

Šolski center Celje
Srednja Šola za strojništvo, mehatroniko in medije

CNC CO₂ laserski gravirno rezalni stroj

Raziskovalna naloga

Področje: aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Avtorja:
Mihael Murko, S-4. a
Rok Travnika, S-4. a

Mentor:
Žan Podbregar, mag. inž. energ.

Celje, april 2023

Mentor Žan Podbregar v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom CNC CO₂ laserski gravirno rezalni stroj, katere avtorja sta Mihael Murko in Rok Travnikar:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je 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,
- da je 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 razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 7.4.2023

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

*

POJASNILO

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

CNC CO₂ LASERSKI GRAVIRNO REZALNI STROJ

Ključne besede: CO₂ laser, graviranje, rezanje, modeliranje

POVZETEK

CNC CO₂ laserski gravirno-rezalni stroj je naprava za graviranje in razrez nekaterih nekovin. V prvem delu sva raziskala trg in primerjala najin izdelek z izdelki na trgu. V drugem delu sva predstavila CO₂ laserski gravirno-rezalni stroj in njegovo delovanje. V tretjem delu sva predstavila razvoj, v naslednjem pa modeliranje stroja. V petem delu sva opisala izdelavo, v zadnjem, šestem, pa je zapisana cenovna in časovna analiza. Cilj projekta je bil, da izdelava napravo, ki je primerljiva z ostalimi na trgu, a cenovno ugodnejša. Prilagodila sva jo potrebam stranke, ne da bi pri tem poslabšala delovanje samega stroja.

CNC CO₂ LASER ENGRAVING AND CUTTING MACHINE

Keywords: CO₂ laser, engraving, cutting, modeling

ABSTRACT

The CNC CO₂ laser engraving and cutting machine is a device for engraving and cutting certain non-metallic materials. In the first part, we present our market research and compare our product with others on the market. In the second part, we introduce the CO₂ laser engraving and cutting machine and its operation. In the third part, we present the development, and in the next part, the modeling of the machine. In the fifth part, we describe the manufacturing process, and in the final, sixth part, a cost and time analysis is provided.

The objective of the research paper was to create a device that would be comparable to the others on the market but more cost-effective. We adapted it to the needs of the customer without compromising the performance of the machine.

KAZALO

1	UVOD.....	- 1 -
1.1	Hipoteze	- 2 -
1.2	Struktura raziskovalnega dela	- 2 -
1.3	Predstavitev problema	- 3 -
1.4	Namen naloge.....	- 3 -
2	RAZISKAVA TRGA	- 4 -
2.1	Metode raziskovanja	- 4 -
2.2	Raziskovanje trga	- 4 -
2.2.1	Opis podjetja CNC stroji, d. o. o.	- 5 -
2.2.2	Opis podjetja Trotec Laser	- 6 -
2.3	Primerjava strojev	- 7 -
2.4	Ugotovitve	- 8 -
3	CO ₂ LASERSKI GRAVIRNO-REZALNI STROJ	- 9 -
3.1	LASER	- 9 -
3.2	CO ₂ laser	- 10 -
3.3	CNC CO ₂ laserski gravirno-rezalni stroj.....	- 11 -
3.4	Delovanje	- 12 -
4	RAZVOJ.....	- 13 -
4.1	Koncipiranje	- 13 -
4.2	Zahtevnik.....	- 18 -
4.3	Snovanje	- 19 -
4.4	Razdelava	- 19 -
5	MODELIRANJE	- 20 -
5.1	Ohišje	- 21 -
5.2	Miza.....	- 22 -

5.3	Zunanje ohišje	- 23 -
5.4	Most.....	- 24 -
6	IZDELAVA	- 25 -
6.1	Rezkanje	- 26 -
6.2	Struženje.....	- 27 -
6.3	Varjenje	- 28 -
6.4	Sestavljanje.....	- 29 -
6.5	Električna napeljava	- 30 -
7	CENOVNA IN ČASOVNA ANALIZA	- 32 -
8	REZULTATI RAZISKAVE.....	- 34 -
9	ZAKLJUČEK	- 35 -
10	ZAHVALA	- 36 -
11	VIRI IN LITERATURA	- 37 -

KAZALO SLIK

Slika 1: HyperCUT laser6090/80.....	- 5 -
Slika 2: Rayjet r500 in r400 [8]	- 6 -
Slika 3: Laserska cev	- 10 -
Slika 4: Upravljalna plošča	- 12 -
Slika 5: Ohišje z mostom po krajši stranici	- 14 -
Slika 6: Ohišje z mostom po daljši stranici.....	- 14 -
Slika 7: Postavitev laserske cevi	- 15 -
Slika 8: Idejna skica zunanjega ohišja	- 16 -
Slika 9: Skica mize.....	- 17 -
Slika 10: 3D-model stroja brez zunanjega ohišja	- 20 -
Slika 11: 3D-model laserskega stroja	- 20 -
Slika 12: 3D-model ohišja	- 21 -
Slika 13: 3D-model mize	- 22 -
Slika 14: 3D-model zunanjega ohišja	- 23 -
Slika 15: 3D-model mosta	- 24 -
Slika 16: Sestavljanje.....	- 25 -
Slika 17: Rezkanje	- 26 -
Slika 18: Struženje	- 27 -
Slika 19: Varjenje	- 28 -
Slika 20: zunanje ohišje s pločevino	- 29 -
Slika 21: Končan stroj.....	- 30 -
Slika 22: električna napeljava	- 31 -

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava strojev	- 7 -
Tabela 2: Zahtevnik naprave.....	- 18 -
Tabela 3: Stroški	- 32 -
Tabela 4: Čas dela.....	- 33 -

SEZNAM PRILOG

Priloga 1: Sestavnica CO₂ laserja

Priloga 2: Sestavnica ohišja z vodili

UPORABLJENE KRATICE

mW – milivat

MW – megavat

GW – gigavat

W – vat

kg – kilogram

ps – pikosekunda

μm – mikrometer

mm – milimeter

V – volt

CNC – computer numerical control (računalniško numerično krmiljenje)

d. o. o. – družba z omejeno odgovornostjo

cca. – približek

LASER – light amplification by stimulated emission of radiation (ojačitev svetlobnega žarka s stimulirano emisijo sevanja)

USB – universal serial bus (univerzalno serijsko vodilo)

HMI – human-machine interface (vmesnik med človekom in strojem)

LAN – local area network (lokalno omrežje)

1 UVOD

Laserski gravirno-rezalni stroj je naprava, s katero lahko s pomočjo programskih paketov režemo in graviramo predvsem nekovinske materiale. Obstaja več vrst laserjev, kot so diodni, CO₂ in Nd:YAG laserji. Največja razlika med njimi je predvsem v moči laserskega žarka, zato se uporabljajo za različne namene. Pri raziskavi trga sva opazila, da v Sloveniji obstaja manjše število proizvajalcev in uvoznikov CO₂ laserjev. V raziskovalni nalogi sva si zadala cilj, da skonstruirava in izdelava svoj CO₂ laser, katerega moč bo 80 W, delovna površina stroja pa bo dovolj velika za ¼ standardne velikosti vezane plošče. Obenem bo stroj tudi inovativen in cenovno ugodnejši. To bova dosegla z natančnim in premišljenim modeliranjem ter precizno obdelavo.

1.1 Hipoteze

Pri izvedbi najine raziskovalne naloge sva si postavila naslednje hipoteze:

1. Stroj je cenejši od podobnih strojev na trgu.
2. Enostavna izdelava.
3. Stroj ima integrirano četrto os.
4. Enostavna uporaba.
5. Delovna površina meri 1300 x 800 mm.

