ŠOLSKI CENTER VELENJE
ŠOLA ZA STROJNIŠTVO, GEOTEHNIKO IN OKOLJE
TRG MLADOSTI 3, 3320 VELENJE

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA

IZDELAVA PIRHOV S POMOČJO LASERJA

Tematsko področje: TEHNIKA ALI TEHNOLOGIJA

Avtorja:
Janez Jan Štiglic, 3. letnik
Kian Ladič, 3. letnik

Mentorja:
Jožef Hrovat, dipl. inž. stroj.
Stanislav Glinšek, inž. stroj.

Velenje, 2025

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šoli za strojništvo, geotehniko in okolje Velenje.

Mentorja: Jožef Hrovat, dipl. inž. stroj. ; Stanislav Glinšek, inž. stroj.

Datum predstavitve: marec 2025

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2024/2025

KG laser / dodatki za laser / graviranje / pirhi

AV Kian, LADIČ, Janez, Jan, ŠTIGLIC

SA Jožef, HROVAT, Stanislav, GLINŠEK

KZ 3320, Velenje, SLO, Trg mladosti 3

ZA Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje

LI 2025

IN **IZDELAVA PIRHOV S POMOČJO LASERJA**

TD Raziskovalna naloga

OP

IJ SL

JI sl/en

AI

Raziskovalna naloga se osredotoča na razvoj in izdelavo naprave za lasersko graviranje, ki omogoča graviranje in rezanje cilindričnih predmetov. Projekt bo zahteval kombinacijo znanj mehatronike, strojništva, elektronike ter uporabe specifične programske opreme. Za obstoječi namizni laser z manjšo močjo bomo razvili napravo, ki bo omogočila ustrezno vpetje valjastega predmeta (v tem primeru jajca) in vrtenje okoli lastne osi. Na lupino jajca bomo gravirali različne vzorce. Za izvedbo graviranja bomo uporabili tri različne postopke: graviranje brez vpetja, graviranje med valjčki in graviranje z vpetjem v našo napravo. Z rezultati bomo primerjali učinkovitost posameznih postopkov ter ugotovili, kateri je najbolj primeren za graviranje pirhov. Za uspešno izvedbo projekta bo potrebno znanje 3D-modeliranja, CNC obdelave, 3D-tiskanja ter uporabe namiznega laserja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Srednja šola za strojništvo, geotehniko in okolje, 2024/2025

CX laser / Laser accessories / engraving / easter eggs

AU Kian, LADIČ, Janez, Jan, ŠTIGLIC

AA Jožef, HROVAT, Stanislav, GLINŠEK

PP 3320, Velenje, SLO, Trg mladosti 3

PB High school for engineering, geotechnical engineering and environment

PY 2025

TI **MAKING EASTER EGGS WITH LASER ENGRAVING**

DT Research work

NO

LA SL

AL sl/en

AB

The research project focuses on the development and manufacture of a laser engraving device that enables engraving and cutting of cylindrical objects. The project will require a combination of knowledge of mechatronics, mechanical engineering, electronics and the use of specific software. For the existing desktop laser with less power, we will develop a device that will allow proper embedding of a cylindrical object (in this case an egg) and rotation about its own axis. We will engrave different patterns on the shell of the egg. To carry out the engraving we will use three different processes: engraving without embedding, engraving between rollers and engraving by embedding into our device. We will use the results to compare the efficiency of individual processes and determine which one is most suitable for engraving easter eggs. Successful implementation of the project will require knowledge of 3D modeling, CNC machining, 3D printing and the use of a desktop laser.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD ... 1
1.1 HIPOTEZE ... 1
2. CILJ ... 2
3. TEORETIČNE OSNOVE ... 3
3.1 KAJ JE LASER? ... 3
3.2 VRSTE LASERJEV ... 4
3.2.1 CO_2 laser ... 4
3.2.2 YAG laser ... 4
3.2.3 Vlakenski laser (fiber laser) ... 5
3.2.4 Polprevodniški laser (diodni laser) ... 6
3.3 UPORABA LASERJEV ... 7
3.3.1 Uporabnost laserskega postopka ... 7
3.3.2 Natančnost laserskega razreza in materiali, ki jih lahko režemo ... 7
3.4 NAMIZNI LASERJI IN SMERNICE RAZVOJA ... 8
3.5 ZGODOVINA IN ZAČETKI LASERJA ... 9
3.6 PRIPOMOČKI ZA LASERSKE REZALNIKE ... 10
3.6.1 Rotacijska naprava z valjčki ... 10
3.6.2 Rotacijska naprava z vpetjem v 3-čeljustno vpenjalno glavo ... 10
3.6.3 Ohišja za lasersko graviranje s pokrovom ... 11
3.6.4 Laserska podloga – podložna miza ... 12
4. PIRHI ... 12
4.0.1 Kaj je bilo prej, kura ali jajce? ... 13
4.1 POMEN PIRHOV V SVETU ... 13
4.1.1 Kristjani ... 13
4.1.2 Egipčani ... 13
4.1.3 Turki ... 13
5.0 IZDELAVA NAPRAVE ZA ROTACIJO ... 14
5.1 KONSTRUIRANJE ... 15
5.2 PROTOTIPI ... 15
5.3 ELEMENTI ... 16
5.3.1 Pogonski del ... 16
5.3.2 Konjiček ... 19

5.3.3 Podstavek ... 19
6. GRAVIRANJE ... 20
6.0.1 Parametri ... 20
6.1 GRAVIRANJE BREZ ROTACIJE ... 21
6.1.1 Postopek ... 21
6.2 GRAVIRANJE Z VALJČKI ... 22
6.2.1 Postopek ... 22
6.3 GRAVIRANJE Z NAJINO NAPRAVO ... 23
6.3.1 Postopek ... 23
7. REZULTATI ... 25
7.1 SLIKE REZULTATOV ... 26
7.2 RAZPRAVA ... 29
8 ZAKLJUČEK ... 29
8.1 POTRDITEV HIPOTEZ ... 30
8.2 MOŽNE IZBOLJŠAVE ... 30
9 VIRI IN LITERATURA ... 30
9.1 VIRI SLIK ... 31
ZAHVALA ... 33
PRILOGE ... 34

KAZALO SLIK

Slika 1: Naprava za rotacijo z vpenjalom 1
Slika 2: Naprava, ustvarjena z 3D-printerjem 2
Slika 3: Laserski žarek 3
Slika 4: CO_2 laser Slika 5: CO_2 laser delovanje 4
Slika 6: YAG laser Slika 7: YAG laser delovanje 5
Slika 8 : Vlakenski laser Slika 9: Vlakenski laser delovanje 5
Slika 10: Diodni laser Slika 11: Diodni laser delovanje 6
Slika 12: Namizni laser 9
Slika 13: Theodore Maiman 9
Slika 14: Rotacijska naprava z valjčki 10
Slika 15: Rotacijska naprava z vpetjem 11
Slika 16: Ohišje za lasersko graviranje 11
Slika 17: Podložna miza 12
Slika 18: Pirhi 12
Slika 19 : Naprava za rotacijo 14
Slika 20: Prvi načrti (kako bi naj izgledala gred) 15
Slika 21: Nadomestni del za vpenjanje jajca 16
Slika 22: Ohišje 16
Slika 23: Koračni motor 17
Slika 24: Najina improvizacija z jermenom 17
Slika 25: Jermenici 18
Slika 26: Ležaj 18
Slika 27: Vpenjalna glava Slika 28: Nastavki za vpenjanje 19
Slika 29: Konjiček 19
Slika 30: X profil, uporabljen za podstavek 20
Slika 31: Parametri 21
Slika 32: Graviranje jajca brez rotacije in izdelek 22
Slika 33: Nastavljanje parametrov 23
Slika 34: Graviranje jajca z valjčki in izdelek 23
Slika 35: Nastavljanje parametrov za našo napravo 24
Slika 36: Graviranje jajca z vpetjem v najino napravo in izdelek 24
Slika 37: Najin končni izdelek 24
Slika 38: Graviranje brez rotacije (opazimo megleno gravuro) 26
Slika 39: Graviranje barvanega jajca brez rotacije 26
Slika 40: Graviranje znaka ŠSGO Slika 41: Graviranje vzorca (opazimo nenatančnost v gravuri zaradi malih črt) 27
Slika 42: Graviranje znaka ŠCV Slika 43: Graviranje znaka ŠCV na barvano jajce 27
Slika 44: Graviranje znaka ŠCV Slika 45: Graviranje znaka ŠCV na barvano jajce 28
Slika 46: Graviranje vzorca (opazimo večjo natančnost) 28

1. UVOD

Laserji za graviranje so ključni dejavnik v sodobnem gospodarstvu. Njihova uporaba se osredotoča predvsem na rezanje pločevine in lasersko graviranje. Razvoj in uporaba teh tehnologij hitro napredujeta in širita svoje področje delovanja. V večini primerov obdelovalno površino predstavlja ravna ploskev, kar omogoča preprosto obdelavo. Če pa si želimo postaviti višje izzive in nadgraditi uporabo laserja, lahko izbiramo med različnejšimi površinami, ki so bolj zahtevne za obdelavo. Zato je najina ideja izboljšati in poenostaviti proces graviranja zahtevnejših, predvsem valjastih oblik. Za predmet graviranja sva izbrala jajce, saj je zaradi svoje oblike in neravne površine precej zahtevno za graviranje in izrezovanje. V okviru najine projektne naloge bova predstavila celoten postopek realizacije ideje, teoretično in praktično znanje, ki sva ga pridobila skozi obdobje priprave, osvetlila teoretične osnove o laserjih ter ocenila, ali meniva, da nama je uspelo uspešno razviti idejo.



