

# Kontrola kvalitete u postupcima obrade lima

---

Roš, Robert

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:293326>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 358/PS/2021**

## **Kontrola kvalitete u postupcima obrade lima**

**Robert Roš, 2803/336**

Varaždin, rujan 2021. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 358/PS/2021

## Kontrola kvalitete u postupcima obrade lima

### Student

Robert Roš, 2803/336

### Mentor

Živko Kondić, dr. sc.

Varaždin, rujan 2021. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

|             |   |              |                    |
|-------------|---|--------------|--------------------|
| ODJEL       | Odjel za strojarstvo                                |              |                    |
| STUDIJ      | preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo |              |                    |
| PRISTUPNIK  | ROBERT ROŠ  | MATIČNI BROJ | 2803/336           |
| DATUM       | 07.12.2020.   | KOLEGIJ      | Kontrola kvalitete |
| NASLOV RADA | Kontrola kvalitete u postupcima obrade lima         |              |                    |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Quality Control in processing of sheet meta |
|-----------------------------|---|

|        |                          |        |                   |
|--------|--------------------------|--------|-------------------|
| MENTOR | Prof.dr.sc. Živko Kondić | ZVANJE | Redoviti profesor |
|--------|--------------------------|--------|-------------------|

|                      |  |
|----------------------|--|
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. doc.dr.sc. ZLATKO BOTAK, predsjednik povjerenstva |
|                      | 2. doc.dr.sc. TOMISLAV VELIKI, član                  |
|                      | 3. prof.dr.sc. ŽIVKO KONDIĆ, mentor                  |
|                      | 4. doc.dr.sc. MATIJA BUŠIĆ, rezervni član            |
|                      | 5.   |

## Zadatak završnog rada

|      |             |
|------|-------------|
| BROJ | 358/PS/2021 |
|------|-------------|

OPIS

U završnom radu potrebno je:

- Nakon uvodnog dijela završnog rada potrebno je ukratko opisati lim kao repromaterijal u strojarskoj proizvodnji. Nakon toga opisati postupak izrade lima te navesti glavne vrste lima. U opisu postupaka obrade usmjeriti se na postupke obrade lima rezanjem, savijanjem te dubokim vučenjem.
- Obraditi osnove sustava upravljanja kvalitete u proizvodnim procesima s naglaskom na definiranje pojma kontrole kvalitete, troškova kontrole kvalitete, te alata i metoda za njeno poboljšanje.
- Opisati postupak kontrole kvalitete u procesu rezanja lima prema normi ISO 9013.
- Opisati postupak kontrole kvalitete kod postupaka laserskog rezanja.
- Opisati postupak kontrole kvalitete kod postupaka plazma rezanja i to kroz definiranje plazme, opis postupka obrade plazmom, te na konkretnom primjeru u odabranom poduzeću opisati detaljno proces kontrole kvalitete tijekom rezanja plazmom.
- U zaključku se kritički osvrnuti za završni rad.

ZADATAK UROČEN

5.7.2021



## **Predgovor**

*Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Živku Kondiću što mi je omogućio izradu završnog rada, te svim profesorima i asistentima Sveučilišta Sjever.*

*Također zahvaljujem svojoj obitelji na strpljenju i podršci koju mi je pružala tijekom studiranja.*

*Zahvaljujem se i tvrtci Omega d.o.o na pomoći oko praktičnog dijela ovog završnog rada.*

## **Sažetak**

Ovaj završni rad temelji se na kontroli kvalitete koja se radi tijekom različitih procesa obrade lima.

Prvi dio završnog rada opisuje što je to lim, kako se izrađuje, koje su vrste limova, te koji su postupci obrade tih limova kako bi se mogli koristiti u daljnjoj uporabi. Nakon toga opisivati će se kontrola kvalitete, vrste kontrole kvalitete, te kako kontrola kvalitete utječe na proizvodnju i kako procjenjujemo troškove kvalitete. U zadnjem dijelu završnoga govoriti će se o tome kakav je postupak kontrole kvalitete u nekoliko postupak obrade lima, te će se navesti primjer kontrole kvalitete u poduzeću Omega.