1.2 Struktura raziskovalnega dela

V prvem sklopu sva raziskala trg in poskusili poiskati podobne izdelke pri različnih proizvajalcih. V drugem sklopu raziskovalne naloge sva predstavila najin laser in njegovo splošno delovanje. V tretjem sklopu sva zapisala razvoj, sledil je opis modeliranja, nato pa opis posameznih postopkov izdelave. Naredila sva tudi cenovno in časovno analizo. Nato so sledili še rezultati raziskave, v katerih sva potrdila oz. ovrgla hipoteze.

1.3 Predstavitev problema

V raziskovalni nalogi sva se osredotočila na izdelavo CO₂ laserskega gravirno-rezalnega stroja. Ker na slovenskem trgu že obstajajo ponudniki, sva si zadala cilj, da izdelava vsaj tako optimiziran stroj, kot se prodaja na trgu, a da bo cenovno ugodnejši. Najin izdelek bo imel vgrajeno 4. os, ki bo omogočala graviranje na okroglih predmetih, kar ostali stroji ne ponujajo oz. je zanje potrebno doplačilo. Imel bo tudi zelo velik hod mize po osi z, ki bo omogočal graviranje in rezanje velikih, lažjih predmetov.

1.4 Namen naloge

Osnovni namen naloge je, da preučiva izdelke konkurence in jih poskusiva nadgraditi ter odpraviti njihove slabosti. Pomembno je tudi zmanjšanje cene, ne da bi s tem poslabšala delovanje naprave. Želiva pa tudi, da je v stroj vgrajena 4. os.

2 RAZISKAVA TRGA

2.1 Metode raziskovanja

Pri modeliranju in izdelovanju CO₂ laserja sva sledila predvsem predlogom, zahtevam in željam končnega kupca, saj sva izdelek delala za enega izmed avtorjev te raziskovalne naloge. Raziskala sva trg in na spletu izbrala dve podjetji, katerih produkti se najbolj ujemajo z najinimi željami. Ti dve podjetji sta slovenski CNC stroji, d. o. o., in avstrijski Trotec Laser.

2.2 Raziskovanje trga

Pri izbiri sva bila osredotočena predvsem na slovenski trg, a sva se ozrla tudi po evropskem. Velik poudarek sva dala na podjetje, ki prodaja laser s podobno obdelovalno površino in močjo. Najprej sva se osredotočila na slovenko podjetje CNC stroji, d. o. o., nato pa še na Trotec Laser. S pomočjo njunih spletnih strani sva pridobila pomembne podatke, kot so natančnost, dimenzije, moč in cena.

2.2.1 Opis podjetja CNC stroji, d. o. o.

»CNC stroji, d. o. o., je podjetje, ki se je specializiralo za izdelovanje CNC-strojev, s poudarkom na lastnih izdelkih in razvoju. S svojo blagovno znamko HyperCUT so na trgu že 14 let. Podjetje deluje na treh lokacijah, sedež podjetja pa se nahaja v Gorišnici.«
[3]



Slika 1: HyperCUT laser6090/80

(Vir: hypercut.si)

2.2.2 Opis podjetja Trotec Laser

»Trotec Laser je mednarodni proizvajalec napredne laserske tehnologije za lasersko rezanje, lasersko graviranje in lasersko označevanje. Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1997 in se je odcepilo od oddelka za raziskave in razvoj v okviru matičnega podjetja Trodat.

Trotec dobavlja tudi stroje za mehansko graviranje, potrošni material in materiale.

Leta 2008 je Trotec predstavil namizni laserski sistem Rayjet, namenjen predvsem malim in srednje velikim podjetjem.« [4]



Slika 2: Rayjet r500 in r400 [8]

(Vir: rayjetlaser.com)

2.3 Primerjava strojev

Na trgu obstaja mnogo laserskih gravirno-rezalnih strojev različnih moči in delovnih površin. Primerjala bova izdelka podjetij CNC stroji, d. o. o., in Trotec Laser. Izbrala sva napravi, ki sta najpodobnejši najinim željam in ju izbrano podjetje ponuja.

Tabela 1: Primerjava strojev

	HyperCUT laser6090/80	Rayjet R500
Cena	4.900 €	11.240,03 €
Delovna površina	900 x 600 mm	1300 x 900 mm
Moč	80 W	60–100 W
Dimenzije stroja	1500 x 1040 x 1100 mm	1870 x 1700 x 1110 mm
Teža	cca. 450 kg	cca. 570 kg

2.4 Ugotovitve

Po temeljiti raziskavi domačega trga sva našla nekaj proizvajalcev in distributerjev, ki proizvajajo podobne izdelke, a sva se vseeno obrnila še na tuji trg. Primerjala sva podjetji CNC stroji, d. o. o., in Trotec Laser. Ugotovila sva, da je HyperCUT laser6090/80 slovenskega proizvajalca CNC stroji, d. o. o., več kot dvakrat cenejši od Rayjet r500 proizvajalca Trotec Laser. Za HyperCUT laser6090/80 bi morali odšteti 4.900 €, za Rayjet r500 pa 11.240,03 €. Res je, da produkta nista povsem primerljiva, saj ima dražji Rayjet r500 večjo delovno površino, tudi sama izbira moči laserske cevi je na voljo le pri njem.

Ugotovila sva, da je CNC CO₂ laserskih gravirno-rezalnih strojev zadnje čase veliko na voljo, vendar so njihovi problemi visoka cena in manjše delovne površine.

3 CO₂ LASERSKI GRAVIRNO-REZALNI STROJ

3.1 LASER

LASER je angleška kratica, ki stoji za »Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation«, kar v slovenščini pomeni ojačitev svetlobnega žarka s stimulirano emisijo sevanja. Prvi poskus z laserjem je bil leta 1960, vendar se je v strojih za obdelavo pojavil šele okoli leta 1980.

Značilnosti laserskega snopa so:

- monokromatičnost ali enobarvnost
- divergenca ali kot pod katerim se širi laserski snop
- intenziteta ali jakost
- usmerjenost žarka
- moč

3.2 CO₂ laser

»CO₂ laser je plinski laser, pri katerem je ojačevalno sredstvo mešanica plinov s CO₂. Oddaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino med 9 in 11 μm , toda največkrat se uporablja sevanje z valovno dolžino 10,6 μm . Obstaja mnogo tipov CO₂ laserjev, ki imajo zaradi razlik v izvedbah velik razpon izhodnih moči, izkoristki pa praviloma presegajo 10 %. Uporabljajo se za rezanje, varjenje, označevanje, v kirurgiji in za določevanje razdalj. CO₂ laserji med kontinuiranim delovanjem dosegajo povprečne moči od nekaj mW do MW, v sunkovnem načinu pa vršne moči nekaj 10 GW. Prednosti CO₂ laserjev sta predvsem visok izkoristek – od 5 do 20 % in nizka cena glede na moč laserja. Zaradi tega se jih pogosto uporablja v industriji za rezanje plastik, lesa in drugih materialov, ki močno absorbirajo infrardeče valovanje.« [5]



Slika 3: Laserska cev

(Vir: osebni arhiv)

3.3 CNC CO₂ laserski gravirno-rezalni stroj

»CNC laserski rezalnik predstavlja računalniško numerično krmiljeno napravo (CNC), ki se poslužuje usmerjenega in visokoenergijskega laserskega žarka za označevanje, razrez ali graviranje materiala, z namenom oblikovanja prilagojenih geometrijskih oblik. Konstrukcija in delovanje naprave omogočata izjemno natančnost, še posebej pri razrezu zapletenih oblik ter manjših premerov lukenj.« [2]

CO₂ laserski gravirno-rezalni stroj je sestavljen iz zunanega in notranjega ohišja, notranje ohišje pa je sestavljeno iz ogrodja, mize in mosta, po katerem se pomika leča za rezanje in graviranje. Laserju sva dodala še 4. os, ki omogoča graviranje na okroglih predmetih. Ogrodje mora biti togo, da se ne pojavljajo vibracije pri hitrih gibih in visokih pospeških. Stroj poganjajo 4 koračni motorji, ki so krmiljeni z Ruida 6554 krmilnikom.