Slika 1: Naprava za rotacijo z vpenjalom

1.1 HIPOTEZE

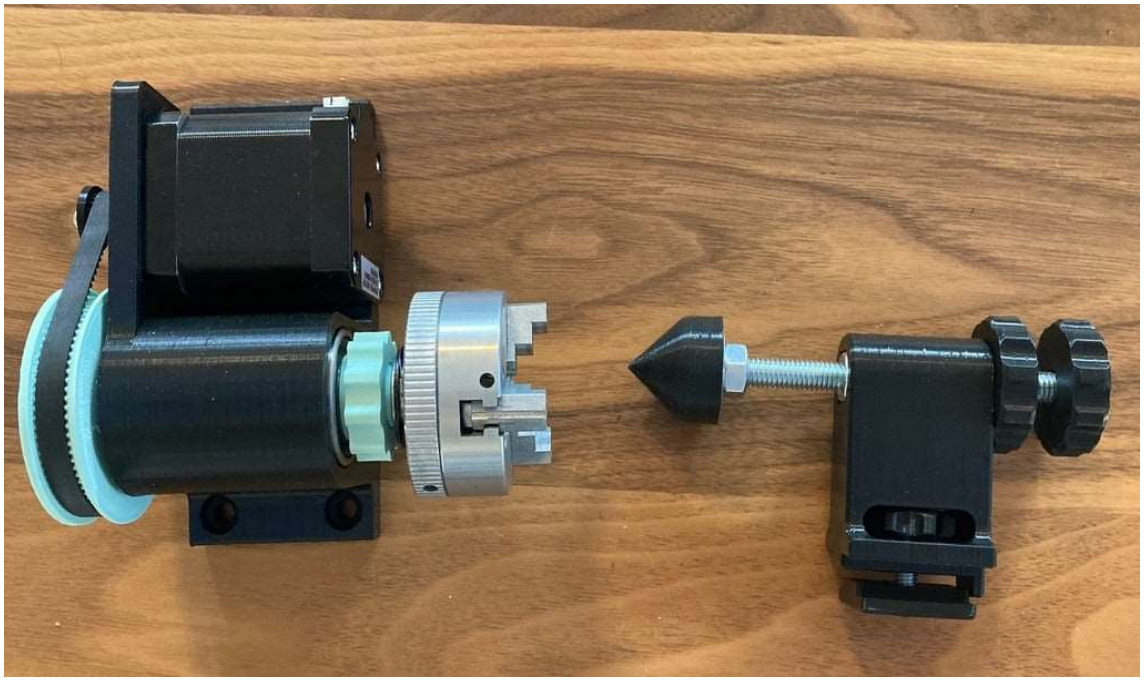
- Lahko izdelava rotacijsko napravo z vpetjem v tri čeljustno vpenjalno glavo s podporo konjička, ki bo kompatibilna z laserjem.
- Pirhe je mogoče gravirati tudi brez rotacije.
- Z napravo, ki sva jo izdelala, je mogoče gravirati celoten obod jajca.
- Izdelana naprava omogoča boljšo kvaliteto graviranja od že obstoječih naprav.
- Faktor obarvanega jajca vpliva na izgled gravure.

2. CILJ

Cilj najine raziskovalne naloge je razviti napravo, ki bo v primerjavi z obstoječimi napravami boljša. To pomeni, da želiva izdelati napravo, ki bo omogočala natančnejšo in kakovostnejšo obdelavo ter hitrejši čas graviranja. Trenutno že obstaja nekaj naprav, namenjenih graviranju izdelkov valjastih oblik. Ena izmed možnosti je obdelava brez rotacije, ki pa je najmanj primerna, saj omejuje območje graviranja. Ker predmeta (jajca) ne rotira, lahko graviramo le površino, ki je obrnjena proti laserju. Kvaliteta obdelave je prav tako slabša zaradi neenakih višin.

Druga možnost je uporaba naprave z rolerji, ki omogoča rotacijo jajca okoli njegove osi. Ta naprava zagotavlja boljšo kakovost obdelave kot opcija brez rotacije, vendar se lahko pojavi težava zaradi nepravilno vpetega jajca, kar lahko vpliva na natančnost.

Najina ideja pa omogoča visok nivo vseh teh parametrov. Ponuja predvsem kakovostno in trdno vpetje, natančno obdelavo ter obdelavo celotne površine predmeta. Poleg razvoja naprave morava proučiti tudi parametre, ki so primerni za obdelavo, da bo kakovost končnega izdelka res dobra in natančna. Naprava ne sme predstavljati previsokih stroškov, da bi bila primerna za uporabo širšemu krogu ljudi. Najina naprava ni namenjena proizvodnemu gospodarstvu, vendar pa nama omogoča pridobivanje znanja, ki ga bova morda v prihodnosti uporabila za razvoj bolj kompleksnih naprav ali strojev.

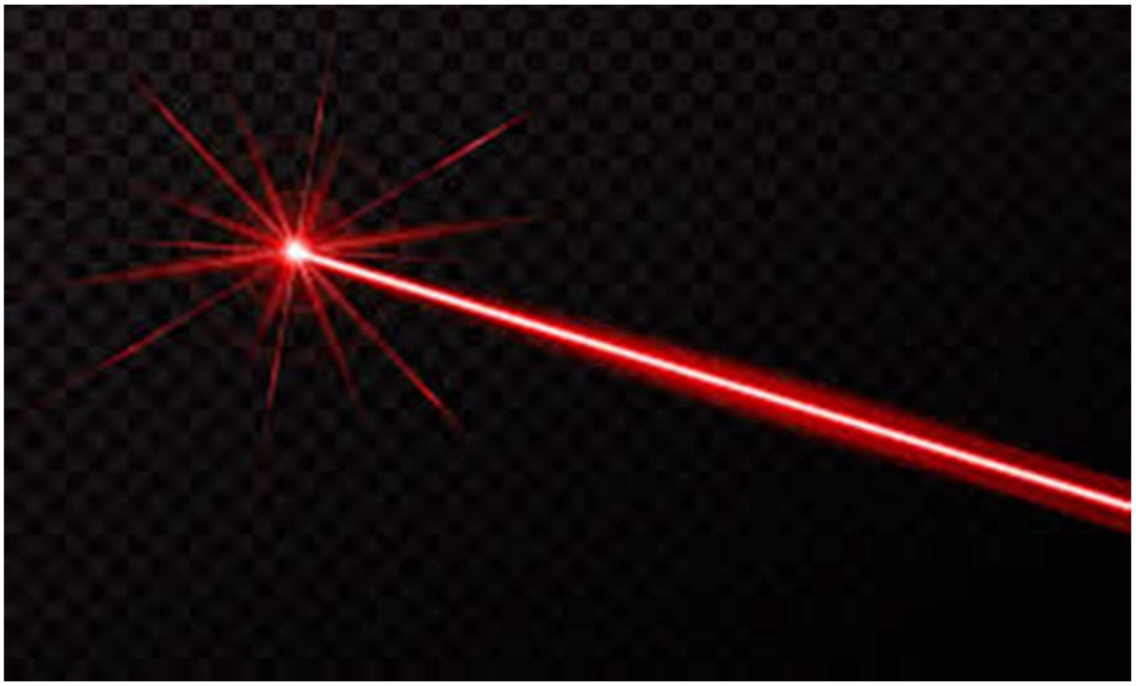


Slika 2: Naprava, ustvarjena z 3D-printerjem

3. TEORETIČNE OSNOVE

3.1 KAJ JE LASER?

Beseda *laser* je okrajšava za "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*" (ojačenje svetlobe s stimulirano emisijo sevanja). Laser je naprava, ki proizvaja svetlobo z uporabo stimulirane emisije sevanja. Svetlobo oddaja v obliki zelo usmerjenega in koherentnega žarka. To pomeni, da imajo svetlobni valovi iste valovne dolžine in so usmerjeni v eno točko. Laserski žarki so lahko zelo močni in natančni, kar omogoča širok spekter uporab, od medicinskih in industrijskih aplikacij do komunikacijskih tehnologij. Laserske naprave se uporabljajo na mnogih področjih, kot so lasersko graviranje, lasersko rezanje in optična branja. Za delovanje laserja je potreben material, ki deluje kot aktivni medij, kar so lahko plini, tekočine ali trdni materiali. Ko se ta material izpostavi energiji, začne oddajati svetlobo v obliki laserja. Laserski žarki se pogosto uporabljajo v znanstvenih raziskavah, kot tudi v vsakdanjem življenju, na primer v optičnih bralnikih.