Ključne riječi: lim, kvaliteta, kontrola kvalitete, lasersko rezanje, plazma rezanje

## **Summary**

This final paper is based on quality control that is done during various sheet metal processing.

The first part of the final paper describes what is sheet metal, how it is made, what are the types of sheet metal and what are the processing procedures of these sheets so that they can be used in further use. After that, in this final paper will be described quality control, types of quality control, how quality control affects production and how we estimate quality costs. The last part of the paper will talk about the quality control procedure in several sheet metal processing and an example of quality control in the company Omega.

Keywords: sheet metal, quality, quality control, laser cutting, plasma cutting.



# Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod .....  | 1  |
| 2. Lim i postupci obrade lima .....                  | 3  |
| 2.1. Izrada lima .....                               | 3  |
| 2.2. Vrste lima .....                                | 5  |
| 2.3. Postupci obrade lima .....                      | 7  |
| 2.3.1. Postupak obrade lima rezanjem .....           | 7  |
| 2.3.1.1. Lasersko rezanje lima .....                 | 7  |
| 2.3.1.2. Rezanje lima uz pomoć plazme .....          | 8  |
| 2.3.2. Postupak obrade lima savijanjem .....         | 9  |
| 2.3.2.1. Kutno savijanje lima .....                  | 10 |
| 2.3.2.2. Kružno savijanje lima .....                 | 11 |
| 2.3.3. Postupak obrade lima dubokim vučenjem .....   | 13 |
| 3. Definiranje upravljanja kvalitetom .....          | 14 |
| 3.1. Povijesni razvoj kvalitete .....                | 14 |
| 3.1.1. Srednjovjekovno doba Europe .....             | 15 |
| 3.1.2. Industrijska revolucija .....                 | 15 |
| 3.1.3. Drugi svjetski rat .....                      | 15 |
| 3.1.4. Početak 20. stoljeća .....                    | 16 |
| 3.2. Definiranje kontrole kvalitete .....            | 16 |
| 3.2.1. Koraci za razvoj kontrole kvalitete .....     | 17 |
| 3.2.2. Vrste kontrole kvalitete .....                | 18 |
| 3.2.3. Statistička kontrola kvalitete .....          | 20 |
| 3.3. Troškovi kvalitete .....                        | 21 |
| 3.4. Alati i metode poboljšavanja kvalitete .....    | 22 |
| 3.4.1. Kontrolni list .....                          | 23 |
| 3.4.2. Histogram .....                               | 24 |
| 3.4.3. Pareto dijagram .....                         | 24 |
| 3.4.4. Kontrolne karte .....                         | 25 |
| 3.4.5. Dijagram tijeka .....                         | 26 |
| 3.4.6. Dijagram raspršenja .....                     | 26 |
| 3.4.7. Dijagram uzroka i posljedice .....            | 27 |
| 4. Kontrola kvalitete u procesima rezanja lima ..... | 28 |
| 4.1. Norma DIN EN ISO 9013 .....                     | 28 |
| 4.1.1. Određivanje kvalitete reznih površina .....   | 28 |
| 4.1.2. Kvaliteta rezane površine .....               | 29 |
| 4.1.3. Dimenzijske tolerancije .....                 | 29 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2. Lasersko rezanje .....                                     | 29 |
| 4.2.1. Kontrola kvalitete laserskog rezanja.....                | 32 |
| 4.3. Plazma rezanje.....  | 34 |
| 4.3.1. Definiranje plazme .....                                 | 34 |
| 4.3.2. Proces obrade plazmom.....                               | 35 |
| 4.3.3. Kontrola kvalitete plazma rezanja u poduzeću Omega ..... | 36 |
| 4.3.3.1. O poduzeću .....                                       | 36 |
| 4.3.3.2. Kontrola kvalitete u plazma rezanju .....              | 37 |
| 4.3.3.2.1. Ulazna kontrola .....                                | 37 |
| 4.3.3.2.2. Kontrola kvalitete nakon izrade proizvoda.....       | 41 |
| 5. Zaključak .....  | 42 |
| 6. Literatura .....   | 43 |
| Popis slika.....  | 46 |
| Popis tablica.....  | 47 |
| Popis dijagrama .....   | 48 |