3.4 Delovanje

Za izdelavo izdelka na CNC CO₂ laserskem gravirno-rezalnem stroju, najprej izdelamo program v programskem paketu RD-Works. Nato program naložimo na krmilnik preko USB ali LAN priključka, nastavimo izhodiščno točko z pomočjo HMI vmesnika in zaženemo program. Krmilnik preko gonilnikov poganja koračne motorje, tako da je leča vedno na mestu, kjer je predvidena obdelava. Hkrati pa krmilnik preko napajalnika proži lasersko cev, ki nato odda snop laserske svetlobe. Moč svetlobe lahko reguliramo spreminjanjem dovodnega električnega toka, ki ga lahko spremljamo tudi na upravljalni plošči. Laserski snop nato potuje iz laserske cevi do prvega ogledala, kjer se preusmeri za 90°, vzporedno z y-osjo. Na premičnem mostu se ponovno preusmeri za 90° vzporedno z x-osjo, nazadnje pa še na vozičku, kjer se preusmeri v lečo, le ta pa laserski snop zbere v še manjšo točko na goriščni razdalji, kjer se zaradi manjše površine gostota energije znatno poveča. Krmilnik ima priključen tudi pnevmatski ventil, ki spušča zrak pred lečo, da se na njej ne nabirajo nečistoče, in pomaga pri rezanju s tem, da hitreje dovaja kisik iz zraka do točke rezanja.



Slika 4: Upravljalna plošča

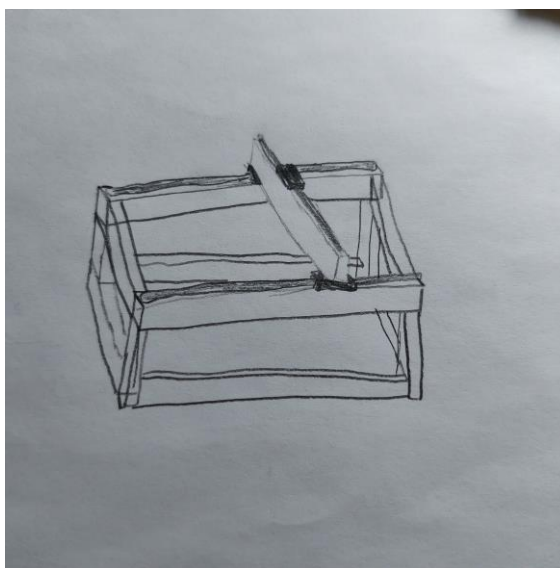
(Vir: osebni arhiv)

4 RAZVOJ

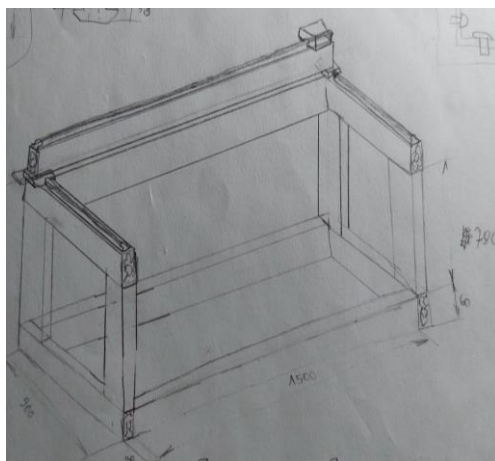
»Razvoj in uvajanje novih izdelkov gre skozi več faz, od iskanja zamisli, izhajajočih iz tržnih potreb in možnosti, preko posameznih stopenj razvijanja, do odločitev o času in strategiji uvajanja novega izdelka na trg. Te faze morajo biti načrtovane, organizirane in nadzorovane.« [6]

4.1 Koncipiranje

Ideja za nastanek izdelka je prišla zaradi potrebe po stroju, ki bi bil zmožen rezati in gravirati les ter druge materiale manjših debelin. Najprej sva narisala nekaj skic, da sva s tem dobila najosnovnejšo obliko stroja. Za hitrejšo in preprostejšo uporabo je kasnejši razvoj potekal s pomočjo 3D-modeliranja preko programa Creo8.0. Najprej sva se odločila, da bova most postavila po krajši stranici (Slika 4), saj se nama je zdelo, da bo tako najstabilnejši. Po nadaljnjem premisleku sva ugotovila, da se to ne bo izšlo, saj bi s tem otežila nalaganje materiala na obdelovalno površino. Končna odločitev je bil most po daljši stranici (Slika 5). Tudi tukaj so se pojavile težave, saj je bila leča, ki laserski žarek osredotoči na eno točko, previsoko. To sva rešila tako, da sva stranske profile prestavila z vrha na stran, vodila, na katerih je most, pa prav tako postavila na stran ohišja. Stranske profile sva še dodatno pritrdila z aluminijastimi ploščami, da ne bi prišlo do premikov.

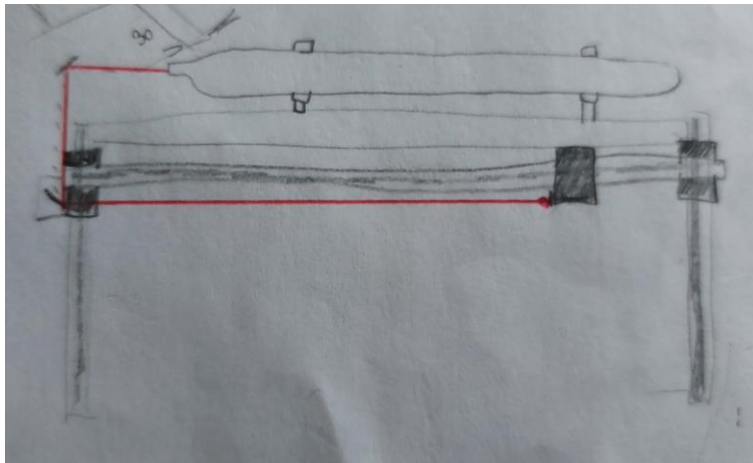


Slika 5: Ohišje z mostom po krajši stranici
(Vir: osebni arhiv)



Slika 6: Ohišje z mostom po daljši stranici
(Vir: osebni arhiv)

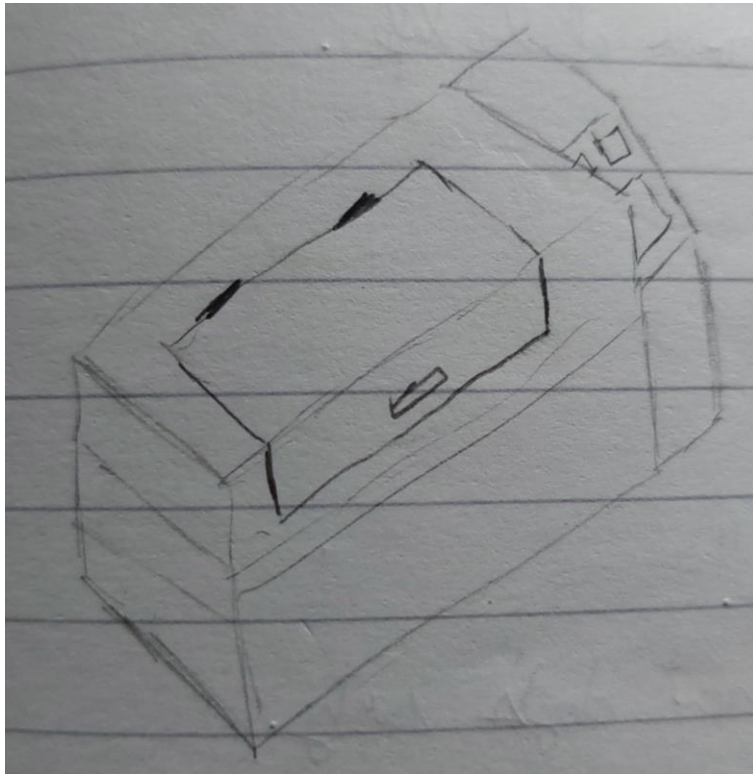
Na spodnji skici so prikazane prve ideje o postavitvi laserske cevi in ogledal. Narisana pa je tudi pot laserskega žarka.



