

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

DIPLOMSKI RAD

sveučilišnog diplomskog studija

Ivan Sigurnjak

12158040

Slavonski Brod, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

DIPLOMSKI RAD

sveučilišnog diplomskog studija

Ivan Sigurnjak

12158040

Mentor diplomskog rada:

prof.dr.sc. Ivan Samardžić

Slavonski Brod, 2017.

I. AUTOR

Ime i prezime: Ivan Sigurnjak
Mjesto i datum rođenja: Slavonski Brod, 09.07.1989.
Adresa: Stjepana pl. Horvata 36, Slavonski Brod

STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

II. DIPLOMSKI RAD

Naslov: Tehnologija izrade mosta za CNC stroj

Naslov na engleskom jeziku: Technology of portal making for CNC machine

Ključne riječi: Tehnologija, most, CNC stroj, laser, rezačica

Ključne riječi na engleskom jeziku: Technology, portal, CNC machine, laser, cutter

Broj stranica: 62, slika: 41, tablica: 22, dijagrama: 1, priloga: 1, bibliografskih izvora: 14.

Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen: STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU

Stečen akademski naslov: **Magistar inženjer strojarstva**

Mentor rada: prof. dr. sc. Ivan Samardžić

Obranjeno na **Strojarskom fakultetu** u Slavonskom Brodu

dana 08.09.2017.

Oznaka i redni broj rada: 38/2017

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
STROJARSKI FAKULTET U SLAVONSKOM BRODU
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Slavonski Brod, 11. siječnja 2017.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 2016-2017

Pristupnik: **Ivan Sigurnjak (0255014748)**
Studij: Diplomski studij: Strojtarstvo
Smjer: Strojarske tehnologije

Zadatak: **TEHNOLOGIJA IZRADA MOSTA ZA CNC STROJ**

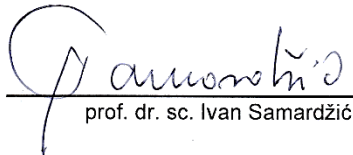
Opis zadatka:

1. OPIS POSTAVLJENOG ZADATKA. NAMJENA CNC STROJA, GABARITNE DIMENZIJE, OSNOVNI DIJELOVI, ZAHTJEVI ZA KVALITETU I TOLERANCIJE U RADU CNC STROJA.
2. KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI POSTAVLJENI ZA IZRADU MOSTA CNC STROJA.
3. IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE MOSTA ZA CNC STROJ. IZRADA 3D MODELA, PRORAČUN, OBLIKOVANJE I PRIKAZ KARAKTERISTIČNIH DETALJA.
4. TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA, STROJNE OBRADU I MONTAŽE CNC STROJA.
5. ANALIZA TROŠKOVA KOD IZRADA MOSTA CNC STROJA.
6. ZAKLJUČAK.

Zadatak uručen pristupniku: 13. siječnja 2017.

Rok za predaju rada: 13. srpnja 2017.

Mentor:


prof. dr. sc. Ivan Samardžić



Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:


prof. dr. sc. Franjo Matejiček

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, koristeći se vlastitim znanjem i navedenom literaturom.

U izradi rada pomogao mi je mentor prof.dr.sc. Ivan Samardžić, kojemu srdačno zahvaljujem na savjetima i uputama.

Također zahvaljujem asistentu dr.sc. Miroslavu Duspari na suradnji i pomoći.

Ovim putem se zahvaljujem roditeljima što su mi omogućili školovanje, te supruzi na stalnoj potpori i podršci.

Potpis:

Ivan Samardžić

SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je „Tehnologija izrade mosta za CNC stroj“. U radu je opisana namjena i princip rada stroja, tehničke karakteristike i zahtjevi, korištene tehnologije za izradu, proračun troškova i potrebna dokumentacija.

Za izradu je potrebno osigurati nužnu tehničku dokumentaciju, odabrati materijal te biti dobar poznavatelj svih tehnologija koje su korištene, kako bi proizvodnja dijelova bila što povoljnija, uz ostvarene zahtjeve i tolerancije.

Uz standardne tehnologije poput rezanja pilom, brušenja, zavarivanja, pjeskarenja, površinske zaštite, korištene su i nove proizvodne tehnologije, kao što su glodanje, bušenje i upuštanje na numerički upravljanim strojevima, te rezanje vodenim mlazom.

Obuhvaćene su sve tehnologije od rezanja i pripreme materijala, do montaže proizvoda.

ABSTRACT

Theme of this graduation thesis is „technology of portal making for CNC machine. In this labor are described purpose and working mode of machine, technical characteristics and requirements, used technologies for making, cost calculation, and needful documentation.

For making is necessary to prepare needful technical documentation, choose the material and be a good knower of all technologies which are used, to make part production cheaper with achieved requirements and tolerances.

Expect standard technologies like saw cutting, grinding, welding, sandblasting, surface protection, there are used new making technologies like milling, drilling, countersinking on numerical controlled machines, and also, water jet cutting.

In labour are included all technologies, from cutting and preparing of material to montage of product.

PREGLED VELIČINA, OZNAKA I JEDINICA

1 UVOD	1
1.1 OPĆENITO O STROJU.....	1
1.2 PRINCIP RADA LASERA.....	2
1.3 PREDNOSTI I NEDOSTACI REZANJA LASEROM.....	6
2 KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI POSTAVLJENI ZA IZRADU CNC MOSTA.....	7
3 IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA CNC STROJ.....	11
4 TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA, STROJNE OBRAD E I MONTAŽE CNC STROJA	13
4.1 REZANJE PILOM	13
4.2 REZANJE MLAZOM VODE.....	14
4.3 ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM.....	15
4.3.1 Dodatni materijal za MAG zavarivanje	17
4.3.2 Uloga zaštitnih plinova kod MAG zavarivanja.....	17
4.3.3 Parametri MAG zavarivanja.....	17
4.3.4 Materijali za MAG postupak zavarivanja	22
4.3.5 Prednosti i nedostaci postupka	23
4.3.6 Korišteni materijali i parametri zavarivanja.....	23
4.4 TOPLINSKA OBRADA.....	25
4.4.1 Opis provedenog postupka i korištenih parametara	28
4.5 PJESKARENJE.....	29
4.6 STROJNA OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA GLODANJEM, BUŠENJEM I NAREZIVANJEM NAVOJA.....	31
4.6.1 Općenito o glodanju	31
4.6.2 Bušenje	35
4.6.3 Urezivanje navoja.....	36
4.6.4 Sustav hlađenja i podmazivanja	37
4.7 KORIŠTENI STROJEVI, ALATI I PARAMETRI OBRAD E NA GLODALICAMA	38
4.8 BOJANJE	53
4.9 MONTAŽA	53
5 ANALIZA TROŠKOVA.....	55

6 ZAKLJUČAK	60
7 LITERATURA	61
PRILOZI	

PREGLED VELIČINA, OZNAKA I JEDINICA

Oznaka (veličina)	Opis	Mjerna jedinica
CNC	Računalom podržano numeričko upravljanje	-
I	Jakost struje	A
L	Duljina slobodnog kraja žice	mm
P	Snaga	W
U	Napon	V
v	Brzina	mm/s
ϑ	Temperatura zagrijavanja	°C
p	Tlak	Pa, bar
ΔT	Temperaturna razlika	K, °C
i	Broj komada	-
l	Duljina obrade	mm
n	Broj okretaja	okr/min
f	Posmak	mm/min
a_p	Dubina rezanja	mm
v_c	Obodna brzina rezanja	m/s
t	Vrijeme hlađenja	h
v_f	Posmična brzina	mm/min
Q	Gustoća snage	W/cm ²
d	Promjer elektrode	mm
MAG	Metal Active Gas	-
-	Nagib zavarivanja	°
B	Udaljenost sapnice	mm
-	Potrošnja plina	L/min

1 UVOD

1.1 OPĆENITO O STROJU

Izrađivani most namijenjen je za CNC stroj za lasersko rezanje. Može se koristiti i za ostale metode rezanja, kao što su rezanje vodom, plinskim plamenom i plazmom. Potrebno je ostvariti visoku točnost pozicioniranja zbog vrlo tankog reza, debljine oko 0,3 mm. Most također mora imati veliku krutost zbog velikih brzina gibanja koje iznose i do 80 m/min (slika 1.1).



Slika 1.1 Most CNC laserske rezačice

Laserske rezačice odlikuje visoki učinak, dobra kvaliteta reznih površina te brzina rezanja. Ovim postupkom se mogu rezati gotovo svi metali.

Vanjske dimenzije stroja su 3700x2000 mm, a dimenzije radnog stola su 2575x1300 mm, što je dovoljno za rad s limovima standardih dimenzija 1250x2500 mm. Moguće maksimalne debljine rezanja su 10 mm za „crne“ čelike i 6 mm za nehrđajuće čelike. Stroj može rezati cijevi okruglog, kvadratnog i pravokutnog profila, maksimalnog promjera 100 mm za okrugle i dimenzija 100x100 mm za kvadratne presjeke.

Najveća brzina koja se može ostvariti na stroju je 80 m/min, dok maksimalna brzina rezanja stroja iznosi 20 m/min za limove debljine 1 mm. Točnost i ponovljivost pozicioniranja glave rezačice je 0,08 mm. Najveći izazov pri izradi strojeva poput laserske rezačice je upravo

ostvarivanje visokih točnosti uz velike brzine rezanja, što značajno utječe i na cijenu same izrade pojedinih dijelova.

Kao izvor rezačice, korišten je fiber laser koji na izlazu ostvaruje snagu od 1 kW, dok je ukupna snaga trošila 24 kW (tablica 1.1).

Tablica 1.1 *Potrošnja električne energije*

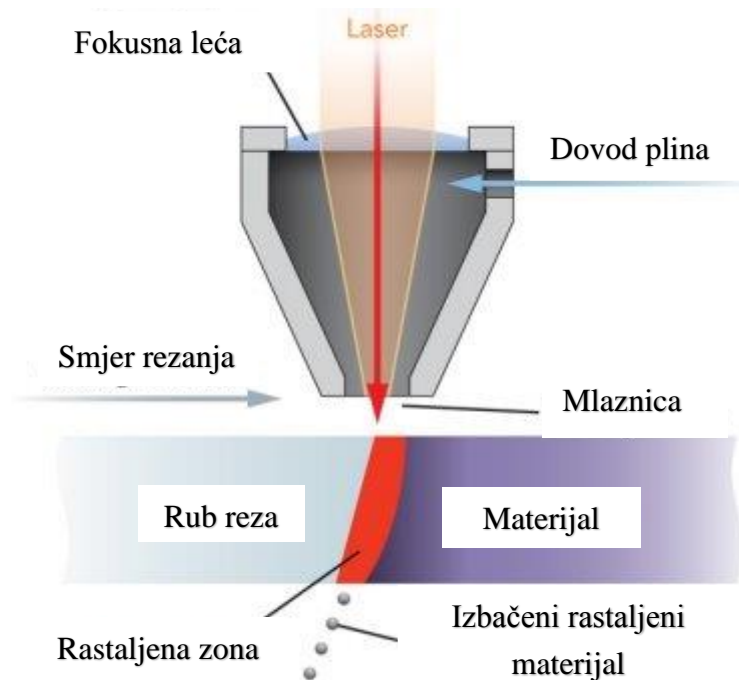
	Potrošnja električne energije
Laser	4 kW
Hladnjak vode	3,6 kW
Motori i elektronika	8 kW
Potrošnja plina	3 kW
Odsis prašine	5,5 kW
UKUPNA POTROŠNJA STROJA	24,1 kW

Prilikom izrade mosta CNC stroja korištene su tehnologije rezanja vodom, zavarivanje, strojna obrada, toplinska obrada, površinska zaštita. Za uspješnu izradu i dobra svojstva u eksploataciji potrebno je dobro poznavanje svih prednosti i nedostataka navedenih tehnologija, kako bi se unaprijed mogla izbjeći pojava grešaka. Za svaki kvalitetan proizvod potrebna su i dobra konstrukcijska rješenja, dobro poznavanje samog rada stroja te uvjeta kojima su pojedini dijelovi izloženi.

1.2 PRINCIP RADA LASERA

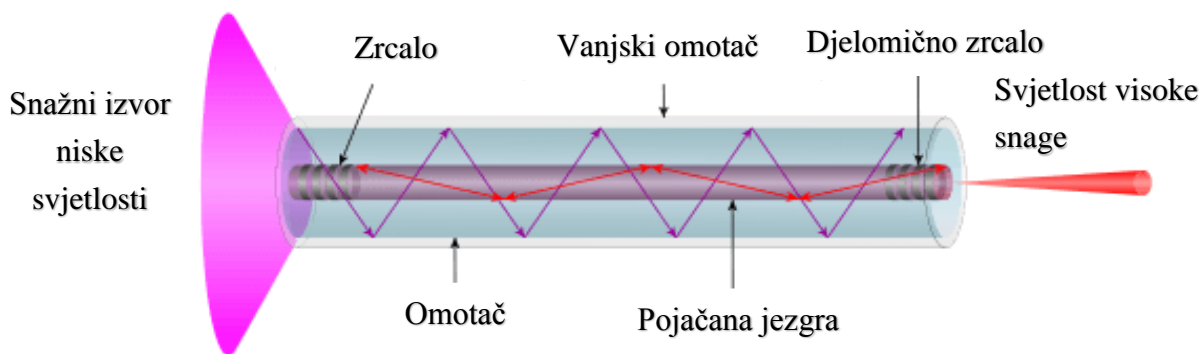
Osnova rezanja laserom je u tome da materijal u što kraćem vremenu ispari i ukloni iz zone djelovanja. To se postiže velikom gustoćom snage od 10^6 do 10^8 W/cm² i kratkim vremenima interakcije. Kada laserski snop pada na površinu radnog komada, dio površine trenutačno ispari, dok je podpovršinski sloj zagrijan do točke taljenja. Čim je ispareni materijal napustio zonu interakcije, laserski snop pada na već zagrijani dublji sloj materijala i izaziva njegovo isparavanje ili izgaranje, čime nastaje procjep u materijalu. Pomicanjem laserskog snopa po određenom pravcu ili konturi dobiva se željeni rez širine 0,15 - 0,3 mm. Rezanje

laserom provodi se uz koaksijalni mlaz plina za ispuhivanje, koji se odvodi kroz komoru. Na kraju komore nalazi se sapnica koja usmjerava plin usporedno s laserskim snopom (slika 1.2). Osim ispuhivanja taline iz zone rezanja, plin tijekom rezanja laserom štiti leću od isparenih produkata, uklanja paru između leće i radnog komada, a kod rezanja nekih materijala egzotermno reagira s talinom i na taj način povećava brzinu rezanja. [1]



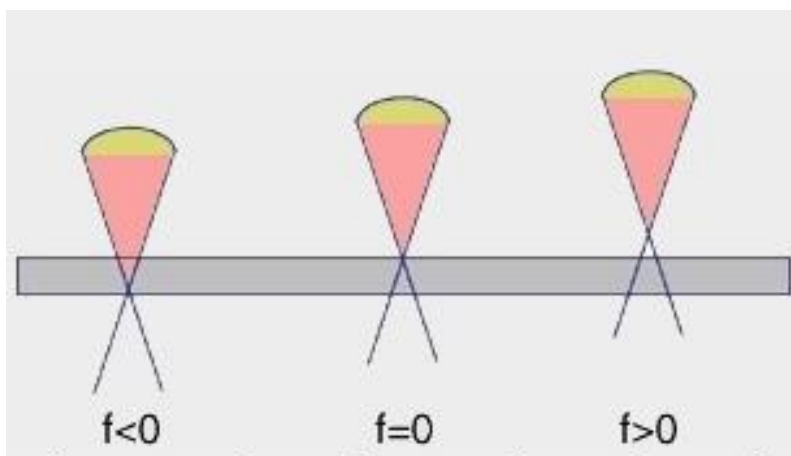
Slika 1.2 Rezanje laserom [2]

Faktori koju utječu na brzinu i kvalitetu rezanja laserom su: snaga i intenzitet snopa, modovi laserskog snopa, žarišna duljina leće, položaj žarišta, geometrija sapnice, vrsta plina za rezanje i valna duljina lasera. Snaga lasera je ukupna energija laserske svjetlosti emitirane u vremenu od jedne sekunde, a intenzitet (gustoća snage) laserskog snopa je snaga po jedinici označene površine. Veliki intenzitet snopa dovodi do vrlo brzog zagrijavanja materijala u točki djelovanja, što rezultira velikom brzinom i kvalitetom reza (slika 1.3). Za rezanje se koriste velike gustoće snage ($10^6 - 10^8 \text{ W/cm}^2$), koje se postižu kontinuiranim i impulsnim laserskim snopom. Iako se brzina rezanja impulsnim laserskim snopom smanjuje, on se često koristi kod rezanja toplinski osjetljivih materijala (da se izbjegnu pregrijavanje i gubici energije refleksijom, npr. aluminij) ili materijala koji se režu po oštrim rubovima. [1]