Slika 3: Laserski žarek

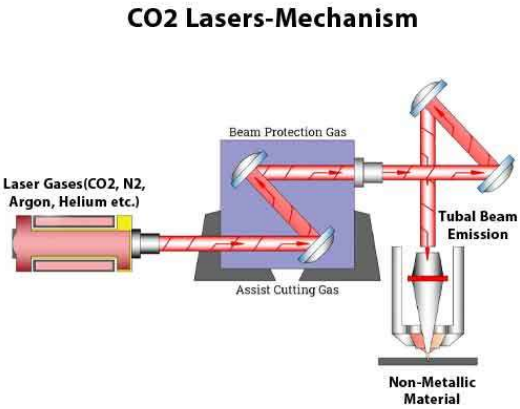
3.2 VRSTE LASERJEV

3.2.1 CO_2 laser

CO_2 laser je ena izmed najpogosteje uporabljenih vrst laserjev v industriji, saj je zelo učinkovit pri rezanju, graviranju in obdelavi različnih materialov. V njem je aktivni medij mešanica ogljikovega dioksida (CO_2), helija in dušika, ki se nahaja pod absolutnim tlakom 0,005 bara. Kljub temu, da CO_2 laserji ponujajo visoko moč in natančnost, imajo relativno nizko učinkovitost, saj je izkoristek približno 10 %, preostala energija pa se izgubi kot toplota. Zaradi tega je ključno dobro odvajanje toplote, saj je za nemoteno delovanje laserskega izvora potrebno zagotoviti, da se vsa toplota učinkovito odstrani. Ta laser oddaja svetlobo z valovno dolžino 10,6 µm, kar omogoča njegovo široko uporabo v industrijskih aplikacijah.



Slika 4: CO_2 laser



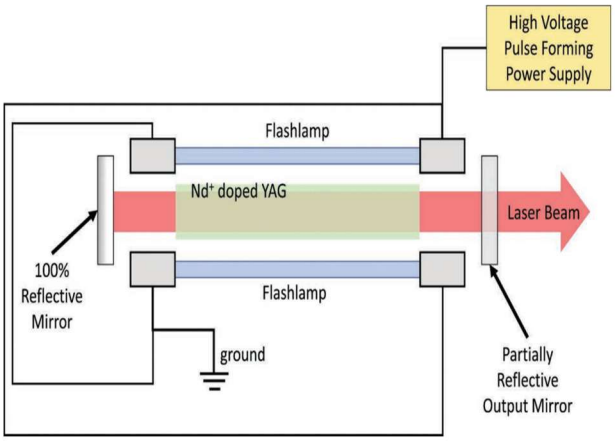
Slika 5: CO_2 laser delovanje

3.2.2 YAG laser

Laser Nd:YAG uporablja kot aktivno snov kristal iz yttrijevega aluminijevega granata (YAG), pri čemer so v kristal dodani ioni Nd3+. Ti ioni nadomestijo nekatere Y3+ ione v kristalni rešetki, kar omogoča lasersko delovanje skozi sevalne prehode med elektroni v različnih energetskih stanjih. Laser lahko oddaja svetlobo na valovni dolžini 1,06 µm. Ena od prednosti tega laserja je njegova kompaktnost in sposobnost prenašanja žarka na velike razdalje, saj žarek potuje po optičnih vlaknih, kar omogoča fleksibilno uporabo, na primer za montažo na robotske roke. Nd:YAG laser lahko zbujamo tudi s polprevodniškim laserjem, pri čemer sta v splošni rabi dve vrsti optičnega črpanja: vzdolžno in prečno. Vzdolžno črpanje omogoča visok izkoristek in odlično kvaliteto izhodnega žarka, vendar je primerno le za manjše in srednje moči, saj lahko visoka jakost žarka na majhni površini povzroči termo elastične napetosti in spremembo lomnega količnika. Prečno črpanje omogoča večje moči črpanja, a ima slabšo kvaliteto žarka, ker žarek vstopa na večjo vstopno površino kristala.



Slika 6: YAG laser



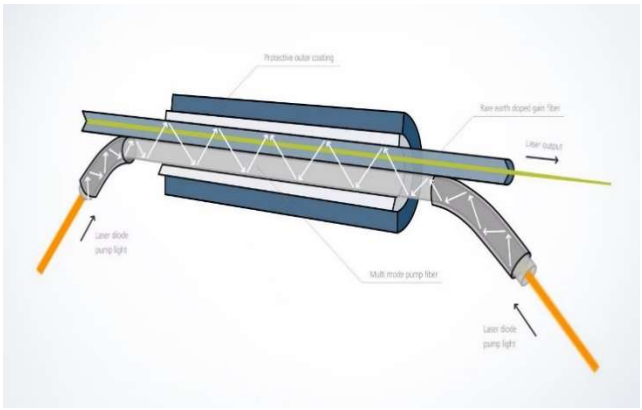
Slika 7: YAG laser delovanje

3.2.3 Vlakenski laser (fiber laser)

Pri vlakenskih laserjih poteka pretvorba črpalne svetlobe v lasersko svetlobo znotraj optičnih vlaken, ki so sestavljena iz več ovojev. Jedro vlakna vsebuje primesi aktivne snovi, najpogosteje atome iterbija, ki vzbujajo in ojačajo lasersko svetlobo. Črpalna svetloba, ki jo laserske diode uvajajo v notranji ovoj, prehaja v jedro, kjer vzbuja atome v višja energijska stanja. Zunanji ovoj ima še manjši lomni količnik, zato svetloba ostaja v notranjem ovoju, medtem ko je zunanji del zaščiten z mehansko zaščito. Črpalne diode, nameščene na obeh koncih vlakna ali povezane s samim vlaknom, omogočajo generiranje laserske svetlobe, pri čemer večje število diod povečuje izhodno moč laserja. Vlakenski laserji imajo zelo visok izkoristek, saj laserske diode pretvorijo električno energijo v optično z učinkovitostjo med 50 % do 70 %. Za obdelavo debelih materialov so potrebni laserji večjih izhodnih moči (od 10 kW do 100 kW).



Slika 8 : Vlakenski laser



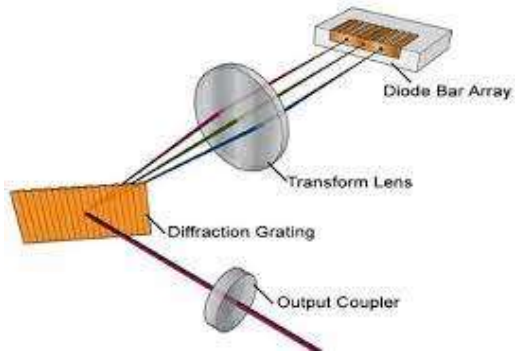
Slika 9: Vlakenski laser delovanje

3.2.4 Polprevodniški laser (diodni laser)

Polprevodniški laser, znan tudi kot laserska dioda, uporablja aktivni medij v obliki spoja dveh polprevodnikov tipa P in N. N-tip polprevodnika vsebuje večjo koncentracijo prostih elektronov, medtem ko P-tip vsebuje večjo koncentracijo vrzeli. Ta spoj je zmožen oddajati svetlobo, ko elektroni prehajajo iz višjih v nižja energijska stanja. Laserske diode so najbolj pogost tip laserja, saj se uporabljajo v širokem spektru aplikacij, kot so komunikacije, bralniki črtnih kod, laserski kazalniki, CD/DVD/Blu-ray predvajalniki in laserski tiskalniki. Polprevodniški laserji so energetsko učinkoviti, saj imajo izkoristek do 60 %, kar omogoča široko uporabo v tehnoloških napravah.



Slika 10: Diodni laser



Slika 11: Diodni laser delovanje

3.3 UPORABA LASERJEV

Laserji se uporabljajo v marsikateri panogi:

- Obdelava materialov: lasersko rezanje, graviranje in varjenje pri obdelavi kovin, plastike, lesa in drugih materialov.
- Medicina: za zdravljenje očesnih bolezni, zobozdravstvene posege, odstranjevanje tatoojev in drugo.
- Komunikacije: za prenos podatkov po optičnih vlaknih in za brezžično komunikacijo, kot sta optični Wi-Fi in Li-Fi.
- Znanost: v znanstvenih raziskavah, kot so raziskave materialov, fizike, biologije in medicine.
- Razvedrilna industrija: na različnih prireditvah in v filmski industriji.
- Meritve: za izdelavo natančnih meritev.
- Varnost: v varnostnih napravah ter pri alarmnih sistemih.

3.3.1 Uporabnost laserskega postopka

Lasersko rezanje je uveljavljen postopek za natančne reze po konturni ravnini, vključno s tridimenzionalnim rezanjem ter rezanjem cevi in profilov. Gre za termični postopek, ki je podoben plamenskemu ali plazemskemu rezanju, vendar pri tem žarek, kot vir sevalne energije, ostane fokusiran na površino obdelovanca. Zaradi svoje natančnosti in sposobnosti obdelave različnih materialov je lasersko rezanje priljubljeno v industriji, saj omogoča zelo fine in kompleksne reze.

3.3.2 Natančnost laserskega razreza in materiali, ki jih lahko režemo

Natančnost laserskega razreza je izjemna, saj omogoča zelo tanke reze z majhnimi tolerancami, pogosto v razponu le nekaj stotink milimetra. Ta visoka natančnost omogoča izdelavo kompleksnih geometrijskih oblik in finih detajlov, ki jih je z drugimi metodami obdelave težko doseči.

3.4 NAMIZNI LASERJI IN SMERNICE RAZVOJA

Namizni laserski rezalniki so zelo priljubljeni in uporabni na različnih področjih:

- Obdelava materialov: Uporabljajo se za natančno rezanje in graviranje materialov, kot so les, usnje, plastika, papir in karton, za izdelavo dekorativnih predmetov, nalepk in podobno.

- Osebna uporaba: Primerni so za graviranje na nakitu, steklu, kovinah in drugih materialih, kar omogoča izdelavo unikatnih izdelkov.

- Modeliranje: Uporabljajo se za izdelavo prototipov, 3D-modelov, arhitekturnih maket in natančnih modelov.

- Izobraževanje: Učencem in študentom pomagajo pri ustvarjanju različnih projektov v okviru predmetov, kot so tehnika, likovna umetnost in računalništvo.