Slika 7: Postavitev laserske cevi

(Vir: osebni arhiv)

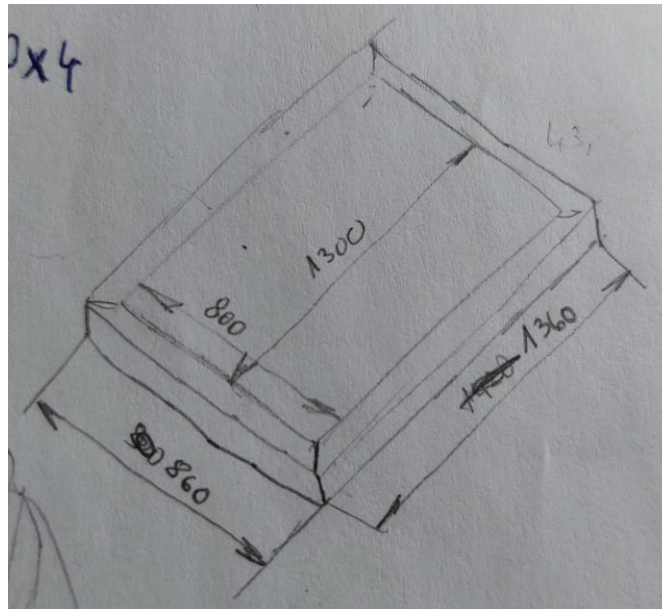
Na spodnji sliki je prikazan eden izmed prvih konceptov zunanjega ohišja. Na sliki še niso razvidna vrata za lažji dostop do laserske cevi, ki sva jih kasneje dodala. Ostali deli so ostali od začetka do konca nespremenjeni. Nadzorna plošča je nagnjena pod kotom zaradi boljše vidljivosti in lažje dostopnosti.



Slika 8: Idejna skica zunanjega ohišja

(Vir: osebni arhiv)

Na spodnji sliki je prva skica za velikost mize. Sama velikost je bila izbrana tako, da lahko nanjo položimo $\frac{1}{4}$ standardne vezane plošče, da je odpad minimalen. Kasneje sva dodala še podpore za ekspandirano pločevino, ki predstavlja podlogo delovne mize.



Slika 9: Skica mize

(Vir: osebni arhiv)

4.2 Zahtevnik

Zahtevnik je spisek tehničnih zahtev, ki jih mora izpolnjevati tehnični sistem oz. izdelek (Tabela 2). »Zahtevnik je del tehnične dokumentacije izdelka, prav tako kot je to delavniška risba. V zahtevniku je opredeljen namen izdelka, postavljene so omejitve, znotraj katerih morajo ležati njegove lastnosti in opredeljeno je okolje, v katerem bo izdelek obratoval. Zahtevnik se uporablja od začetnih faz razvoja pa vse dokler ni razvojni proces povsem končan.« [1]

Tabela 2: Zahtevnik naprave

Št.	Področje	Informacije	Zahteva/Želja
1	Velikost	Delovna miza 1300 x 800 mm	Ž
2	Moč	80 W	Z
3	Vzdrževanje	Hitro in enostavno	Z
4	Uporaba	Dolga življenjska doba	Z
5	Kakovost	Visoka natančnost izdelave delov	Ž
6	Proizvodnja	Enostavna izdelava in sestavljanje	Z

4.3 Snovanje

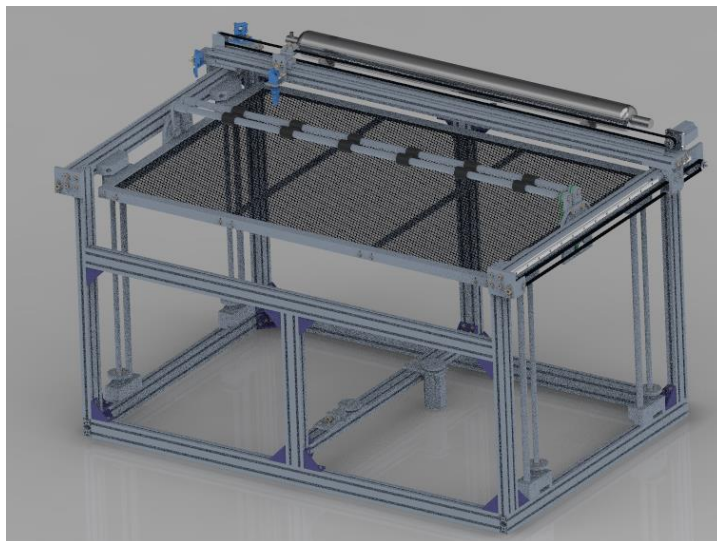
Končni izdelek sva dobila s 3D-modeliranjem, pri čemer sva ves čas optimizirala ideje in odpravljala napake. Zunanje dimenzije stroja so 2019 x 1219 x 1168 mm. V primerjavi s konkurenčnimi stroji je najin po zunanjih merah daljši, a ožji, vendar ima najvišji hod po osi z. Po moči, tj. 80 W, je najin izdelek enak HyperCUT-u. Moč samega stroja je možno povečati z zamenjavo laserske cevi in njenega napajalnika.

4.4 Razdelava

Pri izdelovanju delavniške dokumentacije sva si pomagala s programom Creo 8.0. Vsako komponento sva sprva zmodelirala, nato pa zanjo naredila še delavniško risbo. Nekateri sestavni deli, npr. vijake, vodila, ekstrudirane aluminijaste profile in vozičke sva prenesla s spletne strani proizvajalcev. S tem sva si skrajšala čas, saj so zanje že narejeni modeli in ni potrebe, da bi jih še enkrat risala.

5 MODELIRANJE

Modeliranje je potekalo v programu Creo8.0, in sicer je potekalo približno 300 ur. Za lažji pregled sva izdelala več sestavnic: ohišje, most, zunanje ohišje, mizo.



Slika 10: 3D-model stroja brez zunanjega ohišja

(Vir: osebni arhiv)

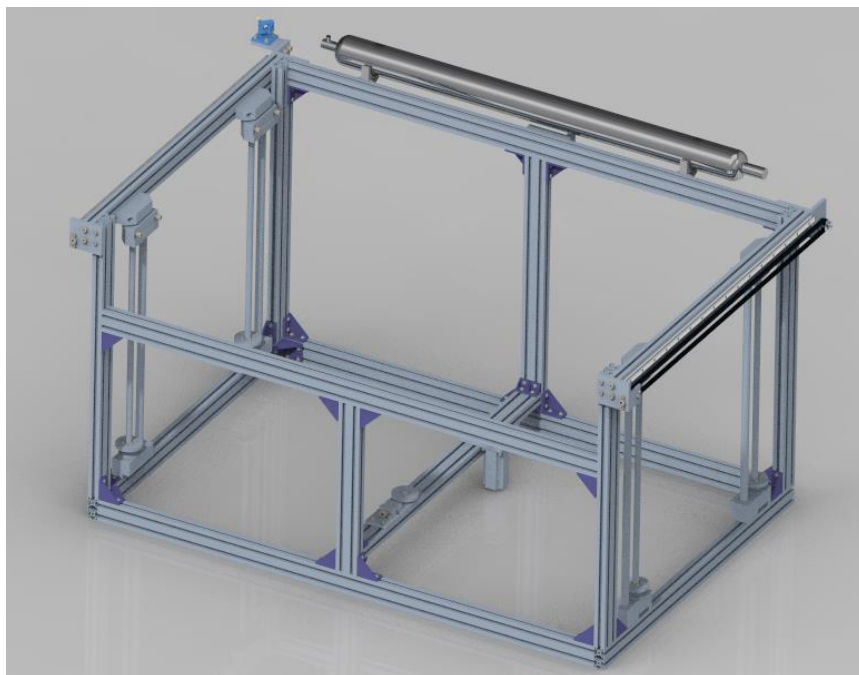


Slika 11: 3D-model laserskega stroja

(Vir: osebni arhiv)

5.1 Ohišje

Pri izdelovanju ohišja sva morala posebej paziti na natančnost sestava ohišja, saj so nanj pritrjena vodila, ki morajo biti med seboj vzporedna, da lahko most prosto potuje in da se zmanjša obraba vodil in vozičkov, ki potujejo po vodilih. Ogrodje je narejeno iz ekstrudiranih aluminijastih profilov 30 x 60 mm, saj so zelo lahki, a dovolj močni, da prenesejo obremenitve, ki nastajajo pri obratovanju. Profili so med seboj privijačeni s pomočjo temu namenjenih kotnikov, kladivastih matic in imbus vijakov.