Slika 1.3 Princip rada fiber lasera [3]

Mod laserskog snopa određuje distribuciju energije po poprečnom presjeku snopa. Za rezanje laserom najbolji je osnovni mod po Gaussovoj distribuciji energije (znatan dio energije je unutar glavne žarišne točke). Žarišna duljina leće određuje oblik fokusiranog snopa i prilagođava se debljini rezanog materijala. Leće manje žarišne duljine daju manju točku fokusiranog snopa i manju žarišnu duljinu (određuje toleranciju promjenjivosti udaljenosti leće i radnog komada). To znači da brzine rezanja mogu biti veće, a kvaliteta reza bolja. Takve se leće koriste pri rezanju tanjih materijala. Za rezanje debljih materijala pogodnije su leće veće žarišne duljine. Točka fokusiranog snopa (uglavnom se nalazi na površini radnog komada ili unutar materijala) mora se u odnosu na površinu radnog komada prilično točno pozicionirati (mala veličina žarišne točke rezultira malom dubinom žarišta). Stoga se položaj žarišne točke mora kontrolirati kako bi se osigurala najpovoljnija provedba rezanja, jer razlike u vrsti i debljini materijala mogu zahtijevati promjenu položaja, dok različiti modovi, promjena vremena trajanja impulsa, temperatura vode za hlađenje i promjena leće mjenjaju položaj žarišta (slika 1.4). [1]



Slika 1.4 Fokusiranje lasera [4]

Sam proces rezanja nastaje zbog pregrijavanja pojedinog sloja, stoga je razumljivo da moramo usmjeriti fokus našeg sustava upravo ondje gdje želimo prenijeti najviše laserske energije. Što je fokusiranje bolje, kvaliteta reza je također bolja. Baklja najbolje reže ako se pridržavamo sljedećih uvjeta (slika 1.4):

- a) fokus namjestiti na površinu materijala ako materijal nije deblji od 6 mm ($f = 0$)
- b) fokus podesiti iznad površine ako je debljina materijala 8 mm ili više ($f > 0$)
- c) za visokotlačno rezanje aluminijskog ili nehrđajućih čelika fokus podesiti na $2/3$ debljine materijala ($f < 0$). [4]

Geometrija sapnice kao i obilježje toka kroz sapnicu bitno se razlikuje od onih kod drugih toplinskih postupaka rezanja. Zbog malog promjera laserskog snopa promjer sapnice je uvijek znatno veći od širine rezanja. Budući da je širina reza mala, tlak plina je često velik (obično 2 -8 bara ili više). Tipični promjeri sapnice su od 0,8 do 1,5 mm, što znači da je uobičajena udaljenost vrha sapnice od radnog komada 0,3 do 1,0 mm. Izbor plina za rezanje vrlo je važan za proces rezanja laserom. Za mnoge metale kisik je najbolji plin za rezanje (postiže se dodatna energija zbog kemijskih reakcija kisika s metalom), ali se koriste i drugi plinovi (Ar, He, CO₂, N₂, zrak ili mješavine Ar/He, O₂, N₂ itd.). Za lasersko rezanje debljih limova najbolji je kisik jer se njegovom uporabom dobiva znatno više energije (zbog oksidacijskih procesa pri rezanju). Čistoća plina je također važna, osobito ako se koristi kisik. Istraživanja su pokazala da već i mala onečišćenja kisika npr. dušikom smanjuju brzinu rezanja i do 40%. Valna duljina laserske svjetlosti ograničava neke primjene lasera. Kvaliteta rezne površine ovisi o valnoj duljini laserskog snopa odnosno o vrsti lasera. Laserski sustavi za rezanje smatraju se vrlo fleksibilnim. Laser je naročito djelotvoran za kratke proizvodne programe. Da bi se osigurala velika učinkovitost za manje serijske proizvodnje, programiranje i prilagođavanje parametara lasera treba biti sukladno proizvodnom programu. [1]

Laserski sustavi se najčešće koriste kod 2D rezanja.

Laser se koristi za rezanje gotovo svih metala. Kod visokoreflektirajućih metala (Au, Ag, Cu, Al) postoje ograničenja stoga što je potrebna ogromna energija. Usporedba različitih načina rezanja najbolje ocrta prednosti rezanja laserom. Rezanjem laserom dobiva se mala širina reza, visoka kvaliteta obrađene površine i uska zona utjecaja topline (0,06 mm). Rezanje škarama i pilama ograničeno je na manje debljine materijala, a brzine su relativno male. Plinsko rezanje se koristi samo za određene vrste metala (npr. ugljični čelici) i to za veće debljine (> 3

mm), a karakteriziraju ga velika širina reza (1,0 mm), široka zona utjecaja topline (3,2 mm), velike deformacije te često potrebna i naknadna toplinska obrada. Plazmom se mogu rezati svi materijali (bolji su rezovi za srednje i veće debljine), ali je širina reza relativno velika (1,5 mm), a problem kvalitete reza izražen je kod manjih debljina (< 2 mm). [1]

1.3 PREDNOSTI I NEDOSTACI REZANJA LASEROM

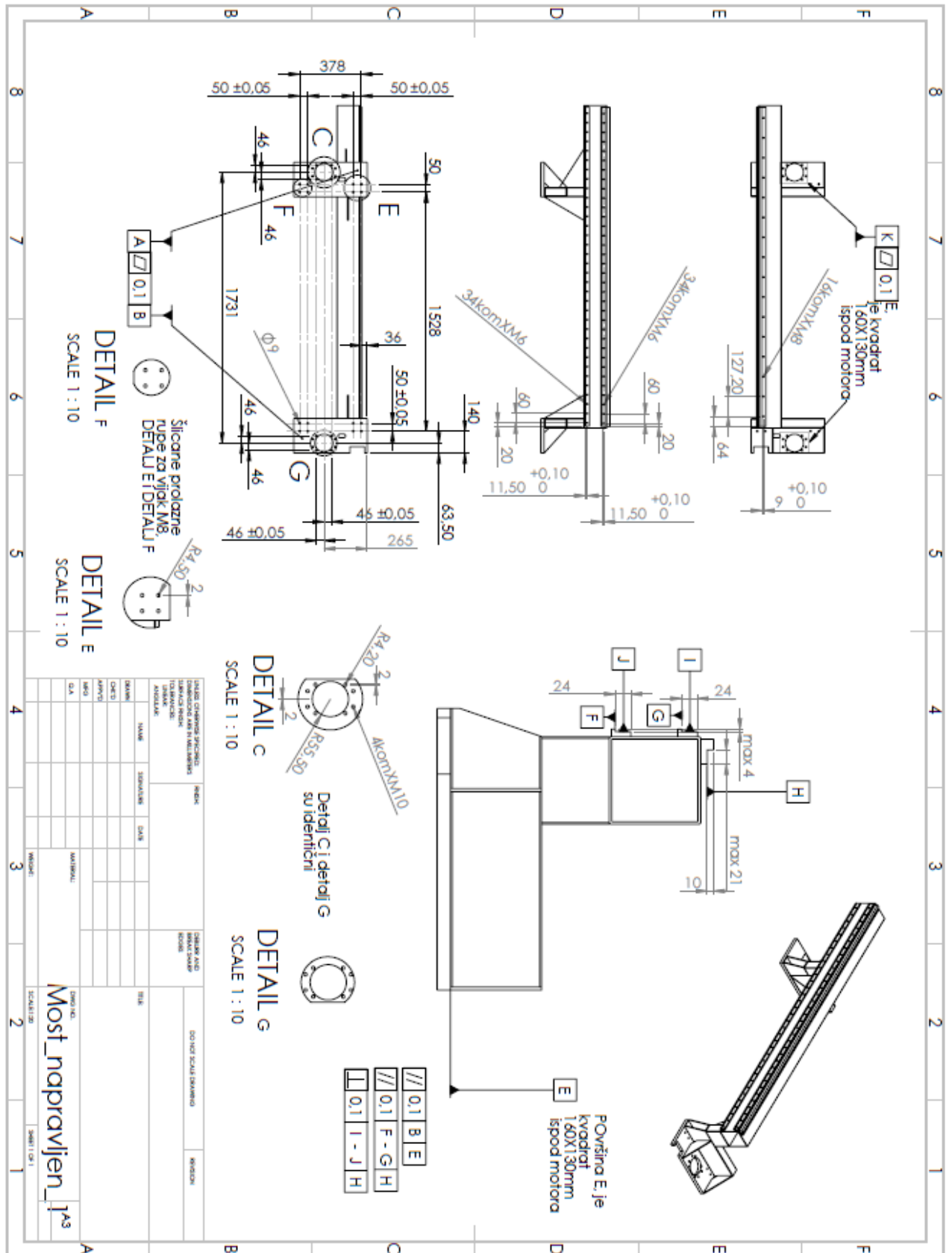
U odnosu na druge postupke rezanja, rezanje laserom ima brojne prednosti:

- mogućnost rezanja različitih materijala,
- postižu se fini i točni rezovi uz velike radne brzine i mali unos toplinske energije,
- beskontaktni prijenos energije (nema oštećenja alata),
- zanemarive deformacije materijala,
- moguće je točno rezanje najsloženijih kontura velikom brzinama,
- minimalni otpad materijala i minimalno onečišćenje okoliša i opreme,
- visoka ekonomičnost postupka (izmjena alata i naknadne obrade nisu potrebne),
- jednostavna automatizacija procesa i visoka produktivnost u industrijskoj primjeni. [1]

2 KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI POSTAVLJENI ZA IZRADU CNC MOSTA

Prilikom izrade i prije odabira pojedinih tehnologija kojima se most za CNC lasersku rezačicu izrađuje potrebno je paziti na konstrukcijske zahtjeve. Detaljnim upoznavanjem sa samim principima rada rezačice i problemima koji nastaju u radu dobivene su smjernice za pravilno konstruiranje pojedinih komponenti stroja. Pred tehnologe je postavljen izazov pravilnog odabira tehnologija kako bi se ispoštovale tražene tolerancije i ostali postavljeni uvjeti. Ukoliko nije moguće sve izraditi prema iznešenim zahtjevima ili cijena izrade bude znatno veća od očekivane, moguće je izmijeniti pojedine dijelove konstrukcije, ukoliko to ne utječe na značajne radne sposobnosti stroja.

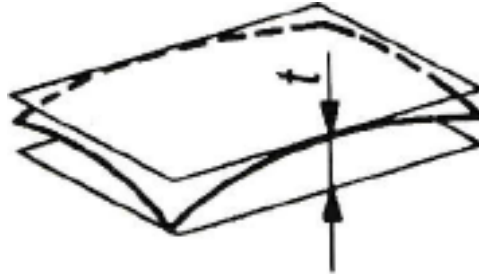
Stroj je zbog montaže izrađen iz dva osnovna nerastavljiva dijela. To su most i stol CNC stroja (slika 2.1).



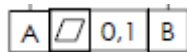
Slika 2.1 Tehnički crtež mosta

Pri odabiru tehnologija iznimno je važno postići zadane tolerancije. Prilikom izrade bilo je važno ostvariti zadane tolerancije paralelnosti, ravnosti i okomitosti.

Tolerancija ravnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvjema paralelnim ravninama na udaljenosti t (slika 2.2, slika 2.3, tablica 2.1). [5]



Slika 2.2 Tolerancija ravnosti [5]



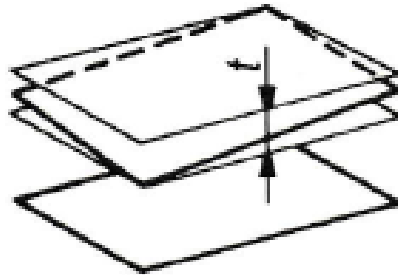
Slika 2.3 Primjer tolerancije ravnosti iz tehničke dokumentacije

Tablica 2.1 Numeričke vrijednosti tolerancija ravnosti [5]

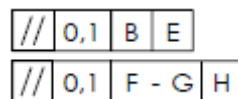
Mjerena duljina, mm	Stupanj točnosti									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tolerancija μm									
do 10	0,3	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16
10 do 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25
25 do 60	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
60 do 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
160 do 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
400 do 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160

Tolerancija paralelnosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t , paralelopipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili

dvjema plohama, koje su uz to paralelni referentnim pravcima ili plohama (slika 2.4, slika 2.5). [5]

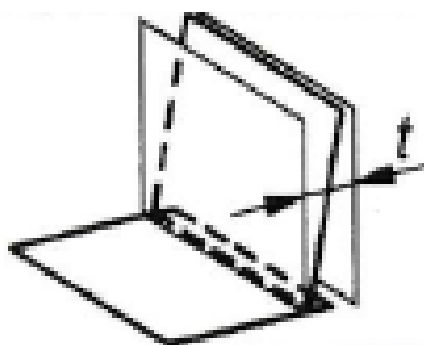


Slika 2.4 Tolerancija paralelnosti [5]



Slika 2.5 Primjer tolerancije paralelnosti iz tehničke dokumentacije

Tolerancija okomitosti definirana je kao odstupanje koje je ograničeno dvama paralelnim pravcima na udaljenosti t , paralelopipedom osnovice $t_1 \times t_2$, valjkom promjera t ili dvjema plohama, koje su uz to okomiti na referentni pravac ili plohu (slika 2.6, slika 2.7). [5]



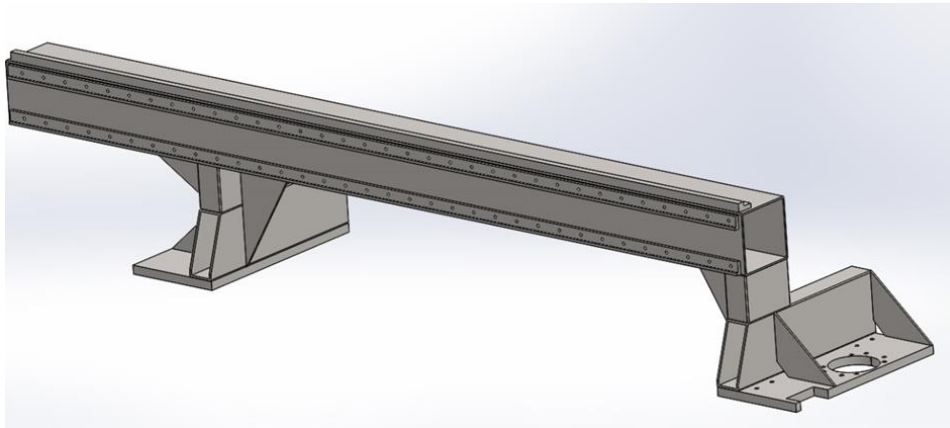
Slika 2.6 Tolerancija okomitosti [5]



Slika 2.7 Primjer tolerancije okomitosti iz tehničke dokumentacije

3 IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA CNC STROJ

Modeli i tehnička dokumentacija izrađeni su u računalnom programu Solidworks (slika 3.1, slika 3.2). S lakoćom se izrađuju 3D modeli objekata raznih oblika. Iz izrađenog modela jednostavno je dobiti 2D crteže sa svim podacima potrebnim za izradu. Također je znatno olakšan rad pri izradi programa za obradu na CNC strojevima. I u ovom slučaju je korišten računalni model pri izradi progama i g-koda za strojnu obradu s više alata na obradnom centru (slika 3.3). To je odlika suvremene pripreme koja znatno olakšava rad, smanjuje mogućnost pogreške, utječe na ekonomičnost i konkurentnost na tržištu. Tehničku dokumentaciju izrađenu na ovaj način jednostavno je sačuvati, a može biti korištena i izmijenjena u slučaju kasnije izrade takvog ili sličnog sklopa.



Slika 3.1 *Solidworks 3D model mosta*



Slika 3.2 *Solidworks 3D laserske rezačice*

```
N10 T1 ; GL. GLAVA FI 25-ZAGLODAVA NA MJERU Y0
N20 G54 G90 G64 G0 W0 X935 Y-15 F500 S800 M3 M8
N30 Z5
CFTCP
N40 G1 Z-3
N50 G1 G41 Y0
N60 G1 X700
N70 G1 G40 Y-15

N80 G1 Z-6
N90 G1 G42 Y0
N100 G1 X935
N110 G1 G40 Y-15

N120 G1 Z-9
N130 G1 G41 Y0
N140 G1 X700
N150 G1 G40 Y-15

N160 G1 Z-12
N170 G1 G42 Y0
N180 G1 X935
N190 G1 G40 Y-15
```

Slika 3.3 Korišteni primjer g-koda dobivenog iz crteža

4 TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA, STROJNE OBRADJE I MONTAŽE CNC STROJA

4.1 REZANJE PILOM

Za pripremu cijevnog dijela konstrukcije korištena je tračna pila (slika 4.1). Materijal je odrezan na mjeru uz korištenje nižih brzina i dodavanje emulzije na površinu reza. Ova metoda odvajanjem čestica je vrlo pogodna zbog svoje ekonomičnosti te vrlo malog unosa topline koji ne utječe na promjene u materijalu. Prednost ove metode dolazi do izražaja zbog kvadratnog presjeka cijevi i njezinih velikih dimenzija. Ovom tehnologijom se ostvaruje puno bolja kvaliteta reza nego kod plinskog plamena koji se često koristi kao zamjena za mnoge vrste pila.