# 1. Uvod

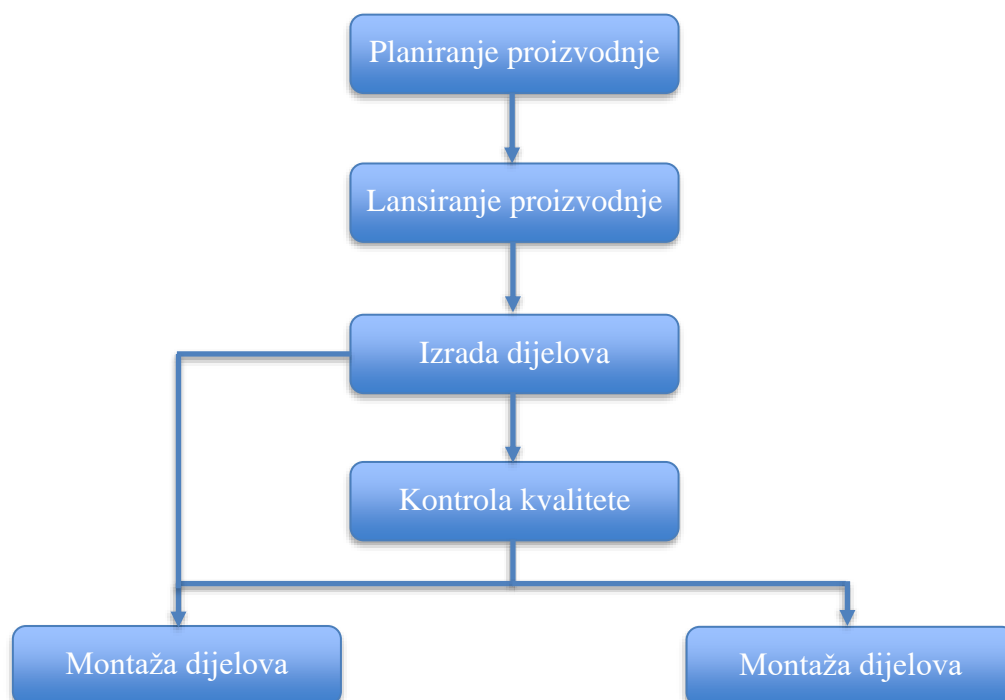
U današnjem vremenu proizvodnja je jedna od temeljnih načina za reprodukciju te nam omogućuje napredak društva i opstanak svakog člana društva. Proizvodnja nam služi kako bi proizvodi bili prilagođeni čovjekovim potrebama i to organiziranim čovjekovi djelovanjem na prirodu preradom, obradom, premještanjem umjetnih materijala, prirodnih materijala i nedovršenih proizvoda. Da bi se proces proizvodnje zadovoljio, ljudi su potrebni udružiti se, kombinirati različita znanja i međusobno dijeliti proizvode.

Osnovni cilj proizvodnje je ostvarivanje planiranih količina proizvoda iz proizvodnog programa sa konstrukcijskim, tehnološkim i proizvodnim karakteristikama, i to [1]:

- propisane kvalitete
- u zadanom vremenu
- po prihvatljivoj cijeni

Svaki se proizvodni proces se sastoji od 5 dijelova, a to su (**Slika 1.**):

- Planiranja proizvodnje
- Lansiranja proizvodnje
- Izrade dijelova
- Montaže proizvoda
- Kontrole kvalitete



Slika 1. Osnovni elementi proizvodnje [1]

U ovom radu razmatrat ćemo dio proizvodnog procesa koji se naziva kontrola kvalitete u proizvodnji tijekom obrade lima.