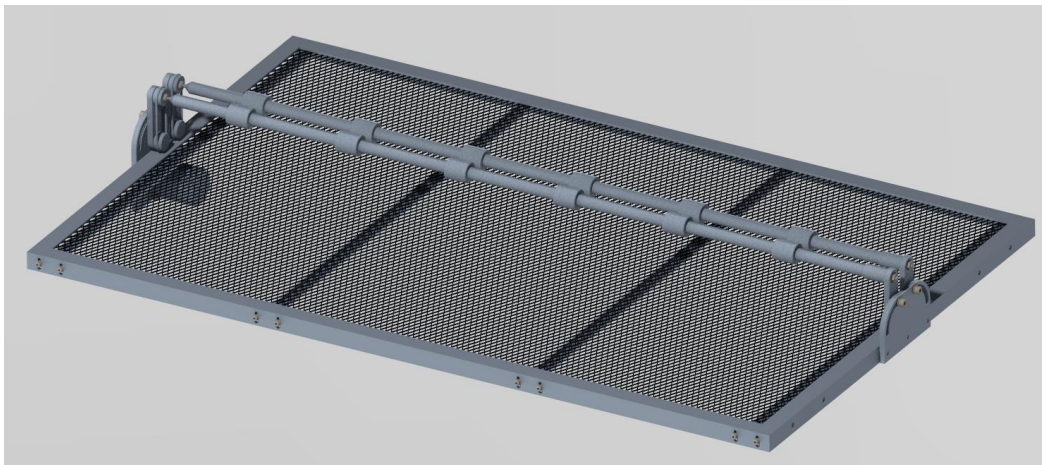


Slika 12: 3D-model ohišja

(Vir: osebni arhiv)

5.2 Miza

Že pred začetkom modeliranja sva si izbrala dimenzije mize. Sestavljena je iz jeklenih kotnih profilov, ki so med seboj privarjeni. V sredini so 4 nosilci, ki držijo ekspanzirano pločevino, ki je tudi delovna podloga. Nosilci so na mizo privijačeni. Na straneh mize so aluminijasti nosilci, ki omogočajo vertikalni pomik mize. Na mizi je še snemljiva 4. os, ki jo poganja NEMA 23-koračni motor.

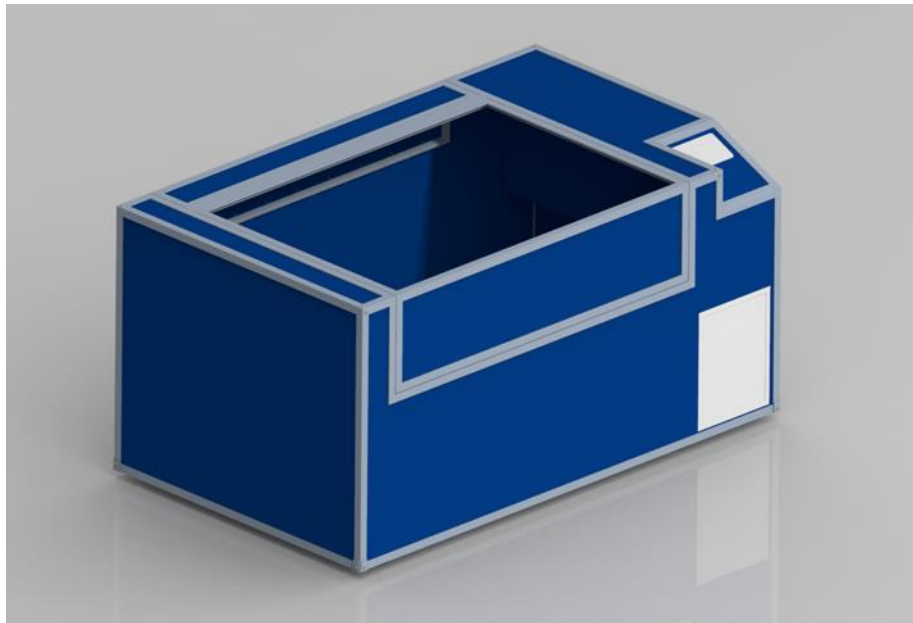


Slika 13: 3D-model mize

(Vir: osebni arhiv)

5.3 Zunanje ohišje

Zunanje ohišje je narejeno iz jeklenih kotnih profilov, ki so zvarjeni v stranice, nato pa med seboj privijačeni. Na jekleno konstrukcijo je prikovičena pločevina. Vsebuje še 2 vrata, ki omogočata dostop do laserske cevi in do delovne mize. Pomembna je bila natančnost varjenja, da se ohišje ni preveč skrivilo, saj bi bila potem končna montaža zelo zahtevna.

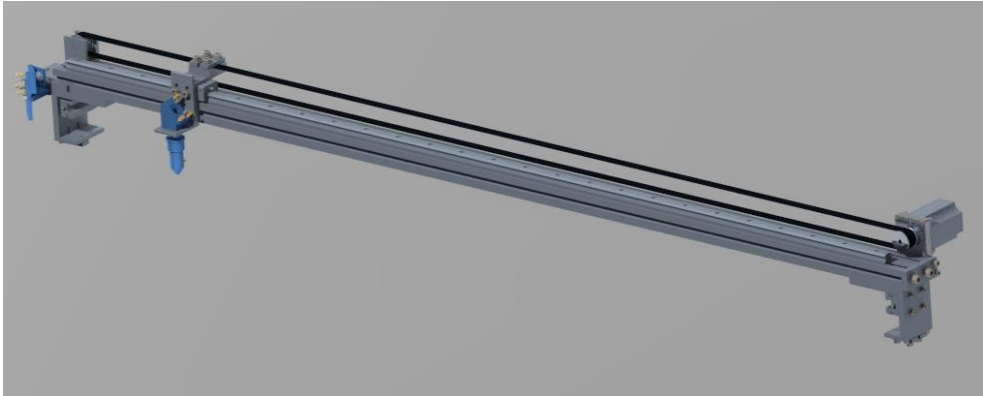


Slika 14: 3D-model zunanjega ohišja

(Vir: osebni arhiv)

5.4 Most

Most je sestavljen in ekstrudiranega aluminijastega profila, ki je na vsaki strani pritrjen na voziček. Na profilu je linearno vodilo, po katerem potuje voziček z nosilcem za zadnje ogledalo in lečo. Na levi strani je privijačen nosilec za 2. ogledalo. Na desni strani je držalo za motor in motor, ki natančno vodi voziček s pomočjo jermena.



Slika 15: 3D-model mosta

(Vir: osebni arhiv)

6 IZDELAVA

Izdelava naprave se je začela šele po končanem modeliranju in narejenih delavniških risbah. Pri modeliranju sva posebej velik poudarek namenila zahtevnosti izdelave izdelka. Med modeliranjem sva že vnaprej razmišljala, kako bi čim lažje prenesla izdelek iz programa v realni produkt, ki je še v zaključni fazi izdelave.