- Ustvarjalne dejavnosti: Idealni so za izdelavo okraskov, nakita, čestitk in drugih unikatnih izdelkov.

- Mala podjetja: Odlični so za manjša podjetja, ki izdelujejo promocijske materiale, embalažo in druge izdelke v manjših količinah.

Razvoj namiznih laserskih rezalnikov se osredotoča na večjo natančnost in hitrost obdelave z naprednejšimi laserskimi viri in optičnimi sistemi, s povečano energetsko učinkovitostjo ter bolj prijaznimi uporabniškimi vmesniki, ki omogočajo enostavno integracijo z obstoječimi CAD/CAM programi.

Povečane varnostne funkcije, kot so senzorji za zaznavanje napak in zaščita pred laserskim žarkom, so ključne za varno uporabo.

Laserski sistemi so vse bolj prilagodljivi za obdelavo različnih materialov, tudi debelih, ter postajajo kompaktnejši, kar omogoča uporabo v manjših prostorih. Povezljivost in avtomatizacija omogočata oddaljeno spremljanje in večjo produktivnost, cena pa se zmanjšuje, kar povečuje dostopnost.

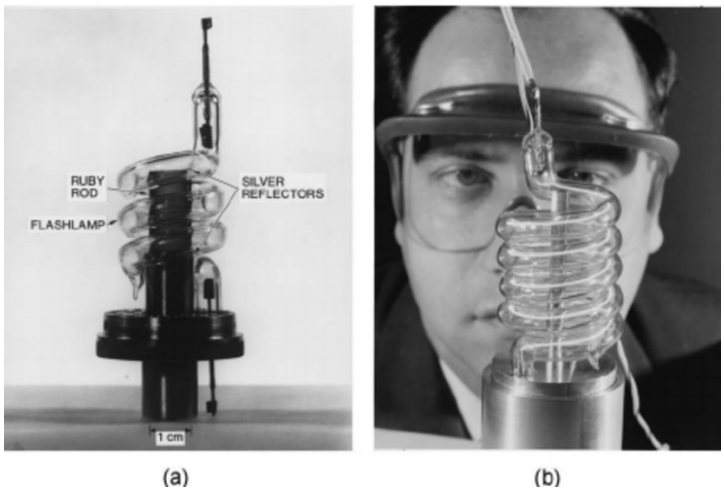
Tri najboljše znamke na trgu so: Glowforge, ki ponuja enostavne in uporabniku prijazne naprave, Epilog Laser, ki je znan po visokokakovostnih in profesionalnih napravah, ter Trotec, ki zagotavlja laserske rezalnike z visoko natančnostjo in učinkovitostjo za industrijsko uporabo.



Slika 12: Namizni laser

3.5 ZGODOVINA IN ZAČETKI LASERJA

Laserski rezalniki so se začeli razvijati v 60. letih, ko je Theodore Maiman izumil prvi laser, kar je omogočilo razvoj laserskih tehnologij za industrijsko uporabo. V začetku 70. let so raziskovalci začeli uporabljati CO_2 laserje, kar je omogočilo natančno in hitro obdelavo kovin in drugih materialov. Prvi laserski rezalniki so bili dragi in so se uporabljali predvsem v vojaški industriji za izdelavo letalskih delov. V 80. letih so se laserski rezalniki komercializirali, saj so postali dostopni za širšo industrijo. Uporabljati so jih začeli predvsem v avtomobilski industriji, elektroniki in metalurgiji. Sredi 90. let je napredek v računalniški tehnologiji omogočil integracijo CNC sistemov, kar je poenostavilo in avtomatiziralo proces rezanja. Prehod s CO_2 laserjev na vlaknaste laserje v začetku 21. stoletja je omogočil večjo natančnost in hitrost, predvsem pri obdelavi tanjših materialov. Danes so laserski rezalniki ključna tehnologija v številnih industrijah, npr. v avtomobilski, elektroindustriji in celo v umetnosti.



Slika 13: Theodore Maiman

3.6 PRIPOMOČKI ZA LASERSKE REZALNIKE

3.6.1 Rotacijska naprava z valjčki

Rotacijska naprava z valjčki omogoča obdelavo valjastih predmetov s pomočjo laserskega graviranja. Funkcionalnost naprave temelji na vrtenju dveh valjčkov, nameščenih na levo in desno stran, kar omogoča vrtenje objekta med graviranjem. Rotacijska naprava zagotavlja visoko natančnost, saj ohranja stabilnost objekta med obdelavo, kar preprečuje popačenja. Namestitev naprave je preprosta, enostavno se poveže z glavno lasersko napravo, in omogoča hitro obdelavo. Prilagodljivost naprave omogoča obdelavo različnih premerov in dolžin predmetov brez potrebe po dodatni opremi.



Slika 14: Rotacijska naprava z valjčki

3.6.2 Rotacijska naprava z vpetjem v 3-čeljustno vpenjalno glavo

Rotacijska naprava z vpetjem (chuck) je prav tako naprava, ki omogoča natančno obdelavo valjastih predmetov. Valjasti predmet se vgradi v napravo, ki ga nato med graviranjem vrti, kar omogoča enakomerno obdelavo celotne površine. Zaradi konjička ima nastavljivo širino, kar pomeni, da je primerna za različne premere velikosti predmetov. Naprava omogoča visoko natančnost, kar je ključno za profesionalno delo. Zasnovana je tako, da zagotavlja stabilnost za hitro in učinkovito delo.



Slika 15: Rotacijska naprava z vpetjem

3.6.3 Ohišja za lasersko graviranje s pokrovom

Ohišja za lasersko graviranje s pokrovom imajo pokrov, ki pomaga zaščititi uporabnika pred laserskim žarkom in drugimi nevarnostmi, povezanimi z laserskim graviranjem. Ohišja imajo tudi vrata, ki omogočajo dostop do notranjosti stroja. Na voljo so v različnih velikostih in materialih. Glavna prednost je varnost. Ohišje tudi pomaga zmanjšati hrup in prah, ki nastaneta pri laserskem graviranju. Poleg tega ohišja za lasersko graviranje s pokrovom omogočajo boljše upravljanje z dimom in odpadki, ki nastanejo pri graviranju. Prav tako lahko izboljšajo natančnost graviranja, saj ščitijo laserski žarek pred zunanjimi vplivi, kot so zračni tokovi.



Slika 16: Ohišje za lasersko graviranje

3.6.4 Laserska podloga – podložna miza

Laserska podloga "honeycomb" je vrsta delovne površine, ki se uporablja z laserskimi graverji. Ima strukturo satja, ki pomaga razpršiti toploto in preprečuje, da bi se material, ki se gravira, pregreval. Prav tako pomaga zmanjšati odboj laserskega žarka, kar lahko povzroči neželene učinke na materialu. Podaljšuje pa tudi življenjsko dobo laserskega graverja.



Slika 17: Podložna miza

4. PIRHI

Pirh ali velikonočno jajce, ponekod imenovano tudi pisanica, pisanka ali remenka, je tradicionalna hrana in simbol, ki se pripravlja ob veliki noči. Jajca se trdo skuhajo, nato pa se barvajo in krasijo, lahko pa se že kuhajo v barvilu. Barvila so lahko umetna ali naravna.



Slika 18: Pirhi

4.0.1 Kaj je bilo prej, kura ali jajce?

Vprašanje, ali je bila prej kura ali jajce, je eno od klasičnih filozofskih vprašanj, ki se nanaša na vzročno-posledične zanke. Če pogledamo z znanstvenega stališča, lahko odgovorimo, da so jajca obstajala pred kurami, saj so jajca polagala tudi druga bitja, kot so dinozavri in druge živali, ki so obstajale pred današnjimi kokošmi. Če pa gledamo specifično z evolucijskega vidika, bi lahko rekli, da je prvo "jajce", iz katerega se je izvalila prva kura, nastalo iz ptice, ki ni bila čisto kura, ampak nek prednik kure, ki je skozi evolucijo privedel do vrste, kot jo poznamo danes.

4.1 POMEN PIRHOV V SVETU

Barvana jajca, znana tudi kot pirhi, imajo v različnih kulturah in državah globoko simboliko, ki sega v zgodovino in je povezana z različnimi prazniki, še posebej z veliko nočjo. Pomen pirhov se v različnih državah nekoliko spreminja.

4.1.1 Kristjani

Pri Slovencih ter prebivalcih drugih balkanskih držav so pirhi del velikonočnih običajev. Jajce je simbol življenja, plodnosti in pomladi. Tradicionalno so jajca okrašena z različnimi barvami, med njimi rdeča barva simbolizira Kristusovo kri, modra pa mir in harmonijo. Tradicija "lovljenja jajc" je v nekaterih državah pomemben del velikonočnih praznovanj.

4.1.2 Egipčani

V Egiptu, kjer je večina prebivalcev muslimanov, so jajca pogosto barvana ob praznikih, kot je "Sham El Nessim" (praznik pomladi), ki se praznuje po koncu ramadana. Barvanje jajc je simbol pomladi, rodnosti in življenja. Jajca so običajno okrašena z živahnimi barvami, a nimajo nujno povezave z religioznimi prepričanji.

4.1.3 Turki

V Turčiji so pirhi prav tako del tradicionalnih praznovanj pomladi. Pobarvana jajca so pogosto darilo, vendar niso nujno povezana z religioznimi simboli. Kljub temu pa so jajca še vedno pomemben simbol, ki označuje novo življenje in plodnost. Zanimiv običaj je "igra z jajci", kjer se otroci z jajci igrajo, poskušajo zlomiti jajca drugih, kar je lahko tudi tekmovanje.