Rezanje čelične cijevi dimenzija 140x140x4 mm izvedeno je na hidrauličnoj poluautomatskoj tračnoj pili *Imet BS 350 SHI*.



Slika 4.1 Tračna pila

4.2 REZANJE MLAZOM VODE

Voda pod tlakom do 4000 bara pri prolazu kroz mali otvor promjera 0,1 - 0,4 mm daje mlaz brzine od 700 - 900 m/s. Prosječna brzina mlaza vode iznosi 800 m/s, što je dvostruko veća brzina od brzine zvuka pa se može govoriti o rezanju nadzvučnim mlazom tekućine. Udarom mlaza u materijal svladavaju se kohezijske međuatomne sile, što omogućuje razdvajanje, odnosno, rezanje materijala. Dodatkom abrazivnog sredstva u mlaz bitno se povećava učinkovitost rezanja jer se povećava kinetička energija i erozijsko djelovanje tvrdih čestica. Kao abraziv najčešće se koristi kvarcni pijesak (slika 4.2). [1]



Slika 4.2 *Rezanje vodom*

Ova tehnologija je odabrana za razdvajanje pločastih materijala prvenstveno jer nema unošenja topline u materijal i time su maksimalno izbjegnute pojave deformacija. U vodeni mlaz je dodan kvarcni pijesak koji je korišten kao abraziv. Time je značajno smanjeno vrijeme rezanja, a kvaliteta rezane površine je ostala velika. Korišteni stroj Teen King, vidljiv na slici 4.2, ima računalnu upravljačku jedinicu te ostvaruje preciznost rezanja od 0,3 mm. Rezanje je izvedeno prema unaprijed izvedenoj tehničkoj dokumentaciji u računalnom obliku. Osim vanjskih i unutarnjih kontura, pripremljeni su i provrti koji su kasnije dodatno strojno obrađeni.

4.3 ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM

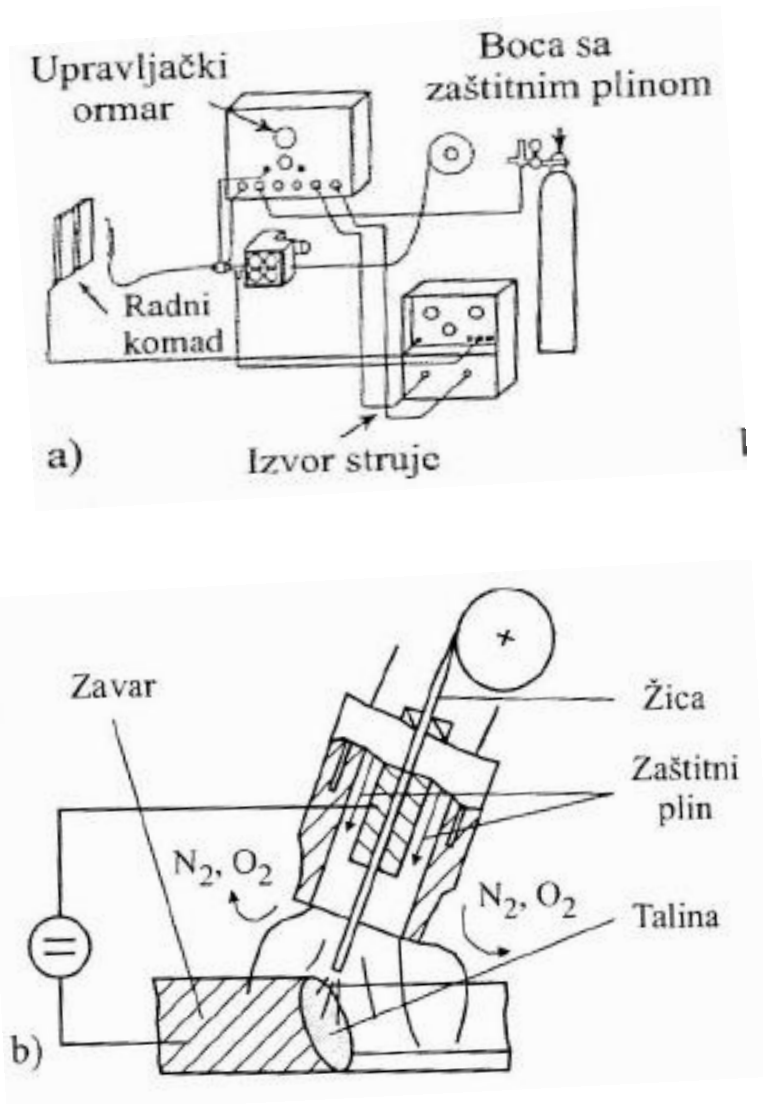
Elektrolučno zavarivanje metalnom taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plinova pripada u postupke zavarivanja taljenjem. MAG postupak (metal active gas) zavarivanja odvija se u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina CO₂ ili mješavini s pretežnim udjelom CO₂. Mag postupak se u praksi često naziva i CO₂ postupak. Za zaštitu električnog luka i rastaljenog materijala od okolne atmosfere moraju se koristiti zaštitni plinovi. Do nastanka električnog luka dolazi između elektrode, uglavnom spojene na + pol izvora istosmjerne struje i osnovnog materijala. Za stabilno održavanje luka nije moguće koristiti izmjeničnu struju zbog slabe ionizacije. [1]

Toplina ostvarena u električnom luku dovodi do taljenja osnovnog i dodatnog materijala. Žica ima funkciju elektrode i dodatnog materijala. Ovaj postupak se često koristi kao automatski, poluautomatski ili robotiziran postupak. Kod robotiziranog postupka, zavarivač prati samo rad stroja, dok su parametri ranije definirani. Kod poluautomatskih postupaka mehanizirano je dodavanje žice, dok se zavarivanje izvodi ručno. Automatski postupci su vođeni mehanički, ali bez primjene robota. U metalnoj industriji najčešće se koriste poluautomatski postupci zbog svoje jednostavnosti i fleksibilnosti. Jedina razlika između MIG i MAG postupka je korištenje različitih zaštitnih atmosfera. [1]

Izvor struje mora biti priključen na električnu mrežu s koje dobiva energiju. Struja za zavarivanje dovodi se iz izvora vodičima, od kojih se jedan priključuje na radni komad, a drugi preko upravljačko razvodne jedinice na pištolj za zavarivanje. Preko kontaktne provodnice koja se nalazi u pištolju električna struja prolazi žicom za zavarivanje, koja se pomoću elektromotora automatski odmata jednoličnom brzinom, te se kroz pištolj dodaje u električni luk. Zaštitni plin iz boce na mjesto zavara dolazi kroz sapnicu pištolja. Također prolazi kroz upravljaču jedinicu stroja (slika 4.3). U atmosferu luka zaštitni plin se upuhuje kroz sapnicu. Kontaktne provodnice je potrošni dio kod ovog postupka zavarivanja. Njena uloga je provođenje struje na žicu i vođenje iste. Sapnica se koristi za usmjeravanje zaštitnog plina prema luku, te je također jedan od potrošnih dijelova. Zbog čestih izmjena, lako se mijenjaju. Pištolji za zavarivanje mogu biti hlađeni vodom ili zrakom, ovisno o količini topline koja nastaje u radu. [1]

Prije početka zavarivanja potrebno je namjestiti dovod plina i parametre zavarivanja. Kod poluautomatskog zavarivanja, pištolj se prinosi radnom komadu, do mjesta početka zavarivanja, te se pritiskom na gumb koji se nalazi na pištolju pokreće uspostavljanje električnog luka, dodavanje žice i zaštitnog plina. Plin se dodaje otvaranjem elektromagnetskog

ventila, a to se događa prije izlaženja žice iz kontaktne provodnice. Električni luk se uspostavlja zatvaranjem strujnog kruga kada žica dotakne radni komad. Zatim se pomiče pištolj određenom tehnikom zavarivanja, u potrebnom smjeru. Brzina zavarivanja ovisi o brojnim uvjetima, najviše o debljini i vrsti osnovnog i dodatnog materijala. Nastankom električnog luka dolazi do taljenja i mješanja osnovnog i dodatnog materijala, spajaju se i skrućivanjem nastaje zavareni spoj. [1]



Slika 4.3 Shematski prikaz uređaja (a) i procesa MIG/MAG zavarivanja (b) [1]

Izvori struje se konstantno usavršavaju kako bi bilo moguće što bolje i preciznije podesiti parametre zavarivanja. Izvori struje mogu biti tranzistorski i tiristorski. Tranzistorski su tehnološki napredniji zbog jednostavnije regulacije parametara. Na većini novih uređaja moguće je automatski odrediti ostale parametre, na osnovu jednog poznatoga. [1]

4.3.1 Dodatni materijal za MAG zavarivanje

Za ovaj postupak koriste se dvije vrste žica, pune i praškom punjene žice. Pune su najčešće promjera 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 mm. Za ostvarivanje zadovoljavajućeg zavarenog spoja ovim postupkom žica mora zadovoljiti mnoge uvjete kao što su: kemijski sastav, kvaliteta površine, odmatanje s koluta tijekom rada. Kod kemijskog sastava je poželjno da bude što sličniji osnovnom materijalu. Žice su pobakrene ili niklane kako bi se ostvario bolji električni kontakt i kako bi se povećala otpornost na koroziju. Žica se s koluta mora odmatati pravilno i jednoliko. Površina žice mora biti glatka, uredno namotana i točnih dimenzija. U proizvodnji dodatnih materijala pune žice se dobivaju hladnim vučenjem, a punjene savijanjem metalne trake posute bazičnim ili rutilnim praškom. [1]

4.3.2 Uloga zaštitnih plinova kod MAG zavarivanja

Uloga zaštitnih plinova je očuvanje mjesta zavara i kapljica rastaljenog materijala od nepovoljnog djelovanja atmosfere. Zaštita plinom se odražava i na električno – fizikalna svojstva električnog luka (oblik, geometrija, energija ionizacije), metalurške reakcije u kupci zavara i tehnološke parametre (dubina penetracije, širina zavarenog spoja). Kod zavarivanja nelegiranih i niskolegiranih konstrukcijskih čelika koriste se aktivni plinovi (MAGC postupak – čisti CO₂) ili mješavine (MAGM postupak – CO₂/Ar/O₂). Dobro je poznata štetnost utjecaja kisika na zavarene spojeve, ali se on ipak dodaje argonu i ugljičnom dioksidu zbog utjecaja na površinski napon kapljica, a time se osigura bolji prijenos materijala. [1]

Aktivni plinovi dovode do reakcija ugljičnog dioksida i rastaljenog metala. Ugljični dioksid je na sobnoj temperaturi inertan plin, ali na temperaturama zavarivanja, preko 1600 °C se raspada na ugljični monoksid i slobodni kisik, te na taj način postaje aktivan plin. Nastaju reakcije slobodnog kisika i rastaljenog željeza. Tom reakcijom nastaje FeO koji narušava mehanička svojstva zavara te daljnim reakcijama dovodi do nastanka poroznosti zavarenog spoja. Zbog toga dodatni materijali za MAG postupak veće količine dezoksidansa koji će s kisikom tvoriti stabilnije oksidne spojeve. Ti oksidi se izlučuju kao tanki sloj troske. Time je smanjena mogućnost grešaka u zavarenom spoju. [1]

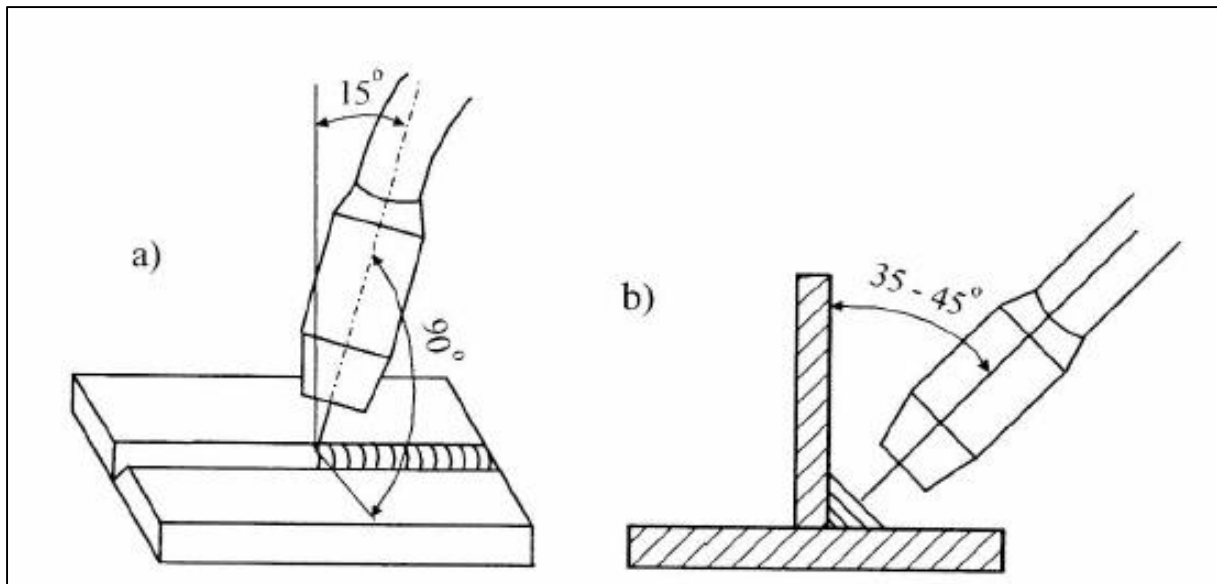
4.3.3 Parametri MAG zavarivanja

Najvažniji parametri koji utječu na kvalitetu zavarenog spoja MAG postupkom su: jakost struje, promjer žice, napon, brzina zavarivanja, duljina slobodnog kraja žice i količina

zaštitnog plina. Optimalni parametri zavarivanja se najbolje postižu probno. Najčešće korištene jakosti su 120 – 300 A. Optimalna vrijednost jakosti se određuje ovisno o debljini osnovnog materijala, vrsti spoja, položaju izvođenja i promjeru dodatnog materijala. Jakost struje se regulira izborom brzine dodavanja žice. Povećanje jakosti dovodi do povećanja penetracije i učinkovitosti taljenja. Zbog toga nije poželjno koristiti previsoke jakosti struje jer to dovodi do povećanog prskanja tokom zavarivanja. [1]

Korištenje žica većeg promjera dovodi do većeg učinka taljenja, ali je potrebo koristiti struje većih jakosti. U literaturi i priručnicima postoje upute za izbor jakosti struje, to ovisi o promjeru žice. Kod konstantne jakosti struje veći učinak taljenja i penetracije se ostvaruje primjenom dodatnog materijala manjeg promjera. Širi zavar se ostvaruje primjenom žice većeg promjera. Uz određene jakosti potrebno je izabrati optimalni napon električnog luka. Primjenom niskog napona dobiva se uzak i ispupčen zavar dok se primjenom jako visokih napona dobiva širok i nizak zavar, te dovodi do velikog prskanja materijala i loših mehaničkih svojstava spoja. Napon luka ovisi o duljini luka (za duži luk, potreban je veći napon). Izjednačavanjem brzine dobave i taljenja dodatnog materijala duljina električnog luka postaje stabilna. Do velikih promjena jakosti struje može doći zbog malih promjena duljina luka, kao što je npr. drhtanje ruke. To dovodi i do promjene brzine taljenja. Ukoliko se koristi preveliki napon ili duljina luka, dolazi do neželjene pojave smanjenja zaštite rastaljenog materijala, što dovodi do loših mehaničkih svojstava zavara. Zbog ostvarenja boljih mehaničkih svojstava zavarenog spoja, za jakost je poželjno odabrati najniži napon električnog luka. U literaturi su za različite promjere žice navedeni odnosi jakosti struje i napona. [1]

Važno je uspostaviti optimalan odnos između količine taline i brzine zavarivanja. Prevelika količina taline, a mala brzina zavarivanja i obrnuto dovode do naljepljivanja kao jedne od pogrešaka karakterističnih za MAG postupak. Pri sučeonom zavarivanju pištolj je potrebno držati nagnutim pod kutem od 15° od okomite osi, a kod kutnog zavarivanja pod kutem od $35-45^\circ$ (slika 4.4). Takvim položajem pištolja osigurana je dobra kontrola taline i dobar pregled taljenja dodatnog materijala. Veliki nagib može dovesti do slabijeg provara i povećane pojave prskanja, a prilikom toga nastaje velika mogućnost reakcije zraka s rastaljenim materijalom. To također dovodi do pojave poroznosti u zavarenom spoju. [1]