Slika 16: Sestavljanje

(Vir: osebni arhiv)

6.1 Rezkanje

»Rezkanje je postopek odrezovanja, pri katerem opravlja orodje – rezkalo – rotacijsko glavno gibanje, podajalna gibanja pa so lahko premočrtna ali rotacijska. Po navadi opravlja podajalna gibanja obdelovanec. Pri večini obdelovalnih postopkov (struženju, vrtanju ...) je smer podajanja pravokotna na smer rezanja. Pri rezkanju pa se – če zasledujemo posamezen zob rezkala – lega smeri rezanja proti podajalni smeri neprestano spreminja. Rezkanje uporabljamo največ 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.« [7]

Večino delov, ki jih je bilo potrebno obdelati z rezkanjem, sva naredila doma, nekaj izdelkov pa tudi v šoli.



Slika 17: Rezkanje

(Vir: Strugarstvo.com)

6.2 Struženje

»Struženje je najbolj razširjen postopek odrezavanja za obdelavo valjastih obdelovancev, možno pa je stružiti tudi ravne ploskve in celo nekatere neokrogle oblike, če orodje med delom niha.

Glavno gibanje pri struženju je rotacijsko in ga opravlja obdelovanec. Podajalno gibanje je navadno premočrtno ali pa sledi poljubni krivulji. Struženje zavzema cca. 40 % celotne obdelave z odrezavanjem, zato je verjetno najnatančnejše raziskan postopek. Raziskovanja pri struženju so dala vrsto zakonitosti, ki so osnove za vse postopke za odrezavanje kovin.« [9]

Struženje je potekalo doma na lastni stružnici.



Slika 18: Struženje

(Vir: kovinarstvo-klancar.si)

6.3 Varjenje

»Varjenje je spajanje dveh ali več delov osnovnega materiala v nerazdružljivo celoto. Spajanje dosežemo s toploto, s pritiskom ali pa s kombinacijo obeh, z dodajanjem materiala ali brez njega«. [10]

Varjenje komponent je potekalo doma. Najprej sva zvarila mizo, nato zunanje ohišje.



Slika 19: Varjenje

(Vir: 12.si)

6.4 Sestavljanje

Najprej sva sestavila ohišje, ki je moralo biti čim bolj pravokotno sestavljeno, nato sva nanj dodala vodila, ki sva jih umerjala s pomočjo merilne ure. Sestavila sva še mizo s 4. osjo in jo z njenimi nosilci pritrdila na vodila, ki so povezana na ohišje. Dodala sva še motor, ki sva ga na vreteno povezala z verigo. Na vodila, ki ležijo na strani ohišja, sva položila most, namestila še 2 motorja in napeljala jermene. Dodala sva nosilce za lasersko cev in jo umerila, tako da je laserski žarek zadel sredino leče. Sestavila sva dno s kolesčki in nanj na treh točkah položila notranje ohišje. Privijačila sva ostale stranice in prikovičila pločevino. Dodala sva še vrata delovne mize in laserske cevi.



Slika 20: zunanje ohišje s pločevino

(Vir: osebni arhiv)

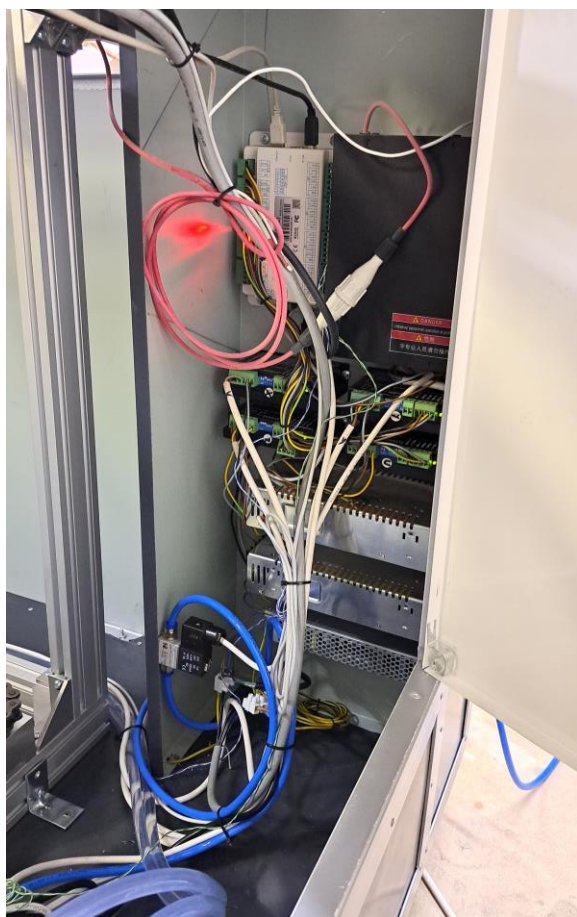


Slika 21: Končan stroj

(Vir: osebni arhiv)

6.5 Električna napeljava

Laser napaja enofazni 230 V priključek. Ta napaja 4 napajalnike, dva napajata 36 V gonilnike koračnih motorjev, en 24 V priključek na Ruida 6445 krmilniku, zadnji pa je visokonapetostni in visokofrekvenčni napajalnik za lasersko cev. Krmilnik je istočasno povezan z vsemi 4 gonilniki koračnih motorjev, ti pa so povezani na motorje. Na stroju so nameščeni mejni induktivni senzorji na vseh oseh, ki podajajo ničelno točko stroja. Na krmilnik je priklopljen tudi elektropnevmatski ventil, ki ga uporabljamo za lepše in natančnejše rezanje ter graviranje s strojem. Za varnost je poskrbljeno s stikalom, ki onemogoča zagon pri odprtih vratih.



Slika 22: električna napeljava

(Vir: osebni arhiv)

7 CENOVNA IN ČASOVNA ANALIZA

V tabeli 3 so prikazani stroški za posamezni material, ki je potreben za izdelavo CNC CO₂ laserskega gravirno-rezalnega stroja. Celotni stroški znašajo 3.207 €. Stroški se za posamezni material gibljejo od 40 € do 500 €. Od tega je najdražji krmilnik, najcenejša pa je pnevmatska napeljava.

Tabela 3: Stroški

MATERIAL	CENA [EUR]
Laserska cev z napajalnikom	364,77
Set ogledal in njihovih držal	94,32
Krmilnik	500
Koračni motorji	333
Jermen in jermenice	185
Hladilna enota	155
Aluminij (bloki, kotni profili)	82,35
Ekstrudirani aluminijasti profili	298,10
Vodila in vozički	393,86
Vijaki, matice in podložke	169,83
Kotno železo	112
Napajalnik in mejni senzorji	58,70
Ležaji	66,27
Sklopke	36,30
Jeklene palice	44
Verižniki in veriga	82,86
Pločevina	100,64
Ventil in pnevmatska napeljava	40
Ekspandirana pločevina	90
Skupaj	3.207

Izdelava naprave je trajala 340 delovnih ur. Od tega je bilo za modeliranje porabljenih 150 ur na osebo, za izdelavo pa 40 ur.

Tabela 4: Čas dela

SKLOP	ČAS (URA)
Modeliranje	300
Izdelava	40
Skupaj	340

Celotni stroški, če upoštevamo še delo, ki je bilo vloženo v razvoj in izdelavo, znašajo 6.607 €, ob predpostavki, da je najina ura vredna cca. 10 €.

8 REZULTATI RAZISKAVE

Med izdelavo in modeliranjem sva se najbolj posvečala dejstvu, da bo izdelek uporaben in čim bolj skladen z zadanimi cilji. Na osnovi začetnih skic sva začela z modeliranjem in izdelavo delavniških risb, preko katerih sva nato nadaljevala z izdelavo izdelka. Razrez, varjenje, rezkanje, struženje in ostali obdelovalni postopki so večinoma potekali doma, z redkimi izjemami, ki so bile narejene v šolski delavnici. Po končanem izdelku sva lahko potrdila ali ovrgla hipoteze, ki sva si jih zadala pred izdelavo in modeliranjem.