5.0 IZDELAVA NAPRAVE ZA ROTACIJO

Začetek izdelave naprave se je pričel z idejo in željo po pridobivanju novih znanj. Proces konstruiranja je potekal pretežno s pomočjo računalniškega programa SolidWorks, v katerem sva oblikovala začetno zasnovo. Med razpravo in med samim razvojem ideje sva odkrila več možnosti za izboljšave, težave pa sva sproti reševala.

Končni izdelek se je izkazal bistveno bolj kompleksen, kot je bilo sprva načrtovano. Prvotni načrt je predvideval izdelavo naprave pretežno s 3D-tiskalnikom, vendar sva kmalu ugotovila, da takšen način izdelave ne omogoča zadostne natančnosti pri obdelavi jajca. Ključni razlogi za nenatančnost so bili nezadostna preciznost laserja in neustrezna izbira materialov. Zaradi tega sva se odločila za uporabo CNC stroja, ki nama je omogočil širšo izbiro materialov in bistveno bolj natančno obdelavo.

Pri načrtovanju sva želela, da bo naprava kompleksnejša in oblikovno bližje izdelkom, ki so na voljo na trgu. Končni izdelek sva izdelala iz aluminija, saj bi bila izvedba iz jekla pretežka. Nekatere sestavne dele sva kupila, saj bi bila njihova izdelava preveč zahtevna glede na najina obstoječa znanja, večino preostalih komponent pa sva izdelala s pomočjo CNC stroja. 3D-tiskalnik je kljub temu odigral pomembno vlogo pri izdelavi, saj sva z njegovo pomočjo izdelala prototip ter nekatere manjše dele končnega izdelka.

Celoten proces izdelave se je začel s programiranjem CNC stroja, na katerem sva nato izvedla mehansko obdelavo. Sama izdelava posameznih komponent ni predstavljala večjih težav, večji izziv pa je bil izbor optimalne rešitve med številnimi možnostmi za končno zasnovo.

Po izdelavi vseh potrebnih elementov je sledila še končna montaža naprave in njeno praktično testiranje.

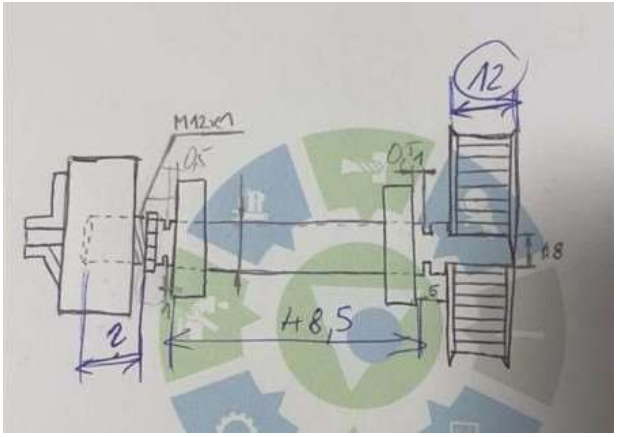


Slika 19 : Naprava za rotacijo

5.1 KONSTRUIRANJE

Konstrukcija naprave je potekala v več fazah. Najprej sva idejo iz glave s pomočjo skice prenesla na papir, nato pa sva za izdelavo natančne končne verzije uporabila računalniški program SolidWorks. Celotna konstrukcija se je skozi proces izdelave postopoma spreminjala, pri čemer so bile spremembe prilagojene izzivom, s katerimi sva se soočala med razvojem naprave.

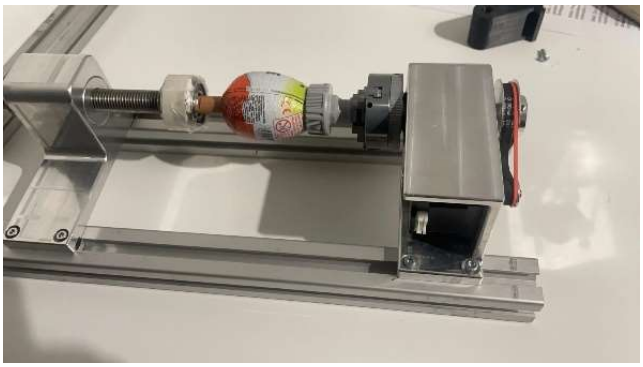
Temeljita analiza ideje in jasno zastavljen cilj sta bila ključna pri nadaljnjem razvoju naprave ter sta pripomogla k učinkovitejšemu procesu izdelave. Čeprav obstaja možnost nadaljnjih izboljšav, sva skozi celoten proces sprejemala premišljene in utemeljene odločitve. Pri konstrukciji sva se deloma oprla tudi na že obstoječe podobne naprave, kar je pripomoglo k hitrejši in učinkovitejši izdelavi.



Slika 20: Prvi načrti (kako bi naj izgledala gred)

5.2 PROTOTIPI

Najin prototip je bil 3D-natisnjena naprava, prikazana na sliki 20, ki se je v določenih vidikih razlikovala od končnega izdelka, vendar nama je omogočila preizkus osnovne ideje. Z njeno izdelavo sva odkrila nekatere pomanjkljivosti, ki sva jih nato odpravila pri končni različici naprave. Razlika med prototipom in končnim izdelkom je bila izrazita, saj je bila končna verzija bistveno izboljšana in optimizirana glede na začetne ugotovitve. Hkrati sva zaradi primanjkovanja časa s pomočjo izdelkov, ki jih dobimo kar v udobju doma, začasno naredila tudi nadomestni del za vpenjanje jajca, ki sva ga kasneje nadomestila s pravimi elementi.



Slika 21: Nadomestni del za vpenjanje jajca

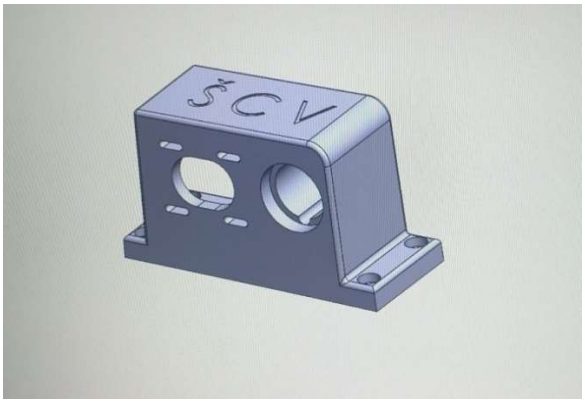
5.3 ELEMENTI

Celotna naprava je sestavljena iz treh osnovnih delov. Prvi del predstavlja pogonski mehanizem, ki omogoča vrtenje jajca. Drugi del je konjiček, ki služi kot podporni element in zagotavlja stabilnost. Tretji del sestavljajo aluminijaste profilne palice, ki tvorijo podstavek naprave ter zagotavljajo njeno trdnost in stabilnost.

5.3.1 Pogonski del

Pogonski del sestavljajo:

- **Ohišje**, ki je bilo izdelano iz aluminija s pomočjo CNC stroja. Sestavljeno je tako, da se na eni strani privije motor, ki z jermenom povezuje jermenico z gredjo.



Slika 22: Ohišje

- **Gred** je bila prav tako izdelana s pomočjo CNC stroja. Sestavljena je tako, da je na eni strani lahko jermenica in da je na drugi strani pritrjena vpenjalna glava. Je takih dimenzij, da gre skozi ležaje s tesnim ujemom.

- **Motor** je mehanska komponenta, ki zagotavlja vrtilno gibanje jermenici in vrtljivi osi. Motorji, ki se uporabljajo v nastavkih za lasersko graviranje cilindričnih predmetov, so običajno majhni in visoko učinkoviti elektromotorji, ki omogočajo natančno nadzorovano vrtenje. Uporabila sva koračni motor tipa Nema 17HS3401S**.**



Slika 23: Koračni motor

- **Jermen**, ki sva ga uporabila, je bil širine 6 mm in dolžine 300 mm. Vendar sva ugotovila, da je tak jermen predolg za najino napravo, kar je pomenilo, da sva naročila napačen jermen. Rešitev, ki sva jo našla, je bila: okoli jermena dava gumico in je tako jermen ves čas napet.



Slika 24: Najina improvizacija z jermenom

- **Jermenici,** ki sva jih uporabila, sta jermenici GT2 20 zob in 60 zob, širine 6 mm. Bili sta naročeni preko spleta skupaj z jermenom.



Slika 25: Jermenici

- **Ležaji,** ki sva jih uporabila, so bili dimenzij 15x32x9 mm. Bili so naročeni preko spleta.

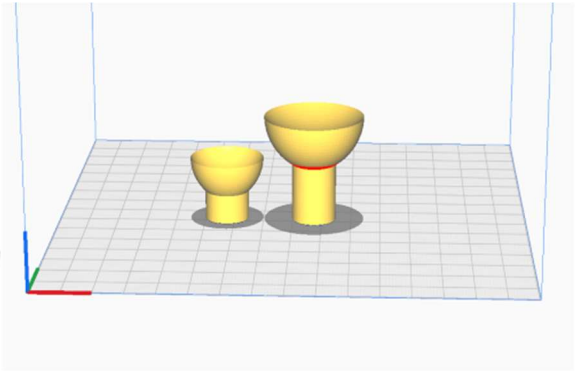


Slika 26: Ležaj

- V**penjalna glava z nastavkom za vpetje jajca**. Vpenjalna glava je bila naročena preko spleta. Diameter vpenjalne glave je 48 mm. Nastavki so bili narejeni na 3D-printerju iz trše gume.