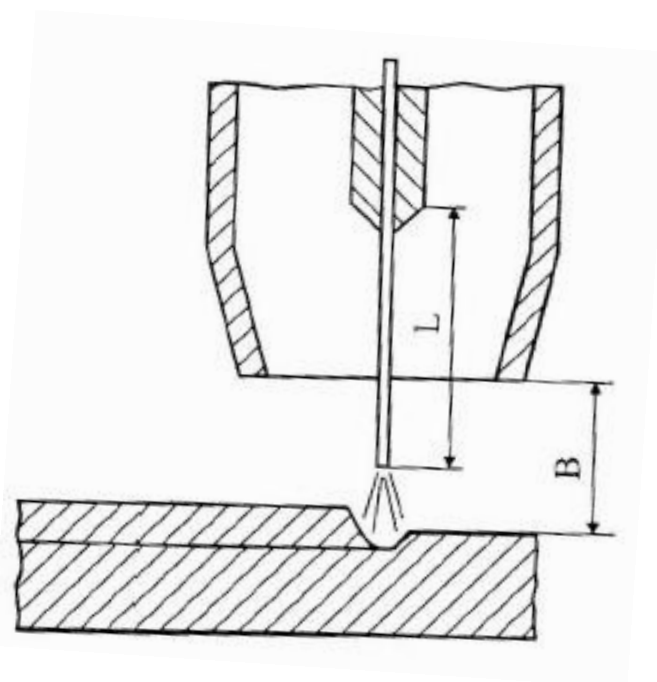


Slika 4.4 Nagib pištolja pri sučeonom (a) i kutnom zavarivanju (b) [1]

Slobodni kraj žice (L) (tablica 4.1) je duljina žice između početka električnog luka (slika 4.5) i izlaza iz kontaktne provodnice. Ta duljina bi trebala biti 13 puta veća od promjera žice, ali nikako ne smije biti veća od 20 mm. Veće odstupanje može dovesti do promjene odnosa napona i jakosti struje. Povećanjem slobodnog kraja žice, povećava se otpor i dolazi do većeg zagrijavanja. To može dovesti do oštećenja sapnice i nepovoljnog vrtloženja zaštitne atmosfere u koju lakše dolazi do ulaska zraka. [1]

Tablica 4.1 *Duljina slobodnog kraja žice i razmak sapnice od mjesta zavarivanja kod MAG zavarivanja*

Jakost struje, A	Duljina slobodnog kraja žice (L), mm	Udaljenost sapnice (B), mm
50	5	10
100	6	10
150	8	10
200	10	10
250	12	12
300	14	12
350	17	12
400	20	12

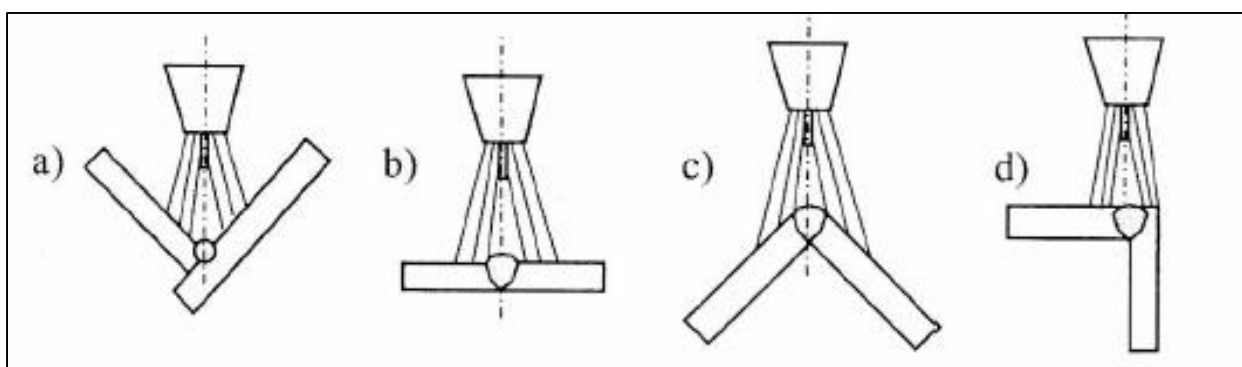
Slika 4.5 *Shematski prikaz slobodnog kraja žice* [1]

Količina zaštitnog plina ovisi o više faktora. To su: promjer dodatnog materijala, jakost struje, oblik zavarenog spoja, mjesto i uvjeti zavarivanja (tablica 4.2). Kod primjene kratkog i prijelaznog luka optimalna potrošnja treba iznositi 10 puta promjer žice, ali izraženo u litrama. Potrošnja plina je veća kod štrcajućeg i impulsnog luka. [1]

Tablica 4.2 Ovisnost potrošnje plina o promjeru žice [1]

Promjer žice, mm	Potrošnja plina, l/min
0,8	6-8
1,0	8-10
1,2	10-12
1,6	14-16

Pri zavarivanju na otvorenom prostoru dolazi do povećane potrošnje plina. Kod zavarivanja kutnih zavora (slika 4.6a) u žlijebu potrošnja plina je manja nego kod kutnih i sučeonih spojeva (slika 4.6b). Do najveće potrošnje plina dolazi kod zavarivanja kutnih zavora (slika 4.6c, slika 4.6d) s vanjske strane. Ukoliko dođe do premale količine zaštitnog plina, može doći do pojave poroznosti zavarenog spoja, a kod prevelike količine dolazi do mješanja plina, te je zaštita slabija, a to također dovodi do poroznosti. [1]



Slika 4.6 Utjecaj vrste spoja na potrošnju plina [1]

Za odabir optimalnih parametara zavarivanja potrebno je poštivati određeni redosljed. Prvo se bira promjer žice, zatim jakosti struje i napon električnog luka. Uspostavljenjem luka, nastaje radna točka. Tada se približno odabire brzina dodavanja žice i traži se odgovarajući

položaj radne točke koji se prepoznaje po mirnom i ravnomjernom održavanju električnog luka, te manjem prskanju materijala. Regulacijom napona se traži idealna radna točka kojoj je karakteristika miran i stabilan električni luk koji rezultira kvalitetnim zavarenim spojem. Potrebno je paziti i na ostale faktore kao što je udaljenost sapnice, duljina slobodnog kraja žice, nagib zavarivanja, količina zaštitnog plina. [1]

4.3.4 Materijali za MAG postupak zavarivanja

U zaštitnoj atmosferi od ugljičnog dioksida zavaruju se ugljični i niskolegirani čelici. Koriste se i plinske mješavine Ar + 35-75% He za sve metale, posebice za Al, Cu i Ni; Ar + 0,5% O₂ za nelegirane i niskolegirane čelike; Ar + 5-10% H₂ za visokolegirane CrNi čelike; Ar + 25-30% N₂ za bakar i njegove legure; Ar + 20-50% CO₂ za nelegirane i niskolegirane čelike; 79% Ar + 15% CO₂ + 6% O₂ za nelegirane i niskolegirane čelike (slika 4.7). [1]



Slika 4.7 Primjer plinske mješavine za MAG postupak

Za izradu čeličnih konstrukcija postupkom zavarivanja najčešće se koriste nelegirani čelici koji sadržavaju manje od 0,25 % ugljika. Zavaruju se MAG postupkom bez predgrijavanja bez većih problema. Kod zavarivanja debljih limova s većim udjelom ugljika poželjno je provesti predgrijavanje, pogotovo ako se radi na niskim temperaturama. Predgrijavanje se također provodi kod limova koji nisu propisno uskladišteni ili su stajali na otvorenom, kako bi se uklonila vlaga. MAG postupkom se mogu zavarivati niskolegirani i mikrolegirani finoizrani konstrukcijski čelici, ali zahtjevaju uvjete kao što su: pravilan izbor dodatnog materijala, predgrijavanje, kontrolirano odvođenje topline, čistoća mjesta zavara, žice i zaštitnog plina, te provođenje toplinske obrade nakon zavarivanja. [1]

4.3.5 Prednosti i nedostaci postupka

Najčešće pogreške u zavarenom spoju MAG postupkom su poroznost, nepotpuno spajanje, naljepljivanje, uključci i pukotine. Do pojave poroznosti dovode sljedeće uzroci: nečistoće na mjestu zavarivanja, nečista površina žice i sapnice, nejednolično dovođenje žice, vlaga u zaštitnoj atmosferi, neodgovarajući nagib pištolja, preniska ili previsoka količina zaštitnog plina, preveliki napon i jakost struje itd. Naljepljivanje nastaje zbog premale jakosti struje, neodgovarajuće brzine zavarivanja, premali kut ili neravna površina žlijeba itd. Do pojave uključaka dolazi zbog nekvalitetne pripreme spoja i nečistoća. MAG postupak je često primjenjiv zbog visokog koeficijenta taljenja, dobre penetracije, velika brzina zavarivanja, mehanizirano dodavanje žice, jednostavna upotreba opreme, dobra preglednost mjesta zavarivanja.

4.3.6 Korišteni materijali i parametri zavarivanja

Osnovni materijali kod zavarivanju su bili cijev kvadratnog presjeka 140x140 mm i pločasti materijal debljine stjenke 20 mm. Korišten je čelik St37-2. To je toplovaljani nelegirani konstrukcijski čelik. Prilikom MAG zavarivanja korištena je mješavina plinova koja se sastoji od 18% ugljičnog dioksida i 82% argona (MAGM postupak) (slika 4.7), koja je po literaturi preporučena za zavarivanje debelih nelegiranih limova. Kao dodatni materijal kod zavarivanja korištena je žica ESAB OK AristoRod 12.63 promjera 0,8 mm. Uređaj za zavarivanje je također bio od proizvođača ESAB Origo MIG 400II (slika 4.8) te automatski dodavač žice Aristo Feed 3004. Prilikom impulsnog zavarivanja brzina dodavanja žice je bila 7,2 m/min i napon od 19 V (slika 4.9). Jakost struje pri ovim parametrima je dostizala vrijednosti od 130A.

Prilikom samog postupka zavarivanja nije dolazilo do uočljivih grešaka u zavarenom spoju. Jedini problem je nastao zbog velikog unosa topline i velike duljine izrađivanog proizvoda, a to je deformacija. Zbog unosa topline na mostu se pojavio progib od 10 mm. Problem deformacije je riješen zagrijavanjem mosta u dvije točke plinskim plamenom.

Točnost dimenzija mosta, a i same laserske rezačice će se osigurati strojnom obradom mosta. Zbog toga je bilo potrebno ostaviti dodatke za obradu. Zbog unosa topline i zaostalih naprezanja bilo je potrebno izvršiti toplinsku obradu žarenjem.



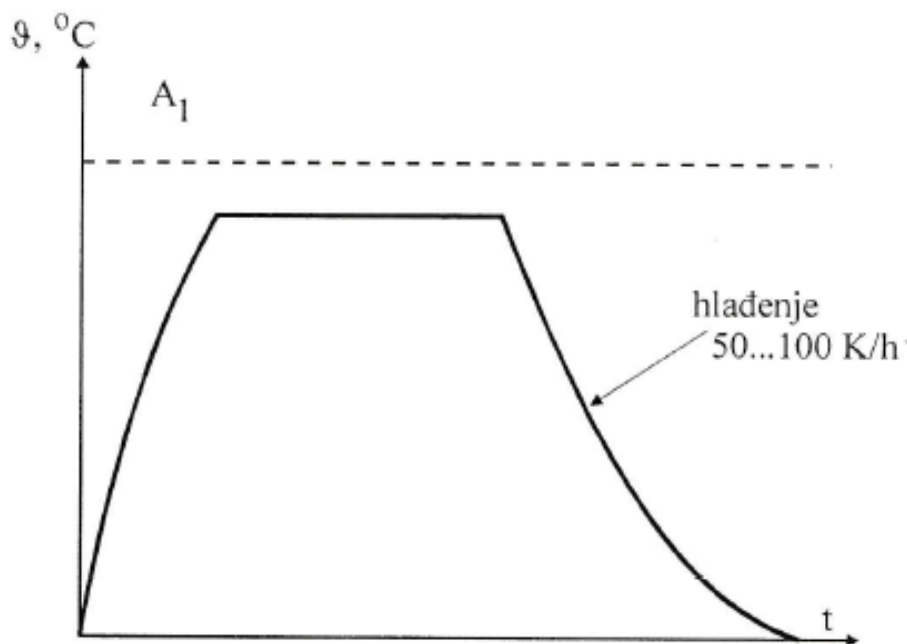
Slika 4.8 ESAB Origo MIG 400II



Slika 4.9 Podešeni parametri zavarivanja

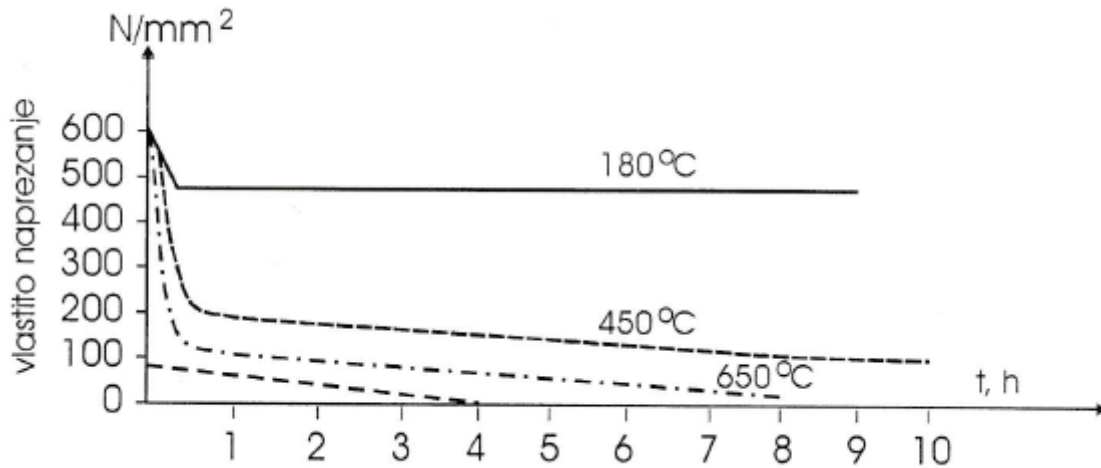
4.4 TOPLINSKA OBRADA

Zbog zaostalih naprezanja koja su nastala zbog unosa topline, potrebno je provesti toplinsku obradu žarenjem. Provodi se dugim držanjem te odgovarajućim hlađenjem bez bitnih strukturnih promjena. Zaostala naprezanja su takva naprezanja koja postoje u proizvodu čak i kada se uklone vanjska opterećenja. Ona nastaju u proizvodima nakon ohlađivanja pri nekim postupcima toplinske obrade, zavarivanja, toplog oblikovanja deformiranjem, lijevanja itd. Također se mogu pojaviti nakon izloženosti vibracijama, nakon obrade odvajanjem čestice, kada je došlo do trajne deformacije predmeta. Naprezanja mogu biti posljedica austenitnog raspada. Dovode do lošeg utjecaja na konstrukcije, tako što smanjuju nosivost. Vrlo često nije poznat smjer djelovanja napetosti. Mogu dovesti do trajnih deformacija konstrukcije. Zbog toga ih je potrebno reducirati, čak i ako postoji samo sumnja u postojanje zaostalih naprezanja. Žarenje za redukciju zaostalih naprezanja provodi se ugrijavanjem nekog dijela na 550 - 700 °C (slika 4.10). Temperatura na koju će se ugrijavati ovisi o materijalu, obliku, namjeni i osjetljivosti dijela na deformacije. [6]



Slika 4.10 Opći dijagram postupka žarenja za redukciju napetosti [6]

Nakon žarenja, hlađenje se mora provesti sporo, da bi se smanjile temperaturne razlike po presjeku, a time se izbjegavaju nova zaostala naprezanja (slika 4.11). [6]