Potrjene hipoteze:

- Enostavna izdelava.
- Enostavna uporaba.

Ovržene hipoteze:

- Delovna površina meri 1300 x 800 mm.
- Stroj je cenejši od podobnih strojev na trgu.
- Stroj ima integrirano 4. os.

Potrdila sva hipotezi o enostavni izdelavi in uporabi, saj je programski paket razumljiv, stroj pa je uporabniku prijazen. Ostale hipoteze sva ovrgla. Delavna površina je po y osi za 30 mm krajša, kar bi lahko popravila s premikom prednjega aluminijastega profila. Stroj je ugoden glede na ceno materiala in komponent, ko pa prištejemo še vложен čas, znesek znatno naraste, zato sva hipotezo ovrgla. Zaradi časovne stiske 4. os še ni bila realizirana, zato sva hipotezo ovrgla, vendar je že v fazi izdelave.

9 ZAKLJUČEK

Po temeljiti raziskavi trga sva ugotovila, da na trgu že obstajajo produkti, podobni najinemu, a je njihov problem visoka cena. Za končni produkt sva želela stroj, ki ima veliko delovno površino, a njegova moč ne presega 80 W, saj to za namene najinega stroja ni potrebno. To razmišljanje sva uporabila tako, da sva združila lastnosti, ki so želene za najin izdelek, in jih uporabila pri modeliranju. Pri tej nalogi je bilo potrebno uporabiti mnoga znanja, ne le s področja strojništva, ampak tudi mehatronike in optike. Kar prvotno nisva vedela, sva se naučila med izdelavo in projektiranjem s pomočjo spleta. Izkazalo se je, da je naloga zahtevnejša, kot sva na začetku pričakovala.

10 ZAHVALA

Zahvaljujeva se najinemu mentorju Žanu Podbregarju, mag. inž. energ. za vso pomoč pri izdelavi raziskovalne naloge, še posebej ker si je za naju vedno vzel čas in bil na voljo za kakršna koli vprašanja.

Zahvalila bi se tudi gospodu Martinu Amonu, mag. inž. str. za pomoč pri odpravljanju težav s programskim paketom Creo8.

Zahvalo namenjava tudi Brigiti Renner za lektoriranje najine raziskovalne naloge in Simoni Tadeji Ribič za lektoriranje angleškega povzetka.

Na koncu se zahvaljujeva še vsem, ki so nama pomagali pri izdelavi izdelka.

11 VIRI IN LITERATURA

[1] S. Pehan, Osnove konstruiranja: univerzitetni učbenik – osnutek. Fakulteta za strojništvo. Maribor: 2010.

[2] CNC CO2 LASERSKI REZALNO-GRAVIRNI STROJ (spletni vir). 2023.

(Povzeto 25. 2. 2023). Dostopno na:

<https://www.china-machining.com/blog/what-is-a-cnc-laser-cutter/> [25.2.2023; 22:51]

[3] CNC LASERSKI GRAVIRNO-REZALNI STROJ PROIZVAJALCA

HYPERCUT (spletni vir). 2023. (Povzeto 17. 2. 2023). Dostopno na:

<http://www.hypercut.si/sl/hypercut-laser-609080-pro> [17.2.2023; 18:34]

[4] CNC LASERSKI GRAVIRNO-REZALNI STROJ PROIZVAJALCA TROTEC

LASER (spletni vir). 2023. (Povzeto 24. 2. 2023). Dostopno na:

<https://www.troteclaser.com/en-gb/about-us/about-trotec> [25.2.2023; 21:51]

[5] CO₂ LASER (spletni vir). 2023. (Povzeto 22. 2. 2023). Dostopno na:

https://sl.wikipedia.org/wiki/Ogljikov-dioksidni_laser [25.2.2023; 21:53]

[6] NOV IZDELEK – OD ZAMISLI DO UVEDBE NA TRG (spletni vir). 2023.

(Povzeto 22. 2. 2023). Dostopno na:

<http://www.cek.ef.uni-lj.si/specialist/lesjak81.pdf> [25.2.2023; 22:17]

[7] REZKANJE (spletni vir). 2023. (Povzeto 25. 2. 2023). Dostopno na:

<https://www.prah.si/Files/Images/2159/rezkanje.pdf> [25.2.2023; 21:56]

[8] RAYJET (spletni vir). 2023. (Povzeto 25. 2. 2023). Dostopno na:

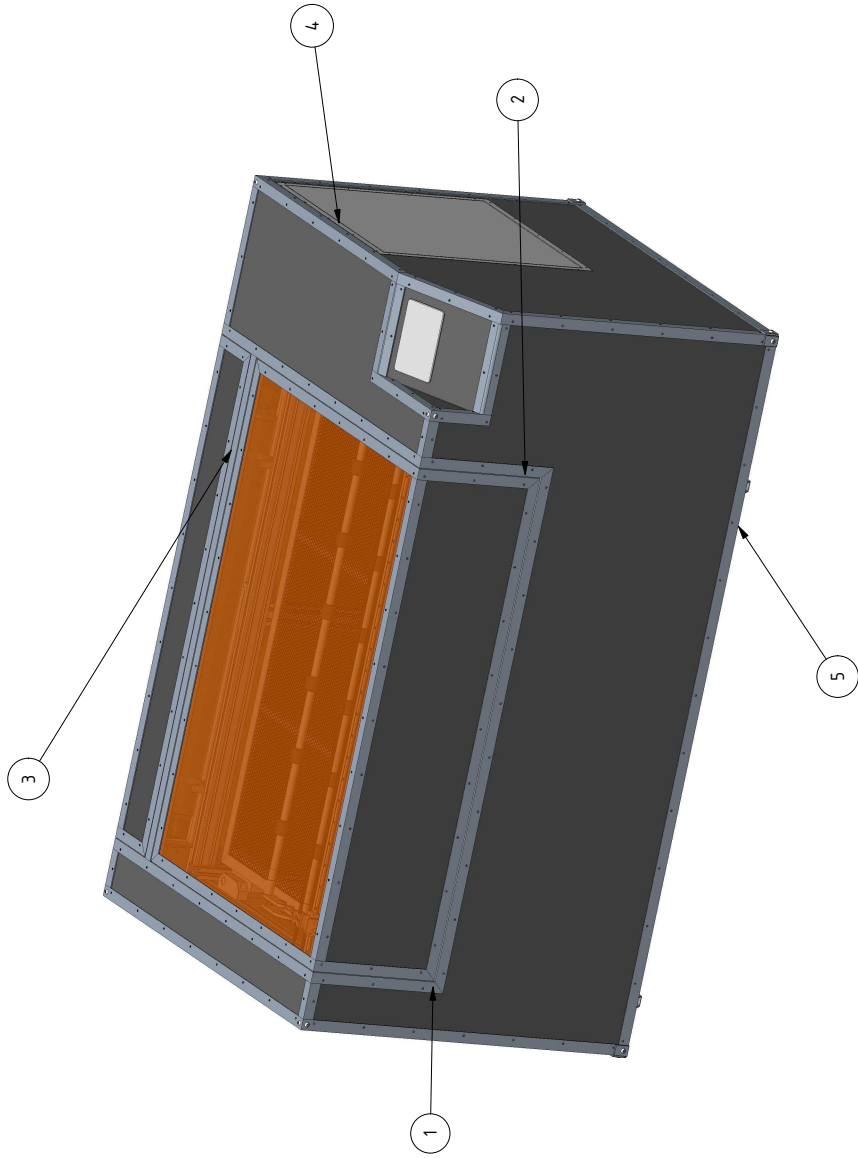
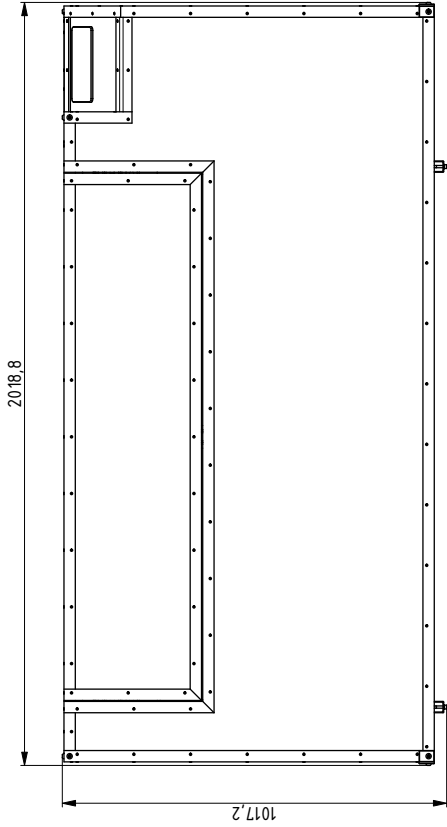
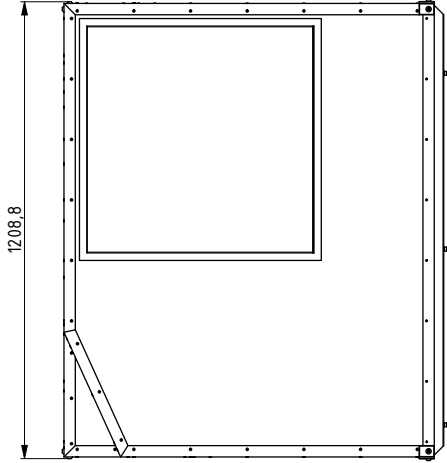
<https://www.troteclaser.si/rayjet-r500-laserski-graver-in-rezalnik/> [25.2.2023; 23:14]