Slika 27: Vpenjalna glava



Slika 28: Nastavki za vpenjanje

Ta del naprave opravlja ključno funkcijo vrtenja jajca ter zagotavlja njegovo stabilno pritrditev. Gre za najpomembnejši sestavni del naprave, saj omogoča njeno osnovno delovanje.

5.3.2 Konjiček

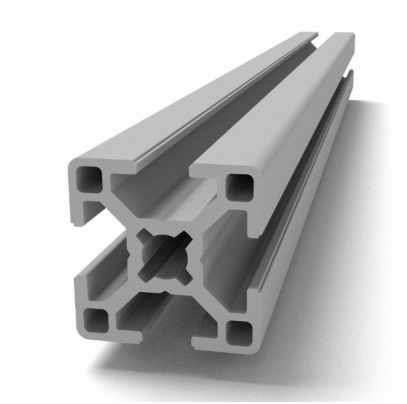
Konjiček je sestavljen iz ohišja, ki je vizualno podobno ohišju pogonskega dela. Poleg tega ga sestavlja navojna palica, na katero je pritrjen nastavek z ležajem, ki omogoča nemoteno rotacijo konjička. Ta del naprave zagotavlja stabilno vpetje jajca ter omogoča njegovo enakomerno vrtenje, kar je ključno za pravilno delovanje celotnega sistema.



Slika 29: Konjiček

5.3.3 Podstavek

Tretji del naprave je sestavljen iz aluminijastih profilnih palic, ki tvorijo strukturo podstavka. Poleg tega vključuje različne vijake in matice posebnih oblik, ki omogočajo prosto premikanje prvega in drugega dela po podstavku. Ta konstrukcija omogoča fleksibilnost pri nastavitvah in prilagajanju položaja komponent, kar pripomore k natančnemu delovanju naprave.



Slika 30: X profil, uporabljen za podstavek

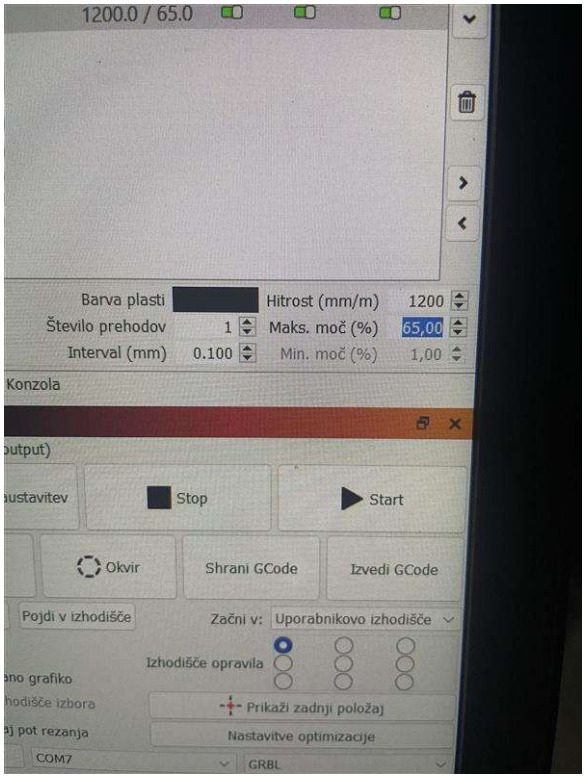
6. GRAVIRANJE

Lasersko graviranje poteka tako, da se na izbrano površino materiala usmeri močan in natančen laser. Ta segreje material in povzroči njegovo taljenje ali izhlapevanje na izbranih mestih, kar ustvarja gravuro.

Za najino nalogo sva uporabila laser Sculpfun s30pro 5W. Za upravljanje z laserjem sva uporabila program Lightburn.

6.0.1 Parametri

Ugotovila sva, da je najbolj ustrezna moč, ki jo morava uporabiti za graviranje jajčne lupine, od 62 % do 68 %. Hitrost laserja mora biti od 1200 mm/s do 1500 mm/s. Ugotovila sva, da je tako najboljše za dobro vidljivost gravure. Če uporabimo večjo moč laserja, se lupina obarva črno, kar pomeni, da smo jo preveč zažgali, če uporabimo manjšo moč, pa ugotovimo, da gravura ni dovolj opazna. Prav tako sva ugotovila, da se pri manjši hitrosti laser preveč zadržuje na istem mestu, kar povzroči, da je lupina jajca spet preveč zažgana, oziroma da se spet obarva črno. Pri vseh treh postopkih so bili uporabljeni isti parametri. Ugotovila sva tudi, da se hitrost vrtenja, pri postopkih z rotacijo, sama prilagodi glede na hitrost graviranja.



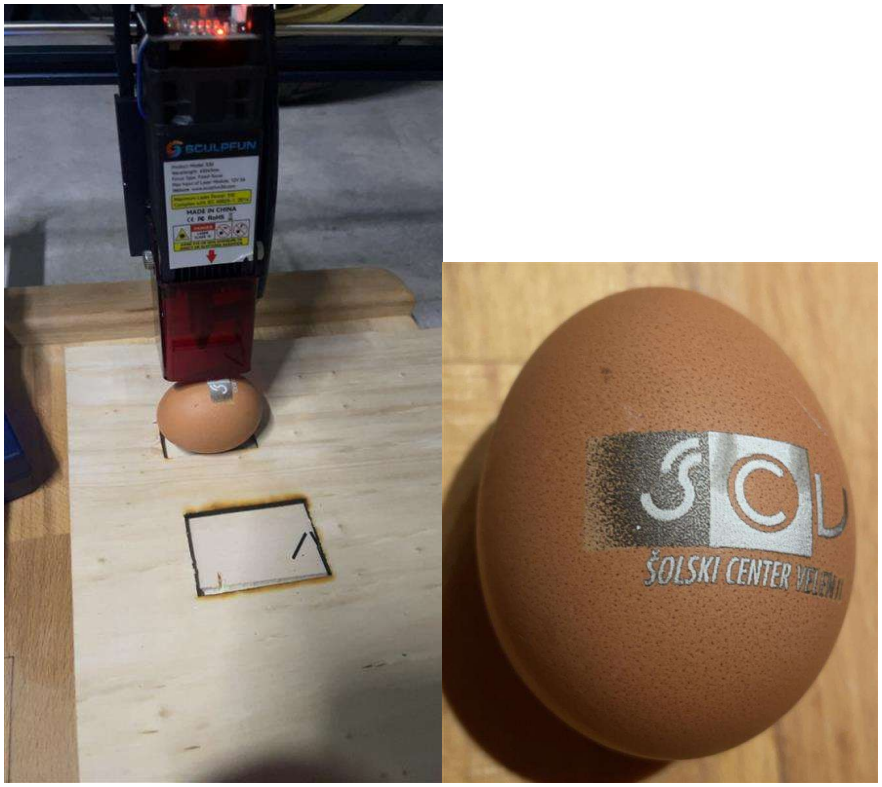
Slika 31: Parametri

6.1 GRAVIRANJE BREZ ROTACIJE

Pri graviranju brez rotacije sva na jajce poskušala gravirati znak Šolskega centra Velenje. Poskusila sva gravirati na nepobarvano in pobarvano jajce.

6.1.1 Postopek

Glavna prednost tega postopka je, da zanj ne potrebujemo nobenega dodatka za laser. Jajce samo postavimo pod laser ter v programu izberemo pravilno velikost grafike, ki jo želimo gravirati. Nato nastavimo pravilne parametre in začnemo gravirati.



Slika 32: Graviranje jajca brez rotacije in izdelek

6.2 GRAVIRANJE Z VALJČKI

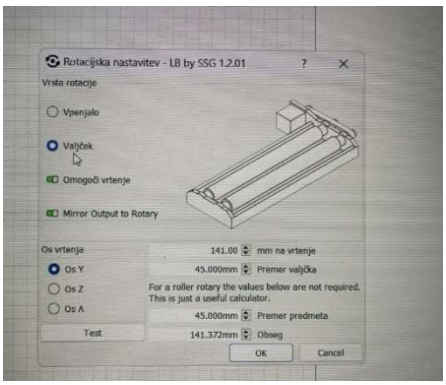
Pri graviranju z valjčki sva na jajce poskušala gravirati znak Šolskega centra Velenje, znak Šole za strojništvo, geotehniko in okolje ter sliko naključnega vzorca, najdenega na spletu. Gravirala sva na nepobarvano in pobarvano jajce.

6.2.1 Postopek

Priporočljivo je, da najprej izmerimo največji premer jajca ali vzamemo povprečje premera jajc (približno 45 mm). Oddaljenost enega valjčka od drugega naj bo največji premer jajca. Nato jajce položimo na valjčke. Ne smemo pozabiti, da je napravo potrebno s kablom povezati z laserjem. En konec kabla gre v motorček naprave z valjčki, drug konec pa se poveže s kablom, v katerega je bila prej povezana Y os. V programu poiščemo nastavitve za rotacijo z valjčki. Vnesemo premer jajca, da program lahko izračuna njegov obseg. Vklopimo tudi opcijo »*mirror output to rotary*«. Nastavimo višino slike, ki naj bo enaka obsegu jajca, saj bo ta del slike ovit okoli jajca. Določimo širino slike, ki naj bo takšna, kot želimo, da bo velika slika na jajcu. Nato začnemo z graviranjem.