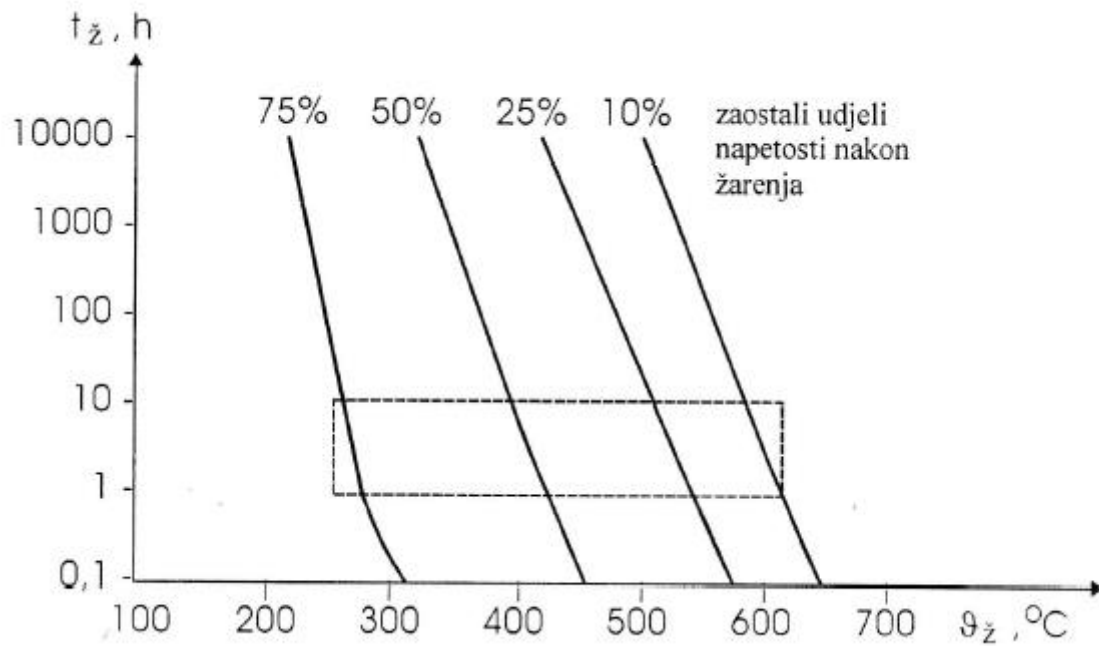


Slika 4.11 Utjecaj temperature i trajanja žarenja na udio ukinutih vlastitih naprezanja [6]

Ovu toplinsku obradu je najbolje provoditi žarenjem u pećima sa strujanjem zraka, ali je dijelove potrebno zaštititi od oksidacije. Zaštita se provodi pakiranjem u metalne kutije, te zasipanjem odvojenim česticama od sivog lijeva, koksom ili papirom. Kutija mora biti hermetički zatvorena. Novije peći mogu koristiti zaštitne atmosfere kao što je dušik i argon. Tada dio samostalno stoji u peći. Ovaj postupak se koristi kod proizvoda koji su skloni promjeni oblika kod kaljenja. Ukoliko postoje deformacije koje treba ukloniti odvajanjem čestica, potrebno ih je ukloniti prije ugrijavanja u svrhu kaljenja. Ovaj postupak se koristi i za čelike u poboljšanom stanju. Kako bi se izbjegla promjena strukture potrebno je paziti na sljedeće:

- temperatura žarenja mora biti niža od od temperature prethodnog popuštanja;
- ako je moguće temperatura žarenja treba biti veća od radne temperature dijela
- ako je čelični dio kaljen, potrebno je paziti na mogućnost pojave krhkosti popuštanja,
- ako se žarenje vrši na temperaturama iznad 450 °C. Iz toga je moguće zaključiti da samo čelici legirani molibdenom smiju biti žareni u poboljšanom stanju, a svi se ostali čelici u poboljšanom stanju smiju žariti samo ispod 500 °C. [6]

Orijentacija o režimima ove vrste žarenja slijedi iz slike 4.12 i tablice 4.3. [6]



Slika 4.12 Utjecaj režima žarenja na udio reduciranih početnih naprezanja [6]

Tablica 4.3 Parametri žarenja za redukciju zaostalih naprezanja [6]

Legura	Temperatura žarenja, °C	Trajanje držanja, h
Ugljični čelik, čelični lijev	550...680	2,5 min/mm debljine
Sivi lijev, nodularni lijev	430...600	0,5...5
Mjed	200...260	1
Titanove legure	500...650	0,5...4
Aluminijske legure	230...370	1...5
Magnezijske legure	150...260	1...5
Niklove i monel legure	300	1...5

4.4.1 Opis provedenog postupka i korištenih parametara

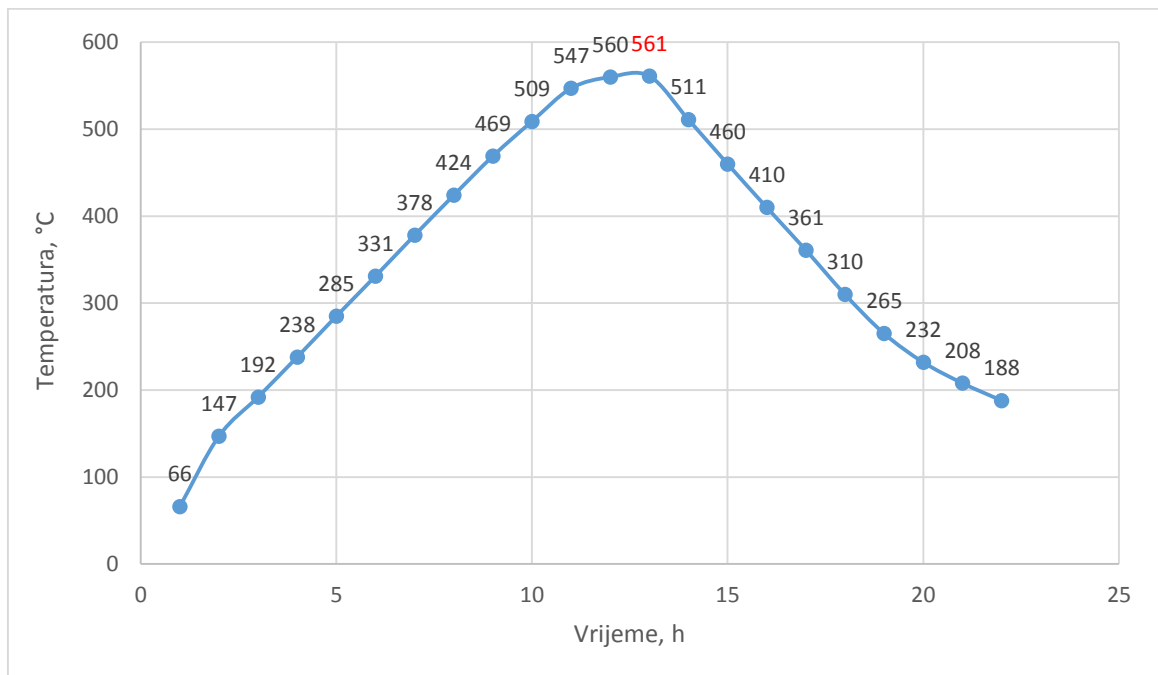
Toplinska obrada mosta provedena je postupkom žarenja u komornoj peći proizvođača „Estherm“ (slika 4.13). U peći je pomoću ventilatora omogućena cirkulacija zraka.



Slika 4.13 Peć za žarenje „Estherm“

Prilikom stavljanja obratka u peć, potrebno ga je pravilno postaviti kako ne bi došlo do pomicanja. Most je u peći zagrijavan 11 sati do temperature 540 °C, zatim je zagrijavanje usporeno te je 2 sata zadržavana temperatura do 561 °C. Tada je započelo sporo hlađenje, koje je trajalo 9 sati do temperature 188 °C. Peć je ugašena i tada je uslijedilo hlađenje do sobne temperature, čime je proces toplinske obrade završio, a predmet je pripremljen za sljedeće obrade (dijagram 4.1).

Dijagram 4.1 Dijagram provedenog žarenja



4.5 PJESKARENJE

Postupak koji se koristi za čišćenje metalnih i drugih površina prije bojanja. Primjenjuje se na način da vrlo brze abrazivne čestice vrtložnim mlazom udaraju u materijal, te skidaju površinski sloj do željene čistoće. Ova tehnologija je vrlo pogodna i za obradu velikih objekata i za rad na terenu. Kao abraziv se najčešće koristi mlaz kvarcnog pijeska iako se u današnje vrijeme izbacuje iz upotrebe zbog svoje štetnosti za zdravlje (uzrokuje tešku bolest silikozu). Štetnost po zdravlje se može izbjeći korištenjem odgovarajuće radne opreme i uređaja (slika 4.14). Ova metoda je vrlo brza i znatno jeftinija od ostalih tehnologija mehaničkog čišćenja površine. Uređaji mogu biti zatvorenog (komornog) i otvorenog tipa. Nedostatak pjeskarenja je ostvarivanje hrapavosti površine.



Slika 4.14 Uređaji za pjeskarenje [7]

Pjeskarenje mosta je provedeno kako bi se površina očistila od masnoća, nečistoća i ogorina (slika 4.15). Ogorine mogu nastati tokom toplinske obrade žarenjem te može doći do ljuaskanja površinskog sloja. Uredno pripremljena površina je nužno potrebna kako bi se osiguralo dobro prijanjanje boje kao zaštitnog sloja.



Slika 4.15 Primjer pjeskarene površine [8]

Površine koje se strojno obrađuju nije potrebno pjeskariti.

4.6 STROJNA OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA GLODANJEM, BUŠENJEM I NAREZIVANJEM NAVOJA

Tehnologija obrade odvajanjem čestica sastoji se od niza postupaka obrade. Njima se oblik radnog predmeta dobiva skidanjem materijala, za razliku od drugih tehnologija kod kojih se obrada ostvaruje samo preoblikovanjem. Ova tehnologija polazi od sirovine ili od priprema dobivenog drugim tehnologijama poput lijevanja, zavarivanja ili kovanja. Zatim se primjenom tehnoloških znanja i raspoloživih sredstava za rad projektiraju operacije ili faze kroz koje obrada treba proći da bi se dobio gotov strojni dio zadane geometrije, točnosti i kvalitete obrađene površine. [9]

Postupci obrade odvajanjem čestica uglavnom se dijele na konvencionalne i nekonvencionalne. Pod konvencionalnim postupcima podrazumjevaju se oni postupci koji koriste mehaničko razdvajanje i rezanje (bušenje, brušenje, tokarenje, glodanje, rezanje, provlačenje, izrada navoja, honanje, lepanje, superfiniš), dok su nekonvencionalni postupci oni kod kojih se ne primjenjuje rezna oštrica (rezanje mlazom vode, rezanje abrazivnim mlazom, ultrazvučna obrada odvajanjem čestica, obrada odvajanjem čestica laserom, elektroerozija, obrada plazmom, elektrokemjska obrada). [10]

Za obradu mosta CNC laserske rezačice nakon izvršene toplinske obrade žarenjem korišteni su konvencionalni postupci. Za obradu je bilo potrebno provesti operacije glodanja, bušenja i narezivanja navoja. Sve potrebne operacije provedene su na dva CNC stoja, horizontalnoj i portalnoj glodalici.

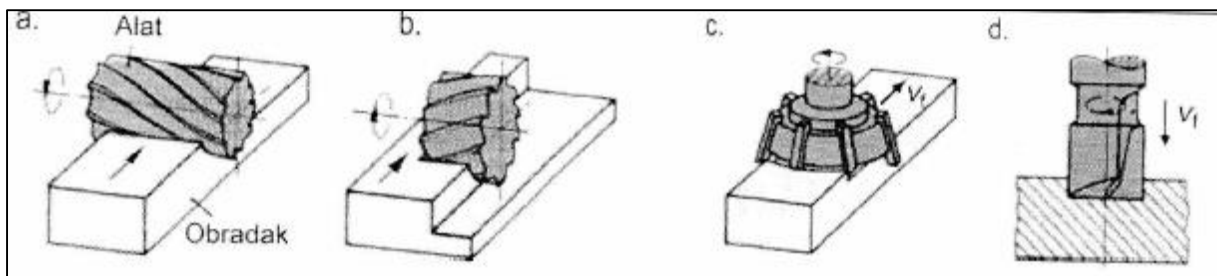
4.6.1 Općenito o glodanju

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica kod kojeg je glavno gibanje kružno i izvodi ga alat, dok je pomoćno gibanje koje izvodi obradak pravocrtno. Ovom obradom postiže se visoka produktivnost strojne obrade i široka iskoristivost u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Glodanjem se postižu točnosti obrade IT9 do IT15, a ako se na glodalu koriste pločice od tvrdog metala onda za jednu kvalitetu bolje. [9]

Izvodi se na alatnim strojevima, koji mogu biti glodalice ili obradni centri. Prema položaju osi vrtnje glodala, glodanje se dijeli na horizontalno i vertikalno. Horizontalno glodanje. Horizontalno glodanje se izvodi na horizontalnim , a verikalno na vertikalnim glodalicama. Postoji više vrsta glodanja:

- Prema kvaliteti obrađene površine: grubo, završno i fino,
- Prema kinematici postupka: istosmjerno i protusmjerno (slika 4.23),
- Prema položaju reznih oštrica na glodalu: obodno i čeono (slika 4.22),
- Prema obliku obrađene površine: ravno, okretno, profilno, odvalno i oblikovno. [11]

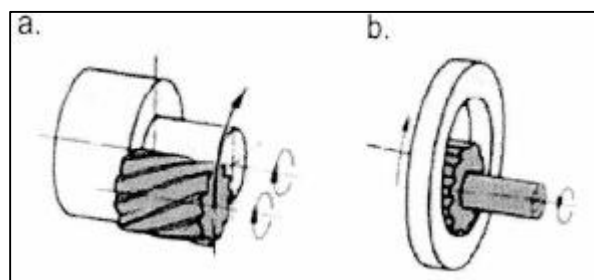
Ravno glodanje: to je glodanje s pravocrtnim posmakom pri obradi ravne površine. Dijeli se na: obodno, obodno-čeono, čeono uzdužno i čeono aksijalno (posmak je aksijalan), slika 4,16. Pojam obodno i čeono znači da se obrada izvodi obodom odnosno čelom glodala. [11]



Slika 4.16 Ravno glodanje

a. obodno, b. obodno-čeono, c. čeono-uzdužno, d. čeono-aksijalno [11]

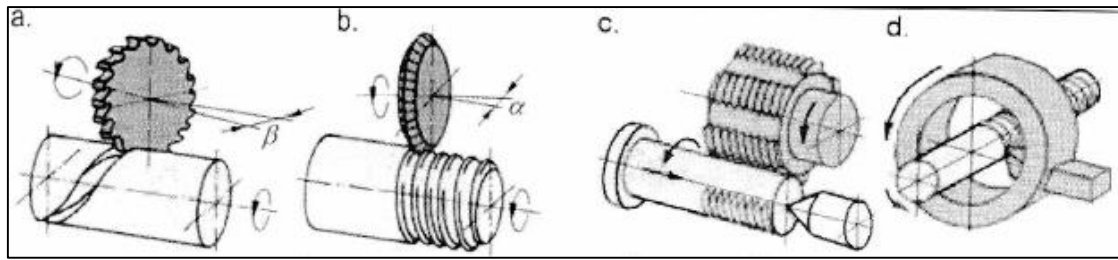
Kružno glodanje: to je glodanje s kružnim posmakom pri obradi kružne valjkaste površine. Dijeli se na: vanjsko i unutrašnje kružno glodanje, slika 4.17. [11]



Slika 4.17 Kružno glodanje

a. vanjsko, b. unutrašnje [11]

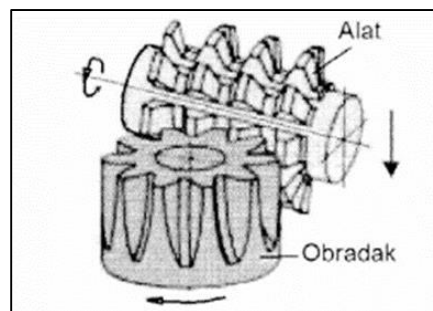
Zavojno glodanje: to je glodanje sa zavojnim posmakom pri obradi zavojne površine. Dijeli se na zavojno glodanje: zavojnih utora, navoja veće dužine, navoja kraće dužine i navoja ekscentričnim (virbeln) postupkom, slika 4.18 . [11]



Slika 4.18 Zavojno glodanje

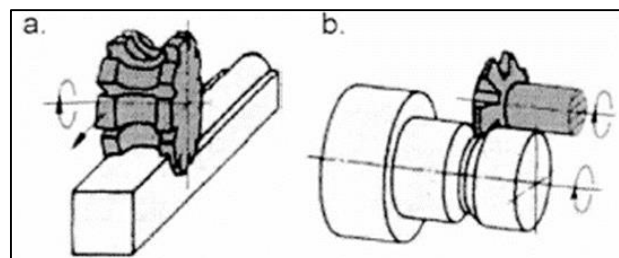
a. utora, b. navoja-dugog, c. navoja-kratkog, d. ekscentrično (wirbeln) [11]