U današnjem vremenu postoji mnogo vrsta kontrole kvalitete te njezino upravljanje. Ona je postojala u različitim oblicima još i prije nego što se razvila u proizvodnji. Postoji mnogo alata i metodologija za provjeru kvalitete proizvoda, te se uz razvoj današnje tehnologije, sve veća i bolja provjera i upravljanje kvalitetom. Za uspješnu proizvodnju i obradu raznih proizvoda potrebno je odabrati najbolje postupke kontrole kvalitete.

## 2. Lim i postupci obrade lima

Limovi su metalni poluproizvodi koji se mogu oblikovati u ravne komade različitih debljina. Njihova debljina razmjerno je manja u usporedbi s ostalim mjerama te se njime mogu oblikovati različiti predmeti.

Prve valjaonice koje su služile za izradu limova pojavile su se krajem 16 st., jedna je služila za izradu zlatnih limova od kojih su se izrađivale kovanice, dok je druga valjaonica izrađivala limove za trake i sl. Ulaskom u industrijsku revoluciju i porastom potražnje za proizvodnjom lima, proizvođači su razvili nove izume poput montažne linije koje su im povećale proizvodnju raznih dijelova visoke kvalitete. [2]

Danas se limovi proizvode vrućim valjanjem metalnih blokova koji su najčešće pravokutnog presjeka koji se provlače između čeličnih valjaka sa sve manjim razmakom.

Limovi nalaze svoju primjenu u industrijskoj proizvodnji strojeva, mehanizaciji, autoindustriji, različite konstrukcije... [3]



*Slika 2. Lim za obradu [4]*

### 2.1. Izrada lima

Lim se proizvodi preradom raznih metala poput aluminija, mesinga i bakra u tanke limove. Postupak izrade lima se najčešće provodi u pet faza, a to su: taljenje, lijevanje, čišćenje uz pomoć kiselina, valjanje i žarenje.

## 1. Taljenje

Kao što je rečeno lim se može izrađivati od različitih materijala, ali bez obzira na vrstu metala koji se koristi, prvi korak uvijek je taljenje metala kako bi ga dobili u tankom razmjerima (**Slika 3**).

Ovaj postupak se provodi tako da se metal rastali i nastane ingot koji se kasnije izravna i preša u lim. [5]



*Slika 3. Primjer taljenja metala* [6]

## 2. Lijevanje

Kada se metal potpuno otopi, izlije se u pravokutni kalup. Metal se mora držati vrućim dok se ulijeva u kalup kako ne bi došlo do stvrdnjavanja izvan kalupa. Jednom kada se metal ohladi, oblikuje se u kalup i postaje ingot. [5]

Slika 4 pokazuje jedan primjer lijevanja metala.



*Slika 4. Primjer lijevanja metala* [6]

### **3. Čišćenje uz pomoć kiselina**

Nakon što se ingot ohladi i izvadi iz kalupa, umaka se u mješavinu kemikalija kako bi se očistio. [5]

### **4. Valjanje**

Nakon što se ingot očisti, stavlja se u prešu. Preša se sastoji od dva valjka koji smanjuju debljinu metala. Nakon što ingot prođe kroz valjke, valjci se približe i metal se ponovno provlači. Ingote je možda potrebno provući nekoliko puta kako bi metal dosegnuo željenu debljinu. Kako se ti ingoti više puta provlače tako postaju sve tvrdi. [5]

### **5. Žarenje**

Zbog toga što metal postaje sve tvrdi tijekom valjanja, biti će potrebno nekoliko puta žariti metal tijekom postupka valjanja. Žarenje se sastoji od zagrijavanja i ponovnog čišćenja metala. Tijekom postupka žarenja, metal se samo zagrijava, ne tali se. [5]

## **2.2. Vrste lima**

Limovi zbog svojih svojstava mogu se primijeniti u raznim industrijama, procesna tehnika, prehrambena industrija... te se mogu koristiti za izradu raznih predmeta.