Slika 34: Graviranje jajca z valjčki in izdelek



Slika 33: Nastavljanje parametrov

6.3 GRAVIRANJE Z NAJINO NAPRAVO

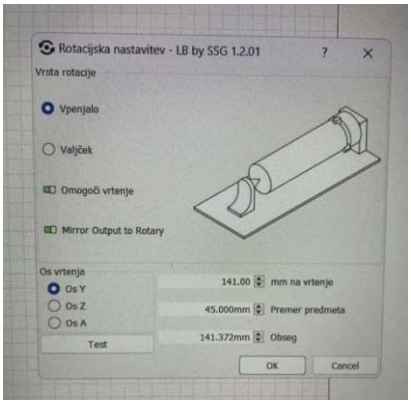
Pri graviranju z najino napravo sva na jajce poskušala gravirati znak Šolskega centra Velenje in sliko naključnega vzorca, najdenega na spletu. Gravirala sva na nepobarvano in pobarvano jajce.

6.3.1 Postopek

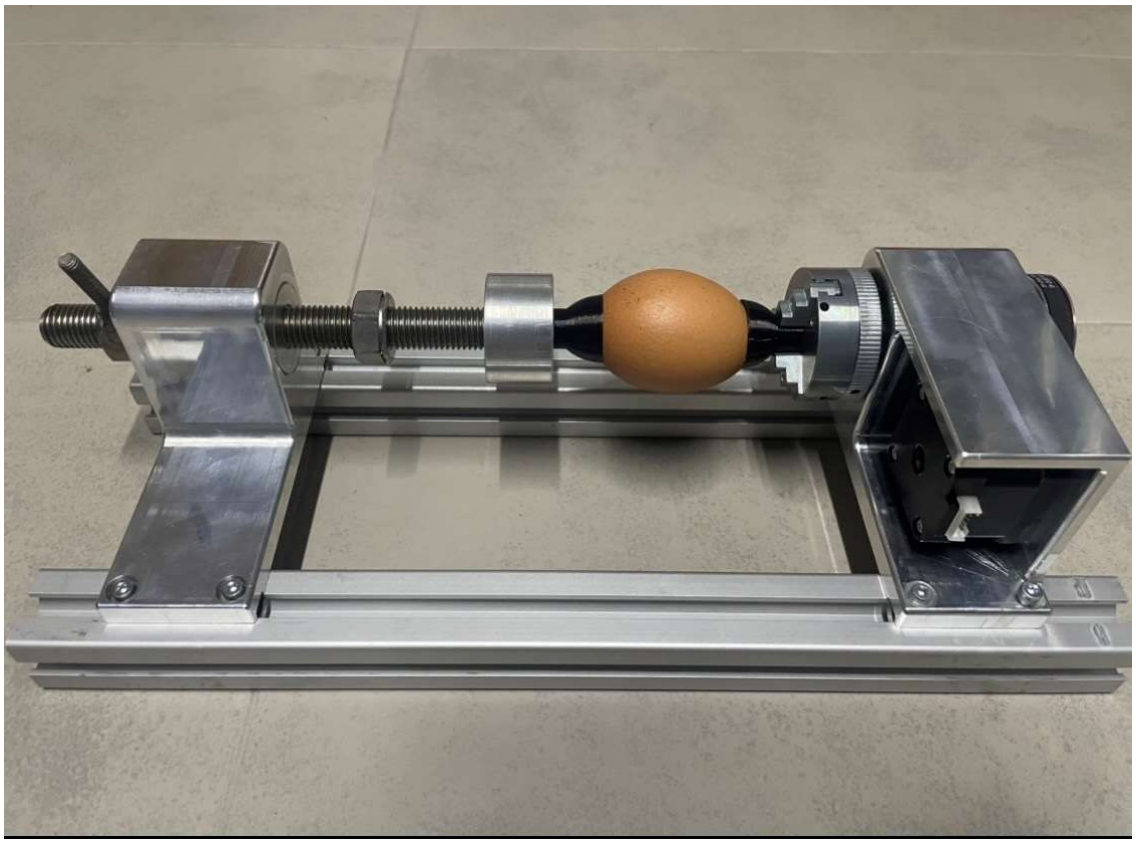
Priporočljivo je, da najprej izmerimo največji premer jajca ali vzamemo povprečje premera jajc (približno 45 mm). Nato jajce vstavimo med konjička in vpenjalno glavo. Ne smemo pozabiti, da je potrebno napravo povezati z laserjem s kablom. En konec kabla priključimo v motor, drugi konec pa v kabel, kamor smo prej priključili os Y. V programu poiščemo nastavitve za rotacijo z vpenjalom. Tako kot pri prejšnjem postopku zapišemo obseg jajca in nato enako nastavitev višine in dolžine. Vklopimo tudi opcijo »*mirror output to rotary*«. Nato se začne postopek graviranja.



Slika 36: Graviranje jajca z vpetjem v najino napravo in izdelek



Slika 35: Nastavljanje parametrov za našo napravo



Slika 37: Najin končni izdelek

7. REZULTATI

Pri vsakem postopku, ki sva ga preizkušala, sva našla nekaj prednosti in nekaj slabosti:

	PREDNOSTI	SLABOSTI
BREZ ROTACIJE 	- brez potrebnih pripomočkov - brez dodatnih nastavitev v programu - najcenejši postopek	- Ker rotacija ni možna, laser kakovostno gravira samo na sredini jajca oz. na enem mestu. - Gravura ob strani je zamegljena.
ROTACIJA Z VALJČKI 	- lahko graviramo po celem jajcu - preprosto vstavljanje jajca v napravo, saj ga samo postavimo med valjčka	- Opazimo, da se pri gravuri vzorca vidi črte in ni zelo natančno. - Potrebno je imeti to napravo. - Kljub napravi se na robovih jajc grafika zamegli, ker je jajce okroglo z vseh strani.
ROTACIJA Z VPENJALOM 	- natančnejša kot rotacija z valjčki - graviramo lahko po celem jajcu	- Vpetje je zahtevno, jajca ne smemo vpeti premočno, ker lahko poči. - Kljub napravi se na koncih jajc grafika zamegli, ker je jajce okroglo z vseh strani.

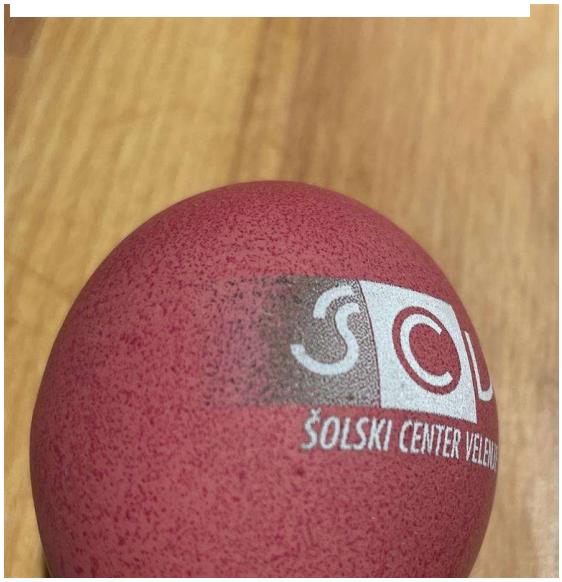
Pri vseh treh postopkih sva ugotovila, da barvana jajca bolje izgledajo, saj pride gravura bolj do izraza. Prav tako sva pri vseh treh postopkih zaznala neprijeten vonj jajca po graviranju, čemur se je možno izogniti tako, da damo jajce po graviranju za 30 min v mlačno vodo.

7.1 SLIKE REZULTATOV

Brez rotacije:



Slika 38: Graviranje brez rotacije (opazimo megleno gravuro)

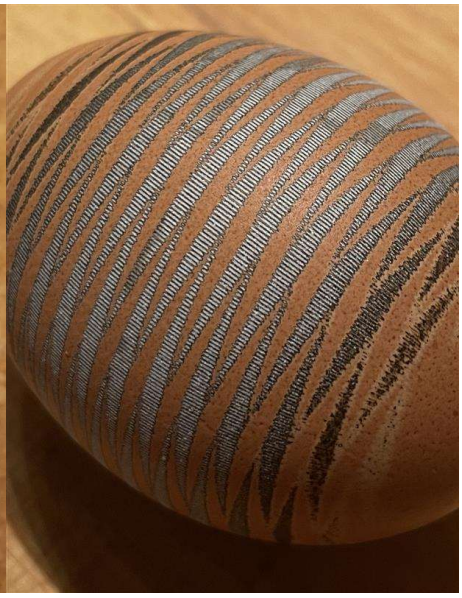


Slika 39: Graviranje barvanega jajca brez rotacije

Rotacija z valjčki:



Slika 40: Graviranje znaka ŠSGO



Slika 41: Graviranje vzorca (opazimo nenatančnost v gravuri zaradi malih črt)



Slika 42: Graviranje znaka ŠCV



Slika 43: Graviranje znaka ŠCV na barvano jajce

Rotacija z vpenjalom / najina naprava:



Slika 44: Graviranje znaka ŠCV



Slika 45: Graviranje znaka ŠCV na barvano jajce



Slika 46: Graviranje vzorca (opazimo večjo natančnost)

7.2 RAZPRAVA

Zagotovo se sedaj sprašujete, katera naprava je primernejša za graviranje na vaše pirhe. Če ne potrebujete velike natančnosti in želite napravo s preprostim vpetjem, potem je priprava z valjčki prava izbira za vas.

Če pa želite napravo, kjer so slike na pirhih bolj natančne in čistejše, potem izberite najino napravo, oziroma napravo z vpenjalom.