Odvalno glodanje: za vrijeme obrade alat (odvalno glodalo u obliku pužnog kola) izvodi glavno gibanje (vrtnju) i pomoćno pravocrtno gibanje uzduž osi obratka. Obradak izvodi drugo pomoćno gibanje (vrtnju). Rezni zubi alata koji je spregnut s obratkom, svojim referentnim profilom u obliku zubne letve odvaja čestice i ostvaruje relativno kotrljanje s obratkom (zupčanikom), slika 4.19. Prema tome, alat i obradak u kinematskom smislu djeluju kao puž i pužno kolo. [11]



Slika 4.19 Odvalno glodanje ozubljenja (metoda Pfauter) [11]

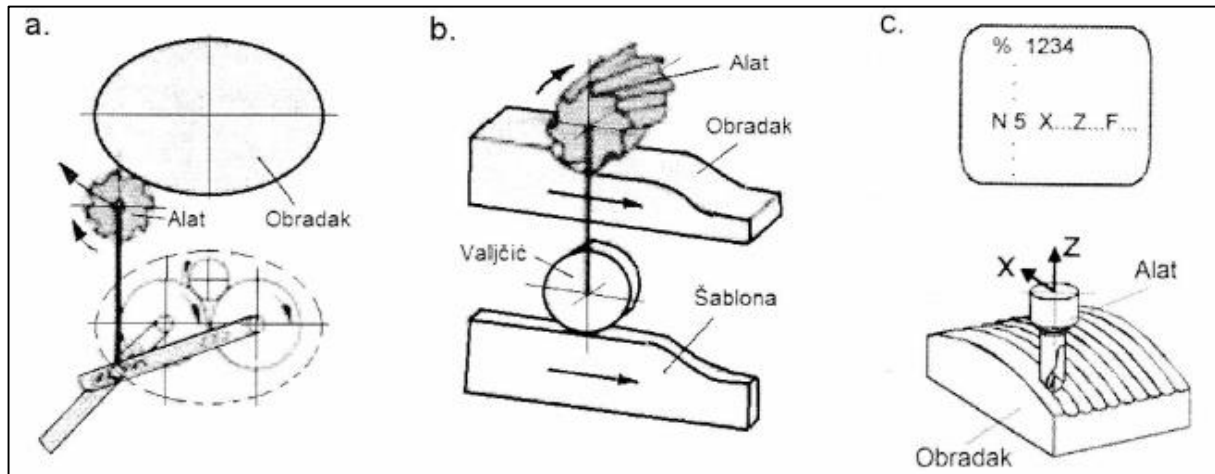
Profilno glodanje: to je glodanje pri kojem se profil alata koji leži u aksijalnom presjeku alata preslikava na obradak. Podjela profilnog glodanja: pravocrtno, kružno, slika 4.20. [11]



Slika 4.20 Profilno glodanje

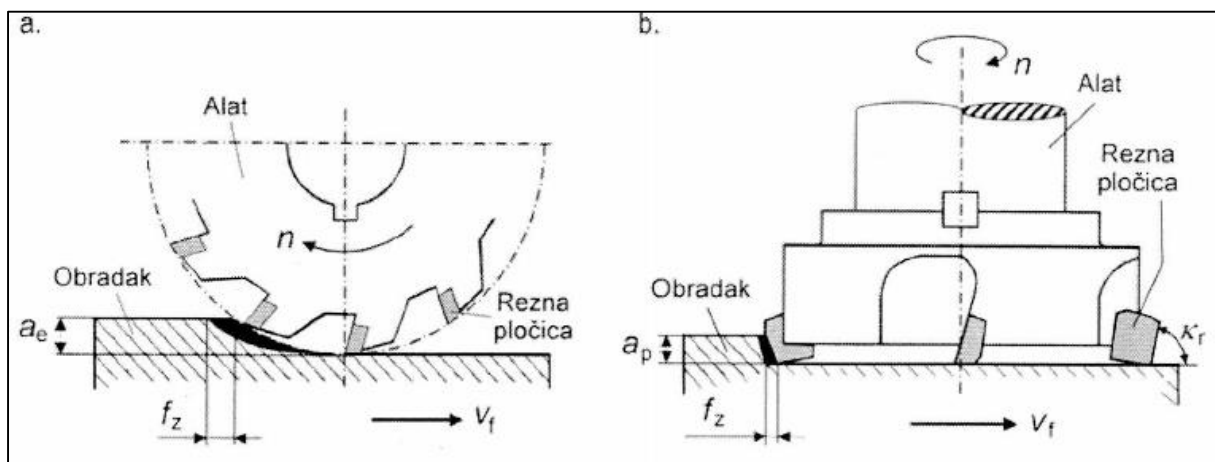
a. pravocrtno, b. kružno [11]

Kopirno glodanje: to je glodanje kod kojega se upravlja posmakom u jednoj ili više osi u svrhu izrade tražene površine obradka. Podjela kopirnog glodanja: kinematsko (ostvaruje se pomoću kinematskog mehanizma), pomoću šablone i CNC kopirno glodanje, slika 4.21. [11]



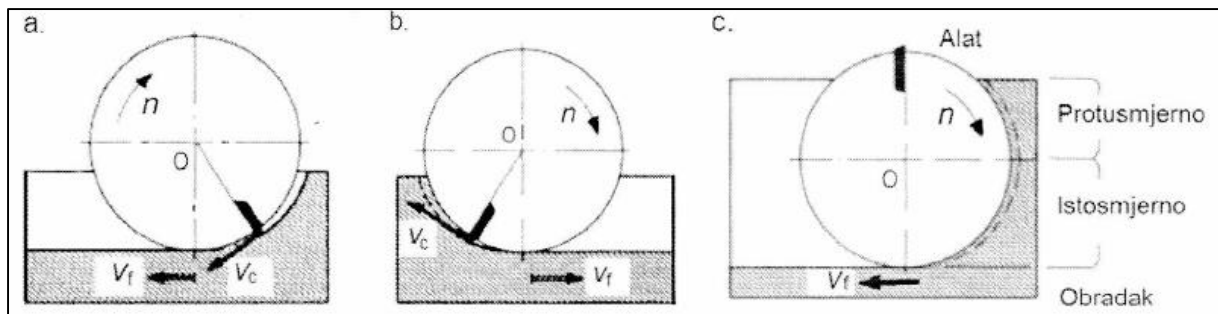
Slika 4.21 Kopirno (oblikovno) glodanje

a. kinematsko, b. pomoću šablone, c. CNC kopirno glodanje [11]



Slika 4.22 Prikaz obodnog i čeonog glodanja

a. obodno glodanje, b. čeonog glodanje [11]



Slika 4.23 Istosmjerno i protusmjerno glodanje kod ravnog čeonog uzdužnog glodanja [11]

Glodala su složeni alati s više reznih zubi odnosno oštrica. Svaki zub je sličan tokarskom nožu. Glodalo se simbolički može smatrati kao jedno kružno tijelo po čijem su obodu ili čeonj površini usađeni tokarski noževi. Dije se dijele prema više kriterija, uglavnom prema obliku ili namjeni: valjkasta, čeona, vretenasta s ravnom ili loptastom čelnom plohom, pločasta s pravokutnim ili profilnim poprečnim presjekom, pilasta glodala, odvalna glodala te glodala posebnih oblika. Rezni dio glodala izrađuje se od materijala koji mora biti znatno tvrdi od materijala koji se obrađuje. Najčešće se koriste brzorezni čelici, tvrdi metal, cermet, keramika, kubni bor nitrid. Cijelo glodalo se izrađuje od brzoreznog čelika. [11]

4.6.2 Bušenje

Bušenje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se koristi pri izradi provrtnih promjera ili za proširivanje na veće provrte. Izrađuje se na različitim strojevima. Uglavnom se izvodi na bušilicama, ali je često izvođenje i na glodalicama, tokarilicama i obradnim centrima. Alat izvodi glavno gibanje, samo u pravcu osi vrtnje koji je identičan s osi obrađene unutrašnje površine.[11]

Najčešće se izvodi spiralnim svrdlom i najviše je promjenjivani postupak obrade rezanjem. Kod svakog bušenja potrebno je definirati parametre ili režime rada. Brzina rezanja v_c je obodna brzina na svrdlu. Ona ovisi o materijalu koji se obrađuje. Različiti materijali imaju različite brzine rezanja. Brzina također ovisi i o alatu kojim se buši, o potrebnom stanju površine nakon bušenja, hlađenju, snazi stroja, posmaku itd. Parametri se mogu određivati uz pomoć dijagrama ili se mogu izračunati pomoću računalnih programa. Posmak v_f (mm/min) je relativna brzina gibanja alata prema obratku koje je kod bušenja uvijek u pravcu osi rotacije. To je brzina ulaza alata u materijal. Posmak po okretaju f_n (mm/okr) definira se kao aksijalni pomak alata tijekom jednog okretaja. Koristi se za računanje dubine penetracije te za definiranje posmaka bušenja. [11]

Danas se osim standardnih spiralnih svrdala upotrebljavaju i svrdla s izmjenjivim reznim pločicama (slika 4.24 i slika 4.25). Time se naravno povećava kvaliteta same obrađene površine, a i smanjuju troškovi alata radi toga što se prilikom istrošenja rezne pločice ne mora zamjeniti i držač već samo pločica (ili više njih, ovisi o izvedbi alata za bušenje). [10]



Slika 4.24 Svrlo sa izmjenjivim reznim pločicama [12]



Slika 4.25 Spiralno svrdlo [13]

4.6.3 Urezivanje navoja

Urezivanje navoja je postupak obrade koji se izvodi ručno ili strojno. Pri tome se ureznikom u pripremljenom provrtu obrađuje unutrašnji navoj koji je koaksijalan sa osi vrtnje alata. Ureznik istovremeno izvodi glavno kružno gibanje i pomoćno pravocrtno gibanje u pravcu osi vrtnje s posmakom jednakim koraku navoja. Za izbor postupka obrade u vidu je potrebno imati: obradivost materijala, broj provrta za obradu, kvalitetu obrade, vrstu provrta i vrstu navoja. [11]

Vrste ureznika:

- strojni

- ručni
- utiskivači navoja u tankim stjenkama [11]

4.6.4 Sustav hlađenja i podmazivanja

Sustav za hlađenje i podmazivanje kao što im samo ime kaže služi za hlađenje i podmazivanje radnog predmeta i oštrice alata. Primjenom sustava za hlađenje i podmazivanje povećava se kvalitete obrađene površine i povećava se vijek trajanja alata. U nekim slučajevima bušenja sredstvo za hlađenje i podmazivanje se dodaje pod velikim tlakom kroz prikladni dovod u alatu, to sredstvo također služi i da bi ispralo odvojene čestice iz samog provrta koje su posljedice obrade. U nekim ekstremnim slučajevima sredstvo za hlađenje i podmazivanje se dovodi pod tlakovima većim od 300 MPa, a prednost takvog dovođenja je veća brzina obrade, time i veća proizvodnost. Jedan od najbitnijih kriterija kod mnogih operacija obrade odvajanjem čestica je prihvatljiva kontrola odvojenih čestica koja uključuje formiranje sloja odvojenih čestica, njegovo odvođenje i mogućnost lomljenja. Proizvodnost je pod jakim utjecajem slabe kontrole odvojenih čestica jer se alat mora često zaustavljati da bi se ručno odstranile odvojene čestice koje se nalaze u radnoj okolini. Taj problem postaje još veći kada se radi o bušenju otvora relativno malog promjera, jer ograničeni prostor jako brzo postaje zapunjen i postoji mogućnost da odvojene čestice oštete novoobrađenu površinu. [14]

Glavne prednosti primjene sredstava za hlađenje i podmazivanje:

Podmazivanje - smanjuje se sila na nosaču rezne pločice radi primjene

odgovarajućeg sredstva za hlađenje i podmazivanje

- podmazuje se klizanje odvojenih čestica preko rezne pločice
- smanjuje se koeficijent trenja u točki dodira alata i odvojenih čestica
- smanjuje se trošenje oštrice (brida) rezne pločice

Hlađenje - smanjuje se temperatura rezne pločice prilikom rezanja

- smanjuje se iskrivljenje radnog predmeta
- minimaliziraju se promjene u dimenzijama predmeta

Poboljšanje kvalitete obrađene površine - odvođenje topline i smanjenje trenja

pomažu u postizanju bolje kvalitete i

postojanosti obrađene površine

Povećava se trajnost alata - odvođenje topline i smanjenje trenja uzrokuju

produljenje vijeka trajanja rezne pločice [14]

Vrste SHIP-a:

- Tekućine koje imaju primarno svojstvo hlađenja, a sekundarno svojstvo podmazivanja. Ovdje pripadaju sredstva koja se miješaju s vodom (emulzije)
- Tekućine koje imaju primarno svojstvo podmazivanja, a sekundarno svojstvo hlađenja. U ovu skupinu pripadaju mineralna, masna, miješana ulja i sl. [11]




Vrste SHIP-a prema sastavu:

- uljne emulzije
- sintetička sredstva
- polusintetička sredstva
- sredstva na bazi soli
- rezna ulja [11]




4.7 KORIŠTENI STROJEVI, ALATI I PARAMETRI OBRADNE NA GLODALICAMA

U tablicama 4.4 i 4.5 prikazani su korišteni strojevi i alati.



Tablica 4.4 Portalna glodalica i korišteni alati

	<p>Hurco DCX32i</p> <p>Portalna glodalica</p>
	<p>Ureznik M8</p>
	<p>Čeono glodalo, glava Ø63, 5 reznih oštrica, izmjenjive pločice</p>




Tablica 4.4 Portalna glodalica i korišteni alati (nastavak 1)

	Tvrdometalno glodalo Ø10
	Zabušivač Ø3,15
	Svrđlo Ø6,8




Tablica 4.4 Portalna glodalica i korišteni alati (nastavak 2)

		Upuštač, dvije oštrice
		Čeono glodalo Ø25




Tablica 4.4 Portalna glodalica i korišteni alati (nastavak 3)

		Svrđlo Ø9
		Ureznik M10
		Tvrđometalno glodalo Ø4,2 i Ø4,5



Tablica 4.5 Horizontalna glodalica i korišteni alati

	<p>TOS VARNSDORF – WHN 13</p> <p>Horizontalna glodalica</p>
	<p>Glodalo glava Ø50, 5 reznih oštrica, izmjenjive pločice</p>
	<p>Šliht glodalo Ø16</p>

Tablica 4.5 Horizontalna glodalica i korišteni alati (nastavak 1)

	Zabušivač
	Svrđlo Ø5
	Upuštač za navoj

Tablica 4.5 Horizontalna glodalica i korišteni alati (nastavak 2)

	Ureznik M6
	Glodalo, glava Ø63

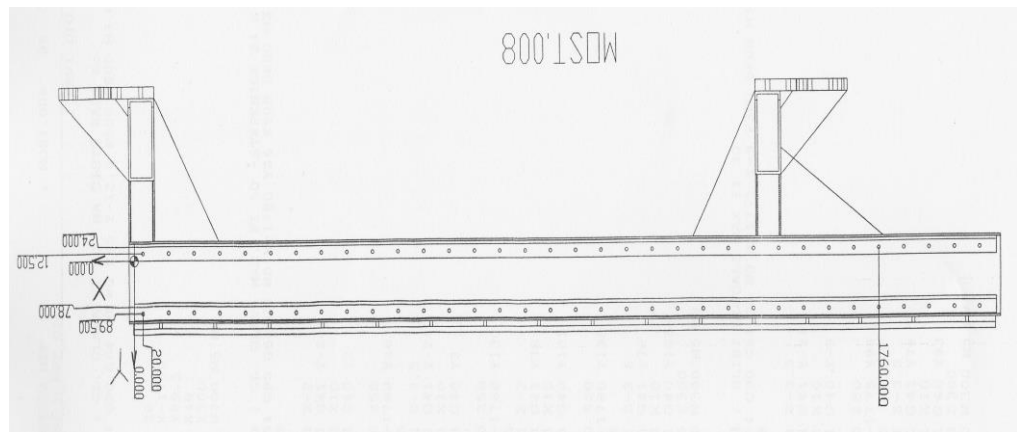
U tablici 4.6, tablici 4.7, tablici 4.8, tablici 4.9, tablici 4.10, tablici 4.11, tablici 4.12 prikazane su operacije koje su izvedene po pojedinom stezanju.