Uz pomoć današnje napredne tehnike limove je moguće proizvesti različitih debljina, te ih možemo podijeliti na:

- Fine limove – debljina do 1 mm
- Tanke limove – debljina od 1 do 2,75 mm
- Srednje limove – debljina od 3 do 4,75 mm
- Debele limove – debljina od 5 do 60 mm

Danas također postoje više vrsta limova koji svoju primjenu pronalaze u različitim industrijama. Tako ih općenito možemo podijeliti na:

- Konstrukcijske limove
- Brodske limove
- Automobilske limove
- Kotlovske limove
- Transformacijske limove



## **1. Konstrukcijski limovi**

Ova vrsta lima jako je važna u građevinskoj industriji. Od kanala do krovnih dijelova, ovo je važan građevinski materijal za kuće i poslovne zgrade. [7]

Također konstrukcijski limovi imaju mnogo prednosti kao što su [8]:

- Reciklaža – pošto se metali mogu lako reciklirati i preraditi u vrijedne sirovine za taljenje novog metala, izrada raznih konstrukcijskih materijala može se smatrati ekološkim postupkom
- Prilagodljiv – iako su limovi tanki, mogu se koristiti za izradu raznih čvrstih konstrukcija zbog toga što imaju veliku čvrstoću relativno su male težine te se mogu lako transportirati
- Žilav – limovi su vrlo žilavi, te mogu podnijeti visok tlak u raznim primjenama, također su otporni na koroziju, sunce i vlagu
- Savitljiv – limovi su vrlo savitljivi te se zbog toga mogu oblikovati u bilo koji oblik
- Održavanje – metal ima male zahtjeve za održavanjem i nije podložan oštećenjima, ako slučajno dođe do oštećenja onda se popravci mogu lako vršiti demontažom i zamjenom oštećenog lima bez potrebe za uklanjanjem potpune konstrukcije
- Niska cijena

## **2. Brodski limovi**

Kod izrade raznih brodova koristimo limove koje sadrže toplo valjani čelik. Brodogradnja zahtijeva velike količine strukturnih čeličnih limova, te se tako brodski čelik razvio u dvije skupine, čelik visoke čvrstoće i čelik otporan na koroziju, što može smanjiti težinu broda, kao i troškove održavanja. [9]

## **3. Automobilski limovi**

Automobilska industrija koristi lim za izradu karoserija automobila. Kod ove vrste lima možemo koristiti toplo valjanje limove, aluminij različitih legura, magnezij, te se može koristiti nehrđajući čelik.

## **4. Kotlovski limovi**

Za proizvodnju kotlova koristimo čelik koji ima toplinsku otpornost koju proizvodimo kroz vruće valjanje. Ploče mogu biti termički obrađene ili termomehanički obrađene tijekom ili nakon valjanja. [10]

Osim ove podjele, limove također možemo podijeliti obzirom na njihov oblik na rebrasti, glatki i valoviti limovi.

Nadalje limove možemo podijeliti i prema načinu na koji se proizvode i to na žareni, meki i tvrdi limovi te normalizirani limovi.

## **2.3. Postupci obrade lima**

Da bi se lim mogao upotrebljavati u industrijama, potrebno ga je dobro obraditi. Obrada lima su svi postupci kojima se limu mijenjaju oblik, dimenzije i druga svojstva kako bi se mogao upotrebljavati u kasnijoj upotrebi. Obrada lima može biti ručna ili strojna.