8 ZAKLJUČEK

V zaključku naloge lahko povzameva, da sva z doseženimi rezultati zadovoljna, saj sva svoje hipoteze potrdila. Hkrati pa sva ugotovila, da obstaja še veliko prostora za izboljšave, tako v smislu optimizacije procesa kot tudi izboljšanja končnega videza gravur. Izvedba naloge je zahtevala veliko truda, saj sva morala izdelati več prototipov, testirati različne parametre in prilagajati naprave, da sva dosegla želeno kakovost. Kljub temu, da sva dosegla pozitivne rezultate, so pridobljena spoznanja in izkušnje hkrati osnova za nadaljnji razvoj in izboljšave, kar pomeni, da naloga še ni zaključena in bi bila potrebna nadaljnja raziskava.

8.1 POTRDITEV HIPOTEZ

- Lahko izdelava rotacijsko napravo z vpetjem v tri čeljustno vpenjalno glavo s podporo konjička, ki bo kompatibilna z laserjem.

Hipotezo sva potrdila. Uspelo nama je izdelati napravo, ki je kompatibilna z laserjem.

- Pirhe je mogoče gravirati tudi brez rotacije.

Pirhe je mogoče gravirati tudi brez rotacije, vendar bo gravura samo na tisti strani jajca, ki je dostopna laserskemu žarku. A odgovor na to hipotezo je vseeno pritrdilen.

- Z napravo, ki sva jo izdelala, je mogoče gravirati celoten obod jajca.

Z najino napravo je možno gravirati po celotnem obsegu jajca, zato je tudi ta hipoteza potrjena.

- Izdelana naprava omogoča boljšo kvaliteto graviranja od že obstoječih naprav.

Izdelana naprava je pokazala boljše rezultate graviranja kot naprava z valjčki, s čimer sva potrdila tudi to hipotezo.

- Faktor obarvanega jajca vpliva na izgled gravure.

Ugotovila sva, da je kvaliteta gravure boljša pri pobarvanemu jajcu. To pomeni, da sva vse najine hipoteze potrdila.

8.2 MOŽNE IZBOLJŠAVE

Da bi graviranje jajc izboljšali, bi morali narediti napravo, ki bi nam ob vpetju jajca sama izmerila njegov obseg in sama v program vpisala prave mere slik, ki se gravirajo na jajce. Prav tako bi potrebovali laser, ki se premika tudi v Z osi in ima senzor za zaznavanje oddaljenosti od predmeta. Na tak način bi, kljub temu, da je jajce okroglo, dobili pri graviranju povsod enake barve in enako natančno gravuro.

9 VIRI IN LITERATURA (24.2.2025)

https://www.thingiverse.com/thing:4975618

https://chatgpt.com/

https://gemini.google.com/app/1589339d4fd5183c

https://mladiraziskovalci.scv.si/ogled?id=2088

https://mladiraziskovalci.scv.si/ogled?id=1750

https://youtu.be/qDBdlHAYpCM?si=VJ2NeAbDfWlHcegR

https://youtu.be/s4ARSzghWzk?si=F_Mbo8i7XBqoID6w

9.1 VIRI SLIK (24.2.2025)

https://bescutter.com/products/three-wheel-rotary-chuck-for-laser-engraving-round-objects?srsltid=AfmBOool_JcW_Pom62eYun7BYXzeU199ruZOXZtT6XAzp2FlCMyvGY5y (1)

https://cdn.thingiverse.com/assets/7c/a9/b1/0a/c4/large_display_IMG_1179.jpg (2)

https://www.arroyoinstruments.com/wp-content/uploads/2022/07/KXamTOsSIk47VyqY3Ox2pXSMM8vVHHIS1655152032.jpg (3)

https://www.automationtechnologiesinc.com/wp-content/uploads/2014/09/690-8.jpg (4)

https://www.hindcam.com/what-is-a-co2-laser-marking-machine/ (5)

https://www.szlaser.com/wp-content/uploads/2022/09/Nd-YAG-Laser-1024x485.png (6)

https://www.iqsdirectory.com/articles/laser-cutting-service/laser-cutting.html (7)

https://www.drm.si/fiber-laser-za-oznacevanje-na-kovino-laser-marking-50w (8)

https://mellowpine.com/direct-diode-lasers/ (10)

https://www.researchgate.net/figure/a-Theodore-Maimans-first-laser-removed-from-aluminum-cylinder-used-during_fig2_46158628 (13)

https://eu.sculpfun.com/en-eu/products/sculpfun-rotary-roller?variant=48568467751105 (14)

https://www.amazon.com/SCULPFUN-RA-Pro-Multi-function-Cylindrical/dp/B0D2DGZRX1 (15)

https://www.amazon.com/Twotrees-Enclosure-Fireproof-Protective-800x800x400mm/dp/B0BJ8BN89V (16)

https://www.amazon.com/MCWlaser-Honeycomb-90x60cm-Engraver-Engraveing/dp/B087JDJ1NG?th=1 (17)

https://www.impactplus.com/blog/best-internet-easter-eggs-and-marketing-benefits (18)

https://www.amazon.com/dp/B00PNEQKC0/ (23)

https://www.amazon.com/dp/B08KT6R23X/ (25)

https://www.amazon.com/dp/B08F7FYZCD/ (26)

https://id.aliexpress.com/item/1005002998448566.html?gatewayAdapt=glo2idn (27)

https://www.item24.com/fr-tn/profile-x-8-40x40-leger-naturel-49290 (30)

ZAHVALA

Zahvaljujeva se najinima mentorjema Jožetu Hrovatu in Stanislavu Glinšku za vso pomoč in vodenje skozi nalogo. Prav tako se zahvaljujeva staršem za podporo in predloge za nalogo. Zahvaljujeva se tudi ga. Mariji Glinšek, ki je nalogo slovnično pregledala.

PRILOGE

Del kode, potreben za CNC obdelave ohišja:

```
T1M6
G0G90G94G54S3000F200M3
T2
G0X46.25Y36.
M7
M8
G43Z10.H1
G81R2.Z-12.G98
G80Z10.
G0X92.875Y45.
G83R2.Z-52.Q5.G98
G80Z10.M9

T2M6
G0G90G94G54S10000F400M3
T3
G0X26.25Y20.5
M7
M8
G43Z10.H2
G81R2.Z-10.G98
X35.25
X57.25
X66.25
Y51.5
X57.25
X35.25
X26.25
G80Z10.M9

T3M6
G0G90G94G54S4500F1100M3
T7
G0X145.Y-15.
M8
G43Z10.H3D3
Z2.
G1Z-12.5
G1G41Y0
G1X0
Y8.
G2X2.Y10.R2.
G1X11.
Y71.
G2X13.Y73.R2.
G1X103.912
G2X113.912Y63.R10.
G1Y10.
X127.
G2X129.Y8.R2.
G1Y-5.
G1G40X145.
G0Z5.

G0X145.Y-15.
Z2.
G1Z-25.
G1G41Y0
G1X0
Y8.
G2X2.Y10.R2.
G1X11.
Y71.
G2X13.Y73.R2.
G1X103.912
G2X113.912Y63.R10.
```

```
G1Y10.
X127.
G2X129.Y8.R2.
G1Y-5.
G1G40X145.
G0Z5.

G0X145.Y-15.
Z2.
G1Z-37.5
G1G41Y0
G1X0
Y8.
G2X2.Y10.R2.
G1X11.
Y71.
G2X13.Y73.R2.
G1X103.912
G2X113.912Y63.R10.
G1Y10.
X127.
G2X129.Y8.R2.
G1Y-5.
G1G40X145.
G0Z5.

G0X145.Y-15.
Z2.
G1Z-49.
G1G41Y0
G1X0
Y8.
G2X2.Y10.R2.
G1X11.
Y71.
G2X13.Y73.R2.
G1X103.912
G2X113.912Y63.R10.
G1Y10.
X127.
G2X129.Y8.R2.
G1Y-5.
G1G40X145.
G0Z5.

T7M6
G0G90G94G54S6000F600M3
T4
G0X92.875Y31.963
M7
M8
G43Z10.H7
G83R2.Q5.Z-32.G98
Y58.037
G80Z10.
G0X7.9Y13.1
G81R2.Z-5.G98
X117.
G80Z50.M9

T4M6
G0G90G94G54S8000F900M3
T6
G0X46.25Y36.
M8
G43Z10.H4D4
Z2.
G1Z-10.
G1G41G91Y12.
G1X-4.5
G3X0Y-24.R12.
G1X9.
G3X0Y24.R12.
```

```
G1X-4.5
G1G40Y-12.
G0G90Z10.

G0X92.875Y45.
Z2.
G1Z-8.8
G1G41G91X16.01
G3X0Y0I-16.01J0
G1G40X-16.
G1G90Z-29.
G1G41G91X13.
G3X0Y0I-13.J0
G1G40X-13.
G0G90Z10.M9

T6M6
G0G90G94G54S3000F1000M3
T5
G0X-40.Y20.
M8
G43Z10.H6
Z2.
G1Z0
G1X170.
Y53.
X-40.
G0Z50.M9

T5M6
G0G90G94G54S12000F300M3
T9
G0X26.25Y20.5
M8
G43Z10.H5D5
Z2.
G1Z-1.5
G1X35.25
Z-3.
X26.25
Z-4.5
X35.25
Z-6.5
X26.25
G1Z-3.
G1G41G91Y-1.75
G1X9.
G3X0Y3.5R1.75
G1X-9.
G3X0Y-3.5R1.75
G1G40Y1.75
```