Tablica 4.7 Stezanje br. 2

Strojarski fakultet Slavonski Brod										
RB	20	Zahvat (mjere i tolerancije)	Rezni i mjerni alati, naprave	l	n	f	a _p	i	Stroj: portalna glodalica	
20/1		Priprema								
20/2		Stezanje								
20/3		Izrada stepenice za zupčastu letvu	Tvrdometalno glodalo Ø10	4080	800	500	1	5		
20/4		Zabušivanje rupa	Zabušivač Ø3,15	1	1300	150	1,5	16		
20/5		Bušenje rupe za navoj	Svrđlo Ø6,8	9	800	110	1	16		
20/6		Upuštanje	Upuštač	0,5	700	300	0,5	16		
20/7		Izrada nvoja M8	Ureznik M8	9	200	300	0,6	16		
20/8		Otpuštanje								

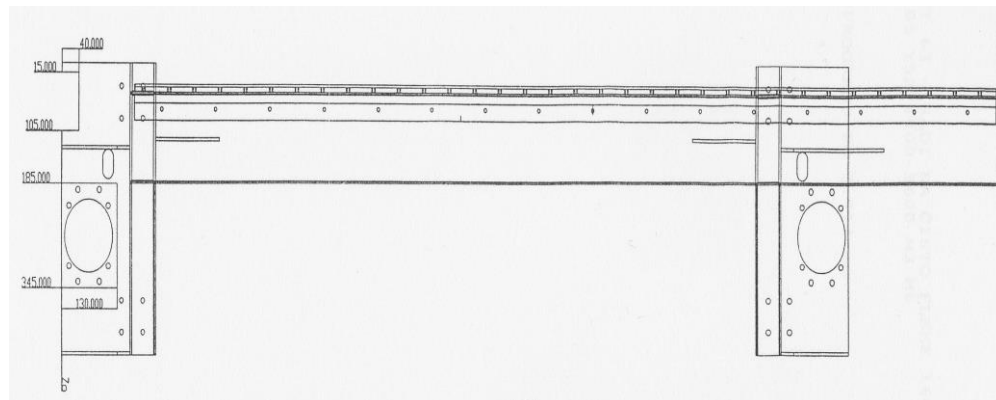
Tablica 4.8 Stezanje br. 3

Strojarski fakultet Slavonski Brod		Zahvat (mjere i tolerancije)	Rezni i mjerni alati, naprave	l	n	f	a _p	i
RB	30							
Stroj: horizontalna glodalica		30/1	Prisprema					
		30/2	Stezanje					
		30/3	Glodanje na mjeru	40	800	500	1	2
		30/4	Glodanje stepenice	2040	800	500	1,75	2
		30/5	Glodanje na mjeru	2040	800	300	0,1	2
		30/6	Zabušivanje	1	800	100	1,5	72
		30/7	Bušenje	10	800	100	2,5	72
		30/8	Upuštanje	0,5	700	300	0,5	72
		30/9	Urezivanje navoja	10	200	200	0,5	72
		30/10	Otpuštanje					



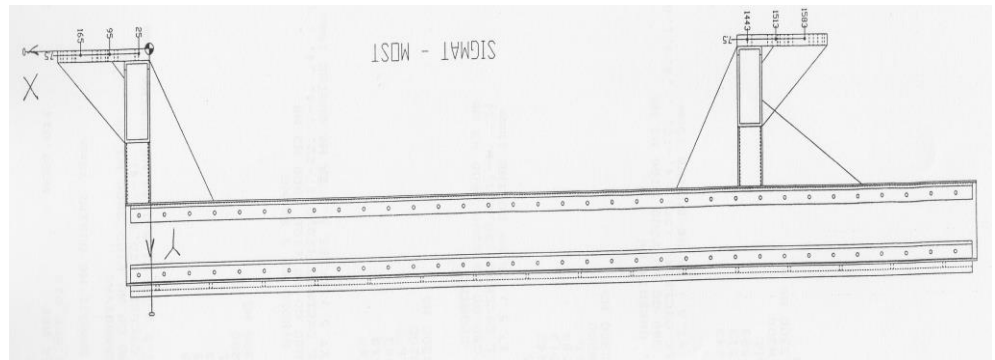
Tablica 4.9 Stezanje br. 4

Strojarski fakultet Slavonski Brod		Zahvat (mjere i tolerancije)	Rezni i mjerni alati, naprave	l	n	f	a _p	i
RB	40							
Stroj: horizontalna glodalica	40/1	Priprema						
	40/2	Stezanje						
	40/3	Izrada otvora 90x90	Glodalo Ø63	40	600	400	2	1
	40/4	Poravnavanje površine 160x130	Glodalo Ø63	160	600	400	3,7	3
	40/5	Otpuštanje						



Tablica 4.11 Stezanje br. 6

Strojarski fakultet Slavonski Brod		Zahvat (mjere i tolerancije)	Rezni i mjerni alati, naprave	l	n	f	a _p	i	
RB	60								
Stroj: horizontalna glodalica		60/1	Priprema						
		60/2	Stezanje						
		60/3	Zabušivanje	Zabušivač Ø3,15	1	800	100	1,5	6
		60/4	Bušenje	Svrđlo Ø5	15	800	100	2,5	6
		60/5	Upuštanje	Upuštač za navoj	0,5	800	200	0,5	6
		60/6	Urezivanje	Ureznik M6	15	200	200	0,5	6
		60/7	Otpuštanje						



4.8 BOJANJE

Nakon pjeskarenja je provedeno bojanje. Poželjno ga je provesti odmah nakon pjeskarenja kako u međuvremenu ne bi došlo do onečišćenja ili pojave korozije na obrađenoj površini. Zaštita je provedena prskanjem boje po pjskarenoj površini. Korištena je temeljna boja za metal Kemolux univerzalna bs-ak, nanešena u dva sloja, razrijeđena s 20% univerzalnog nitro razrjeđivača. Vremenski razmak između nanošenja slojeva bio je 30 minuta.

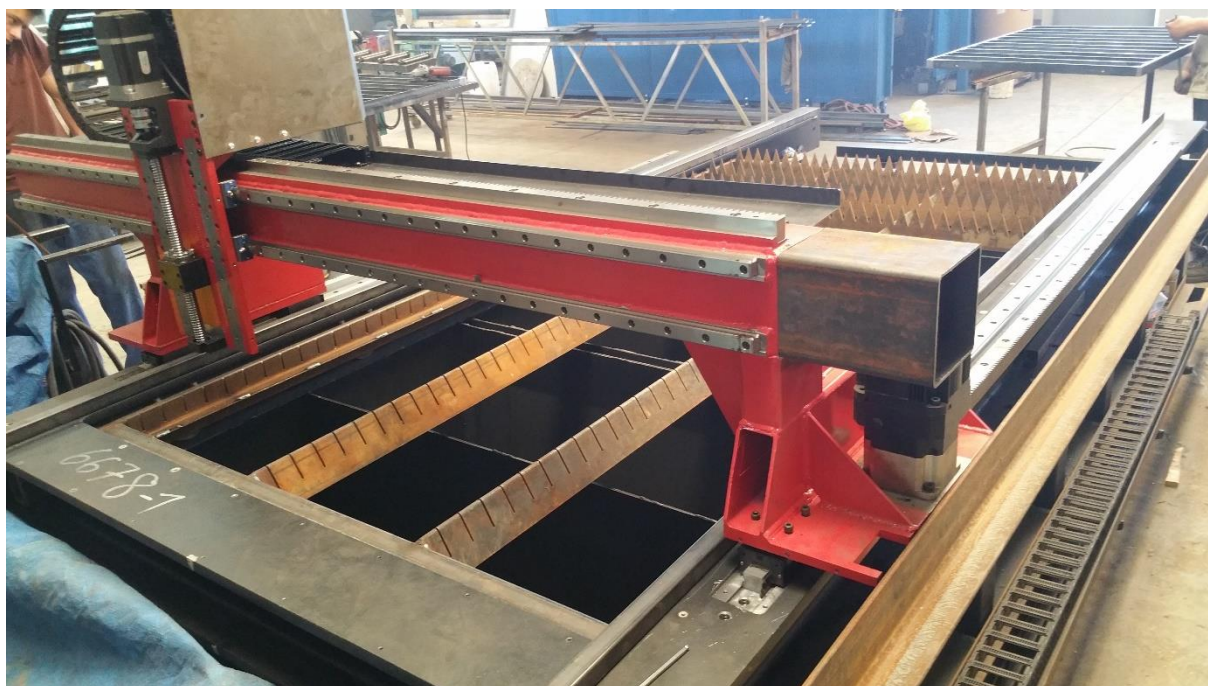
Nakon 24 sata provedeno je prskanje kemocel nitro lakom. Drugi sloj je nanešen jedan sat kasnije. Prelazi lakom moraju biti tanki. Na slici 4.26 prikazan je obojan i strojno obrađen most.



Slika 4.26 Obojani most CNC rezačice

4.9 MONTAŽA

Na most CNC rezačice bilo je potrebno staviti zupčastu letvu i dvije profilne vodilice (slika 4.27). One omogućuju kretanje glave lasera. Prilikom postavljanja potrebno je paziti na toleranciju paralelnosti, osobito kod profilnih vodilica. Čak i manja odstupanja mogu dovesti do problema u budućem radu stroja.



Slika 4.27 Postavljen most CNC rezačice sa zubnom letvom i vodilicama

5 ANALIZA TROŠKOVA

Prije izrade proizvoda, potrebno je napraviti analizu troškova izrade. Kod izračuna troškova i cijena u obzir je potrebno uzeti brojne parametre koji stvaraju utjecaj na vrijednost. U cijeni sata rada je potrebno uvrstiti: cijenu radnog sata radnika, doprinose koje poduzeće podmiruje za svakog zaposlenika, sav potrošeni materijal, amortizaciju strojeva, alata i objekata, potrošenu energiju, željenu dobit, mogućnost pojave izvanrednih troškova, održavanje itd. Također kod cijene materijala, uz samu vrijednost kupljene robe postoje troškovi transporta, skladištenja, vremena utrošenog na izradu transportne i skladišne dokumentacije, knjigovodstvene poslove itd. Proračun treba biti što precizniji i cijene trebaju sadržavati sve stavke troškova, kako bi se uspjela ostvariti dobit uz umjerenu prodajnu cijenu. Jednako tako je potrebno postupiti i ako se proizvod izrađuje za svoje potrebe, kako bi se cijena mogla usporediti s drugim proizvođačima.

Analizom troškova je utvrđeno da je moguće izraditi visokokvalitetni proizvod po cijenama nižim od prodajnih, iako se ne radi o serijskoj proizvodnji. Serijskom proizvodnjom mogu se još niže spustiti troškovi proizvodnje i materijala. Ostvarila bi se manja vremena pripreme po komadu. Također, troškovi kooperacije i strojne obrade bili bi niži. Na taj se način, dobrom cijenom i kvalitetnim proizvodom, može zauzeti visoko mjesto na tržištu.

U izračunu su prikazani troškovi materijala, rada i kooperacije, te ukupni trošak (tablica 5.1, tablica 5.2, tablica 5.3, tablica 5.4, tablica 5.5, tablica 5.6, tablica 5.7, tablica 5.8).

Tablica 5.1 *Troškovi materijala*

Materijal	Količina	Jedinična masa	kn/kg	Iznos (kn)
Cijev 140x140x4	2060 mm	16,7 kg/m	4,41	151,72
Cijev 140x60x5	1000 mm	16,68 kg/m	4,42	64,89
Plosnati čelik 40x20	2060 mm	6,28 kg/m	5,76	74,52
Plosnati čelik 30x12	2060 mm	2,83 kg/m	5,50	32,06
Lim 20 mm	0,25 m ²	160 kg/m ²	4,40	176,00
Lim 5 mm	0,16 m ²	40 kg/m ²	4,60	29,44
Temeljna boja	1 kg	1 kg	47,00	47,00
Lak boja	1 kg	1 kg	53,00	53,00
			UKUPNO:	628,63

Tablica 5.2 Troškovi rada pile

Naziv dijela	Materijal	Količina	Operacije	Vrijeme (min)	Iznos (kn)
Glavna greda	Cijev 140x140x4	1	Rezanje	15	24,90
			Skidanje srha	5	8,30
Stopa	Cijev 140x60x5	2	Rezanje	15	24,90
			Skidanje srha	5	8,30
Vodilica 1	Plosnati čelik 40x20	1	Rezanje	5	8,30
			Skidanje srha	5	8,30
Vodilica 2	Plosnati čelik 30x12	2	Rezanje	5	8,30
			Skidanje srha	5	8,30
				UKUPNO:	99,60

Tablica 5.3 Troškovi rezanja vodom

Naziv dijela	Materijal	Duljina reza	Brzina rezanja	Cijena po radnom satu	Iznos (kn)
Nosači motora	Lim 20 mm	1330 mm	40 mm/m	400,00	527,00
Ukrute	Lim 5 mm	3150 mm	200 mm/m	400,00	105,00
				UKUPNO:	632,00

Tablica 5.4 *Troškovi zavarivanja*

Duljina zavara (m)	Brzina (m/h)	Cijena sata (kn)	Iznos (kn)
18	0,5	100,00	900,00
UKUPNO:			900,00

Tablica 5.5 *Troškovi brušenja*

Vrijeme (h)	Cijena (kn)	Iznos (kn)
0,5	100,00	50,00
UKUPNO:		50,00

Tablica 5.6 *Trošak rada bojanja*

Vrijeme (h)	Cijena (kn)	Iznos (kn)
2	100,00	200,00
UKUPNO:		200,00

Tablica 5.7 *Troškovi kooperacije*

Vrsta usluge	Cijena (kn)
Toplinska obrada	1100,00
Strojna obrada	5300,00
Pjeskarenje	350,00
UKUPNO:	6750,00

Tablica 5.8 Ukupni trošak

Trošak	Cijena (kn)
Materijal	628,63
Rad pile	99,60
Rezanje vodom	632
Zavarivanje	900
Brušenje	50
Bojanje	200
Kooperacija	6750
UKUPNO:	9260,23

6 ZAKLJUČAK

U diplomskom radu prikazana je tema „Tehnologija izrade mosta za CNC stroj“. U temi je sadržana priprema dokumentacije, izrada proizvoda i proračun troškova. CNC laserske rezačice u današnje vrijeme se vrlo često primjenjuju te se javila potreba za izradom takvog stroja, koja ima mogućnost raditi uz ostvarivanje vrlo velikih točnosti. Zbog konkurentnosti na tržištu, cijena izrade bi trebala biti što niža, a točnosti i produktivnost trebaju biti visoke. Zbog toga je zahtjevana izrada dobro razrađene tehničke dokumentacije, proračun troškova i odabir odgovarajućih tehnologija. Opisane su tehnologije rezanja pilom i vodenim mlazom, spajanje zavarivanjem MAG postupkom, pjeskarenje, strojna obrada glodanjem, bušenjem, upuštanjem i narezivanjem navoja te površinska zaštita i montaža.

Osim poznavanja tehnologija i rada na računalu, potrebno je dobro poznavanje programiranja CNC strojeva i svojstava korištenih alata. Zbog zahtjevanih visokih točnosti i tolerancija za strojnu obradu korišteni su isključivo numerički upravljani strojevi. Kako bi došlo do što manjih odstupanja, prilikom jednog stezanja na stroju, provedeno je što više mogućih operacija.

Do jedinog problema tijekom izrade mosta došlo je prilikom zavarivanja MAG postupkom. Zbog velikog unosa topline pojavile su se veće deformacije. To je kompenzirano zagrijavanjem plinskim plamenom, dodacima za stojnu obradu i toplinskom obradom žarenjem. Problem je moguće izbjeći na sljedeće načine: predgrijavanje, drugačiji raspored izvođenja zavarenih spojeva ili promjenom debljina osnovnog materijala.

7 LITERATURA

- [1] Gojić, Mirko: *Tehnike spajanja i razdvajanja materijala*. Sisak; Metalurški fakultet, 2003., 298 str..
- [2] Scan and make, Wallasey, United Kingdom, (platforma za kreativnost) *Laser cutter technologies* (slika), URL: <https://scanandmake.com/lasertech>, (18.3.2017.)
- [3] Nukon Bulgaria Ltd., Plovdiv Bulgaria, *Nukon.hr - proizvodi* (slika), URL: <http://nukon.bg/main/wp-content/uploads/2014/07/laser.png>, (18.3.2017.)
- [4] IDA CONTROL Automation Robotics, PANAGIOTIS M.PIKIS AND CO., Athens, Greece, *Laser Cutting Process Secrets Revealed* (slika), URL: <http://www.idacontrol.com/articles.php?nid=10>, (18.3.2017.)
- [5] Opalić, Milan; Kljajin, Milan; Sebastijanović, Slavko: *Tehničko crtanje*. Čakovec; Zrinski d.d., 2003., 425 str..
- [6] Krumes, Dragomir: *Toplinska obrada*. Slavonski Brod; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2000., 444 str..
- [7] TEHNIČKI SISTEMI proizvodnja, inženjering, trgovina, d.o.o., Bizeljsko, *Pjeskarenje* (slika), URL: <http://pjeskarenje.hr/proizvodi/pjeskarenje/>, (12.4.2017.)
- [8] DNB Commerce d.o.o, Zagreb, *Usluge pjeskarenja DNB Commerce* (slika), URL: <http://www.dnb-commerce.hr/index5.html>, (14.4.2017.)
- [9] Grizelj, Branko: *Alati i naprave*. Slavonski Brod; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2004., 344 str..
- [10] Ekinović, Sabahudin: *Obrada rezanjem*. Zenica; Dom Štampe, 2001., 307 str..
- [11] Pavić, Ante: *Tehnologija - Obrada odvajanjem čestica*. Karlovac; Veleučilište u Karlovcu, 2013., 355 str..
- [12] Hoffmann Group, München, Germany, *VHM svrdla* (slika), URL: <https://www.hoffmann-group.com/HR/hr/rotometal/Modularno-narezivanje/VHM-svrdla/Univerzalno-svrdlo-s-izmjenjivim-reznim-plo%C4%8Dicama-kombinirana-dr%C5%A1ka-2%C3%97D/p/232298-26,5>, (9.5.2017.)