[9] STRUŽENJE (spletni vir). 2023. (Povzeto 24. 2. 2023). Dostopno na:

<https://www.kovinarstvo-klancar.si/struzenje.html> [25.2.2023; 21:55]

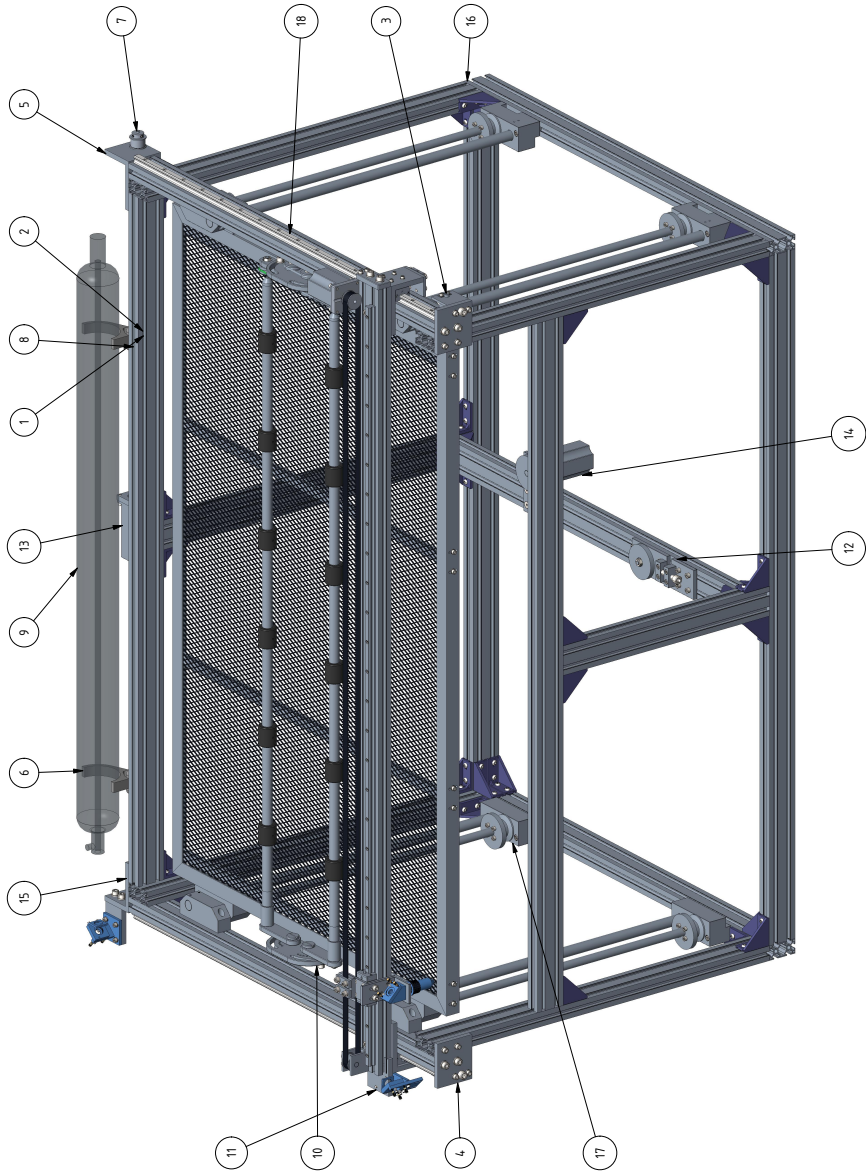
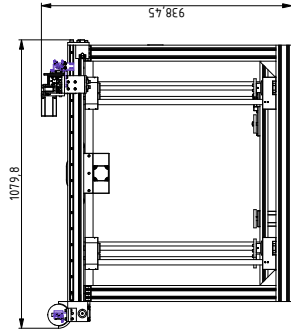
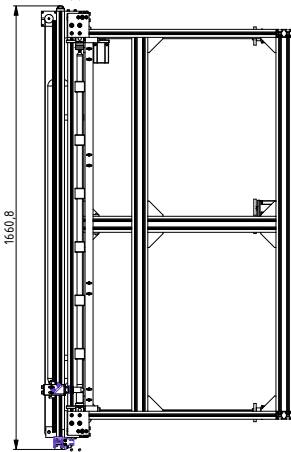
[10] VARJENJE (spletni vir). 2023. (Povzeto 25. 2. 2023). Dostopno na:

<https://12.si/razlike-rocno-robotsko-varjenje> [25. 2. 2023; 22:03]



5	1	ZUNANJE_OHISJE	23.004																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
---	---	----------------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

1:10



Naziv		Datum		Materijal		Masa		Opis	
18	2	VODILA Y	23.001.09						0.000 X
17	4	VODILA Z OS	23.001.09						4.982 X
16	1	OHISJE	23.001.08						0.000 X
15	1	MOSIJEČ. OBEDELALA 1							1.390 X
14	1	MOSIJEČ. MITRICA Z							0.424 X
13	1	MOSIJEČ. MITRICA Y							0.424 X
12	1	ANEMALIZ. TUBIJE	23.001.07						0.482 X
11	1	MOST Z VODILI	23.001.06						0.000 X
10	1	MIZA Z VALIKI	23.001.05						0.000 X
9	1	LASER. TUBE. ROW							144.056 X
8	6	KLADIVASTA MITICA-M6							0.542 X
7	2	DRZALO ZA OS	23.001.04						0.542 X
6	2	DRZALO TUBE	23.001.03						1.608 X
5	1	DRZALO LEZAJA	23.001.03						0.542 X
4	1	DRZALO JEREMENIC L	23.001.02						0.542 X
3	1	DRZALO JEREMENIC D	23.001.01						0.544 X
2	6	DIN912-M6X6	DIN912						0.007 X
1	6	DIN912-M6X6	DIN912						0.007 X
Pos. Mos En		Materijal		Datum		Materijal		Masa	
		Zaht.		11.03.23		X		0.000	
		Kont.		-		X			
		Kont.		-		X			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-		-			
		Materijal		-		-			
		Datum		-					