [5] Kovinc.si [online]. (citirano 22. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.kovinc.si/storitve/laserski-razrez-plocevine>
- [6] Nesting linija KDT [online]. (citirano 20. 1. 2022). Dostopno na naslovu: <https://www.bolha.com/obdelava-lesa/nesting-cnc-linija-kdt-kn-3710d-oglas-8823419>
- [7] Obdelovalni center Morbidelli Author X5 [online]. (citirano 20. 1. 2022). Dostopno na naslovu: <https://www.bolha.com/obdelava-lesa/cnc-obdelovalni-center-morbidelli-author-x5-oglas-8652229>
- [8] Rezkalni stroj Bohrwerk [online]. (citirano 3. 2. 2022). Dostopno na naslovu: <https://www.mojstrovina.si/portfolio/tos-wn-105-cnc/>
- [9] Semafor [online]. (citirano 5. 3. 2021). Dostopno na naslovu: <https://en.cs-lab.eu/product/stack-lights-led-signal-tower-folded/>
- [10] Siapro.eu [online]. (citirano 23. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <http://www.siapro.eu/faq/>
- [11] Solidworks [online]. 2014. (citirano 20. 2. 2021). Dostopno na naslovu: http://eprints.fri.uni-lj.si/2683/1/63090002PETER_JUR%C5%A0EAvtomatsko_konstruiranje_z_orodjem_SolidWorks.pdf
- [12] Solidworks [online]. 2018. (citirano 20. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://sl.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [13] Sts.si [online]. (citirano 26. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <http://www2.sts.si/arhiv/tehno/projekt2/r1.htm>

- [14] Sts.si [online]. (citirano 3. 3. 2021). Dostopno na naslovu: <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/shema.htm>
- [15] Sts.si [online]. (citirano 3. 3. 2021). Dostopno na naslovu: <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/cncstr.htm>
- [16] Tisma.si [online]. (citirano 22. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.tisma.si/predelava-plocevne/tehnologije/laserski-razrez-plocevin/>
- [17] Varnostna blazina [online]. (citirano 5. 3. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.directindustry.com%2Fprod%2Faso-gmbh%2Fproduct-26731-1607906.html&psig=AOvVaw05tdALgGqujEt811N92Dgh&ust=1647248006597000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCJzhJTbwvYCFQAAAAAdAAAAABAD>
- [18] Varnostni modul XPSUAB31CC [online]. (citirano 28. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://www.se.com/ww/en/product/XPSUAB31CC/safety-module-harmony-safety-automation-cat-1-potential-free-nc-nc-no-nc-pnp-pnp-48240v-ac-dc-spring/?filter=business-1-industrial-automation-and-control&parent-subcategory-id=89177&range=65900-harmony-xps&selected-node-id=14089236495>
- [19] Wikipedia.org [online]. (citirano 21. 2. 2021). Dostopno na naslovu: https://sl.wikipedia.org/wiki/Plazemsko_rezanje
- [20] Wikipedia.org [online]. (citirano 27. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Navoj>
- [21] Wikipedia.org [online]. (citirano 29. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Vrtanje>
- [22] Wikipedia.org [online]. (citirano 29. 2. 2021). Dostopno na naslovu: https://www.google.com/search?q=drilling&sxsrf=APq-WBsKkCijClyBj-SwnlDpa65UeA4FLA:1646568264008&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjo0eXjuLH2AhVRuKQKHbu4DbAQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgrc=9kgEU31R_yhxYM
- [23] Wikipedia.org [online]. (citirano 29. 2. 2021). Dostopno na naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Drilling>