- [13] SALOTEHNIK d.o.o., Bregana, *Spiralna svrdla i zabušivači* (slika), URL: <http://salotehnik.hr/proizvodi/busenje-i-duboko-busenje/>, (1.6.2017.)
- [14] Đuro Đaković STROJNA OBRADA d.o.o. – *Interne radne podloge za obradu odvajanjem čestica*. Slavonski Brod, 639 str..

PRILOZI

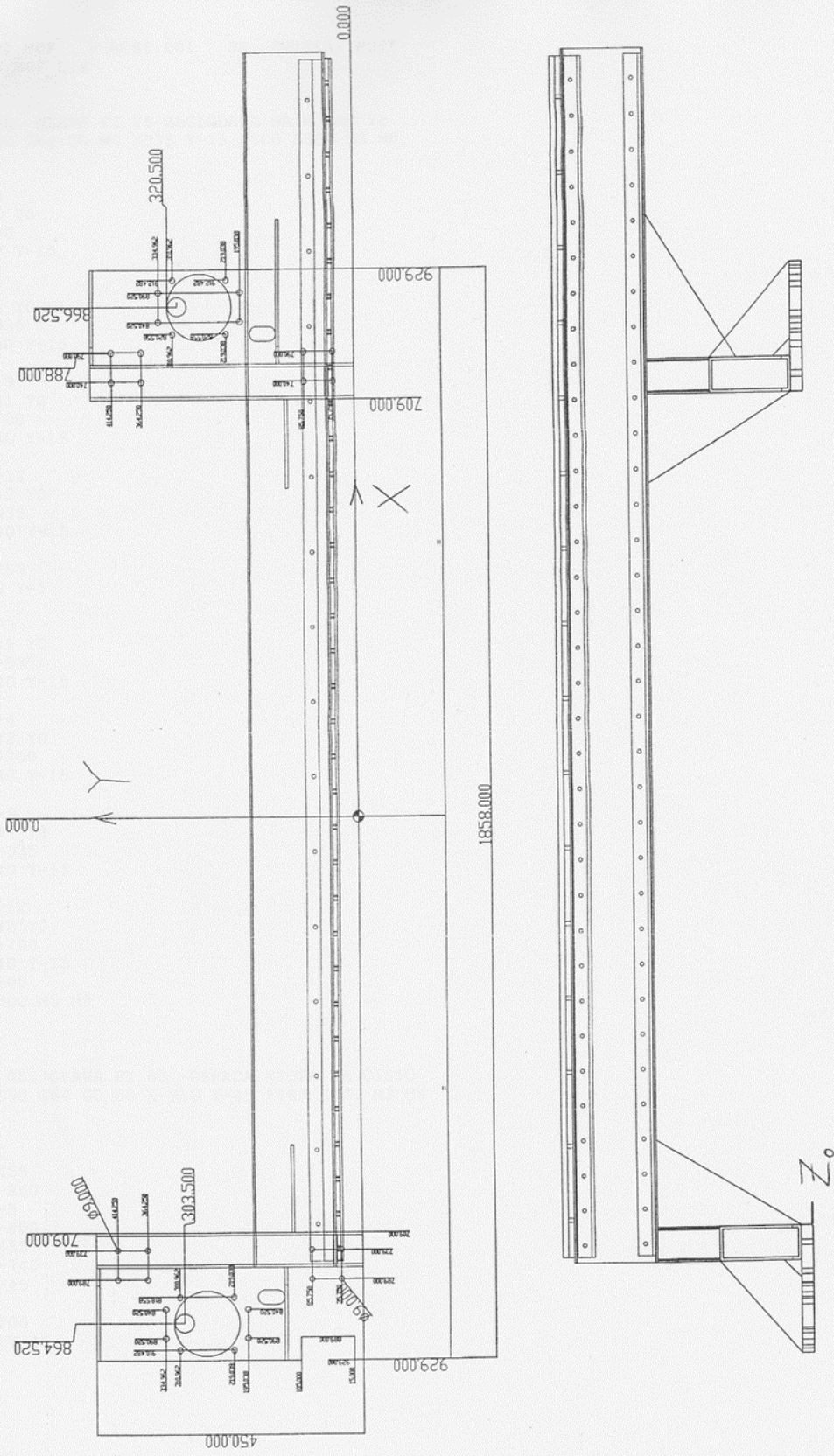
Ukupan broj stranica

Prilog 1. Primjer korištenog CNC programa za portalnu glodalicu.....16

Prilog 1

Portalka

MOST.001



%_N_MOST001_MPF ; MOST.001 BR. CRTEZA; MOST
; \$PATH=/_N_MPF_DIR

N10 T1 ; GL. GLAVA FI 25-ZAGLODAVA NA MJERU Yo

N20 G54 G90 G64 G0 W0 X935 Y-15 F500 S800 M3 M8

N30 Z5

CFTCP

N40 G1 Z-3

N50 G1 G41 Y0

N60 G1 X700

N70 G1 G40 Y-15

N80 G1 Z-6

N90 G1 G42 Y0

N100 G1 X935

N110 G1 G40 Y-15

N120 G1 Z-9

N130 G1 G41 Y0

N140 G1 X700

N150 G1 G40 Y-15

N160 G1 Z-12

N170 G1 G42 Y0

N180 G1 X935

N190 G1 G40 Y-15

N200 G0 Z200

N210 X-700 Y-5

N220 Z5

N230 G1 Z-3

N240 G1 G41 Y0

N250 G1 X-935

N260 G1 G40 Y-15

N270 G1 Z-6

N280 G1 G42 Y0

N290 G1 X-700

N300 G1 G40 Y-15

N310 G1 Z-9

N320 G1 G41 Y0

N330 G1 X-935

N340 G1 G40 Y-15

N350 G1 Z-12

N360 G1 G42 Y0

N370 G1 X-700

N380 G1 G40 Y-15

N390 G0 Z300

N400 G0 W300 M5 M9

N410 T2 ; GL. GLAVA FI 80 -OBRADA STOPA NA ČISTO

N420 G54 G90 G64 G0 W0 X-918 Y-45 F400 S400 M3 M8

N430 Z5

CFTCP

N440 G1 Z0

N450 G1 Y455

N460 G1 X-860

N470 G1 Y-5

N480 G1 X-800

N490 G1 Y455

N500 G1 X-740

N510 G1 Y-45

N520 G0 Z200

N530 X740 Y-45

N540 Z5

N550 G1 Z0

N560 G1 Y455

N570 G1 X800

N580 G1 Y-5

N590 G1 X860

N600 G1 Y455

N610 G1 X918

N620 G1 Y-45

N630 G0 Z300

N640 G0 W300 M5 M9

N650 T3 ; ZABUSIVAC

N660 G54 G90 G0 W0 F100 S800 M3 M8

N670 MCALL CYCLE81 (20,0,2,-5)

N680 X-739 Y35.750 ; ZA FI 9

N690 X-789

N700 Y85.750

N710 X-739

N720 X-739 Y364.250

N730 X-789

N740 Y414.250

N750 X-739

N760 X-840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N770 X-890.52

N780 Y334.962

N790 X-840.52

N800 X840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N810 X890.52

N820 Y334.962

N830 X840.52

N840 X790 Y35.750 ; ZA ŠLICEVE R4.5

N850 X740 Y35.750

N860 X740 Y85.750

N870 X790 Y85.75

N880 X790 Y364.25 ; ZA ŠLICEVE R4.5

N890 X740 Y364.25

N900 X740 Y414.250

N910 X790 Y414.250

N920 X912.482 Y219.038 ; ZA ŠLICEVE R4.2

N930 X820.558 Y219.038

N940 X820.558 Y310.962

N950 X912.482 Y310.962

N960 X-818.558 Y219.038 ; ZA ŠLICEVE R4.2

N970 X-910.482 Y219.038

N980 X-910.482 Y310.962

N990 X-818.558 Y310.962

N1000 MCALL

N1010 G0 W200

N1020 G0 Z300 M5

N1030 T4 ; DRILL MAX FI 30 - ZA VELIKE OTVORE SA R55.5

N1040 G54 G90 G0 W0 F100 S800 M3 M8

N1050 MCALL CYCLE83 (20,0,2,-25, ,-5, ,5, , ,1,1)

N1060 X-864.520 Y305.5

N1070 X866.520 Y305.5

N1080 MCALL

N1090 G0 W200

N1100 G0 Z300 M5

N1110 T5 ; SVRDLO FI 8 ZA ŠLICEVE R4.2 I R4.5

N1120 G54 G90 G0 W0 F100 S700 M3 M8

N1130 MCALL CYCLE83 (20,0,2,-30, ,-5, ,5, , ,1,1)

N1140 X912.482 Y219.038 ; ZA ŠLICEVE R4.2

N1150 X820.558 Y219.038

N1160 X820.558 Y310.962

N1170 X912.482 Y310.962

N1180 X-818.558 Y219.038 ; ZA ŠLICEVE R4.2

N1190 X-910.482 Y219.038

N1200 X-910.482 Y310.962

N1210 X-818.558 Y310.962

N1220 X790 Y35.750 ; ZA ŠLICEVE R4.5

N1230 X740 Y35.750

N1240 X740 Y85.750

N1250 X790 Y85.75

N1260 X790 Y364.25 ; ZA ŠLICEVE R4.5

N1270 X740 Y364.25

N1280 X740 Y414.250

N1290 X790 Y414.250

N1300 MCALL

N1310 G0 W200

N1320 G0 Z300 M5

N1330 T6 ; SVRDLO FI 8.5 ZA M10
N1340 G54 G90 G0 W0 F100 S800 M3 M8
N1350 MCALL CYCLE83 (20,0,2,-25, ,-5, ,5, , ,1,1)
N1360 X-840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10
N1370 X-890.52
N1380 Y334.962
N1390 X-840.52
N1400 X840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10
N1410 X890.52
N1420 Y334.962
N1430 X840.52

N1440 MCALL
N1450 G0 W200
N1460 G0 Z300 M5
N1470 T7 ; SVRDLO FI 9
N1480 G54 G90 G0 W0 F100 S650 M3 M8
N1490 MCALL CYCLE83 (20,0,2,-30, ,-5, ,5, , ,1,1)
N1500 X-739 Y35.750 ; ZA FI 9
N1510 X-789
N1520 Y85.750
N1530 X-739
N1540 X-739 Y364.250
N1550 X-789
N1560 Y414.250
N1570 X-739

N1580 MCALL

N1590 G0 W200

N1600 G0 Z300 M5

N1610 T8 ; GL. GLAVA FI 25

N1620 G54 G90 G64 G0 W0 X866.520 Y305.5 F500 S800 M3 M8

N1630 Z3

CFTCP

N1640 G1 Z0

N1650 SLICR555 P11 ; U POTPROGRAMU PO 2 mm

N1660 G0 Z200

N1670 X-864.520 Y305.5

N1680 Z3

N1690 G1 Z0

N1700 SLICR555 P11 ; U POTPROGRAMU PO 2 mm

N1710 G0 Z300

N1720 G0 W300 M5 M9

N1730 T9 ; SLIHT GLODALO MAX FI 30

N1740 G54 G90 G64 G0 W0 X866.520 Y305.5 F250 S800 M3 M8

N1750 Z-19

CFTCP

N1760 G1 Z-20

N1770 SLICR555 ; U POTPROGRAMU PO 2 mm

N1780 G0 Z200

N1790 X-864.520 Y305.5

N1800 Z-19

N1810 G1 Z-20

N1820 SLICR555 ; U POTPROGRAMU PO 2 mm

N1830 G0 Z300

N1840 G0 W300 M5 M9

N1850 T10 ; GLODALO MAX FI 8.4 - RADI ŠLICEVE R4.2 I R4.5 NA MJERU

N1860 G54 G90 G64 G0 W0 X912.482 Y219.038 F200 S800 M3 M8

N1870 Z3

CFTCP

N1880 G1 Z0

N1890 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N1900 G0 Z100

N1910 X820.558 Y219.038

N1920 Z3

N1930 G1 Z0

N1940 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N1950 G0 Z100

N1960 X820.558 Y310.962

N1970 Z3

N1980 G1 Z0

N1990 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2000 G0 Z100

N2010 X912.482 Y310.962

N2020 Z3

N2030 G1 Z0

N2040 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2050 G0 Z100

N2060 X-818.558 Y219.038

N2070 Z3

N2080 G1 Z0

N2090 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2100 G0 Z100

N2110 X-910.482 Y219.038

N2120 Z3

N2130 G1 Z0

N2140 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2150 G0 Z100

N2160 X-910.482 Y310.962

N2170 Z3

N2180 G1 Z0

N2190 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2200 G0 Z100

N2210 X-818.558 Y310.962

N2220 Z3

N2230 G1 Z0

N2240 SLICR42 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2250 G0 Z100 ; ZA ŠLICEVE R4.5

N2260 X790 Y35.750

N2270 Z3

N2280 G1 Z0

N2290 SLICR45 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2300 G0 Z100

N2310 X740 Y35.750

N2320 Z3

N2330 G1 Z0

N2340 SLICR45 P26 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2350 G0 Z100

N2360 X740 Y85.750

N2370 Z3

N2380 G1 Z0

N2390 SLICR45 P26 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2400 G0 Z100

N2410 X790 Y85.75

N2420 Z3

N2430 G1 Z0

N2440 SLICR45 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2450 G0 Z100

N2460 X790 Y364.25

N2470 Z3

N2480 G1 Z0

N2490 SLICR45 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2500 G0 Z100

N2510 X740 Y364.25

N2520 Z3

N2530 G1 Z0

N2540 SLICR45 P26 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2550 G0 Z100

N2560 X740 Y414.250

N2570 Z3

N2580 G1 Z0

N2590 SLICR45 P26 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2600 G0 Z100

N2610 X790 Y414.250

N2620 Z3

N2630 G1 Z0

N2640 SLICR45 P21 ; U POTPROGRAMU PO 1 mm

N2650 G0 Z300

N2660 G0 W300 M5 M9

N2670 T11 ; GL. GLAVA FI 25 - NA MJERU RADI SA LIJEVE STRANE OTVOR KOJI NIJE ISPALIT

N2680 G54 G90 G64 G0 W0 X-945 Y30 F500 S800 M3 M8

N2690 Z3

CFTCP

N2700 G1 Z0

N2710 OTVOR P12 ; U POTPROGRAMU PO 2 mm

N2720 G0 Z300

N2730 G0 W300 M5 M9

N2740 T12 ; GL. GLAVA FI 80 -OBRADA STOPA NA ČISTO

N2750 G54 G90 G64 G0 W0 X-918 Y-45 F400 S400 M3 M8

N2760 Z5

CFTCP

N2770 G1 Z0

N2780 G1 Y455

N2790 G1 X-860

N2800 G1 Y-5

N2810 G1 X-800

N2820 G1 Y455

N2830 G1 X-740

N2840 G1 Y-45

N2850 G0 Z200

N2860 X740 Y-45

N2870 Z5

N2880 G1 Z0

N2890 G1 Y455

N2900 G1 X800

N2910 G1 Y-5

N2920 G1 X860

N2930 G1 Y455

N2940 G1 X918

N2950 G1 Y-45

N2960 G0 Z300

N2970 G0 W300 M5 M9

N2980 T13 ; UPUSTAC

N2990 G54 G90 G0 W0 F200 S700 M3 M8

N3000 MCALL CYCLE81 (20,0,2,-1)

N3010 X-840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N3020 X-890.52

N3030 Y334.962

N3040 X-840.52

N3050 X840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N3060 X890.52

N3070 Y334.962

N3080 X840.52

N3090 MCALL

N3100 G0 W200

N3110 G0 Z300 M5

N3120 T14 ; UREZNIK M10

N3130 G54 G90 G0 W0 F150 S100 M3 M8

N3140 MCALL CYCLE840 (50,0,4,-30, , ,4,3,1,10,1.5)

N3150 X-840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N3160 X-890.52

N3170 Y334.962

N3180 X-840.52

N3190 X840.52 Y195.038 ; ZA FI 8.5 ZA M10

N3200 X890.52

N3210 Y334.962

N3220 X840.52

N3230 MCALL

N3240 G0 W200

N3250 G0 Z300 M5 M9

N3260 M30