Postoji mnogo vrsta obrade lima, ali u ovom radu ćemo spominjati samo neke od najznačajnijih obrada koji se odnose a obradu lima, a to su:

- Rezanje
- Savijanje
- Duboko vučenje

### **2.3.1. Postupak obrade lima rezanjem**

Rezanje je jedan postupak obrade lima odvajanjem čestica. To su postupci kod kojih se komad lima odvaja primjenom dovoljno velike sile da materijal ne propadne.

Proizvođači mogu rezati lim korištenjem raznih dijelova strojeva, od kojih su neki jedinstveni za proizvodnju lima.

Procese rezanja možemo podijeliti s obzirom na alat koji koristimo i to na:

- Ručni – ručna pila, škare...
- Strojni – plazmom, laserom, vodenim mlazom...

Ova tri strojna načina strojnog rezanja mogu se koristiti i na drugim materijalima, ali postoje neke tehnike koje se koriste isključivo za lima kao probijanje.

#### **2.3.1.1. Lasersko rezanje lima**

Lasersko rezanje lima koristi tehnologiju rezanja laserskim snopom, koju koristimo većinom u industrijskoj primjeni kao što su elektronika, metalurgija, brodogradnja i sl.

Laserski rezač koristi snažni laser koji je pojačan lećom ili zrcalom. On je precizan i energetski učinkovit stroj pogodan za tanke ili srednje mjere lima, ali teško reže kroz materijal povećane tvrdoće

Ona ima brojne prednosti [11]:

- Mali unos topline na metal
- Male deformacije metala
- Velika brzina
- Kvaliteta reza
- Preciznost

Na slici 5 prikazan je primjer laserskog rezanja lima.

Kod rezanja laserom možemo koristiti tri vrste lasera:

- CO<sub>2</sub> laser – za bušenje, rezanje, graviranje
- Nd laser – za bušenje, mala brzina ponavljanja, visoko energetske impulsi
- Nd-YAG laser – za vrlo visoke energetske impulse, bušenje, graviranje, podešavanje



*Slika 5. Lasersko rezanje lima [11]*

### **2.3.1.2. Rezanje lima uz pomoć plazme**

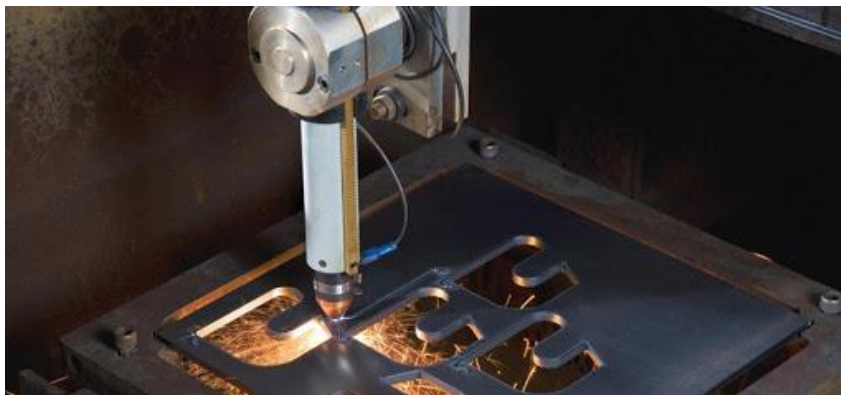
Plazma rezanje je tehnološki postupak rezanja čelika i ostalih metala pomoću plazma plamenika. Razlika od laserskog rezanja je to da metal koji se reže plazmom mora imati električnu provodljivost, te se uspostavljanjem električnog luka razvija temperatura koja topi metal.

Većina današnjih plazma rezača su CNC upravljani, što donosi brojne prednosti.

Oprema za plazma rezanje sastoji se od:

- Izvora energije
- Plazma rezač
- Plinovi
- Radni stol
- Sustav ventilacija

Prilikom ovog procesa operater se mora pridržavati propisanih pravila te koristiti zaštitna sredstva zbog toga što se može stvoriti velika količina pare i buke. Također zbog velike količine pare potrebno je osigurati slobodan protok zraka.



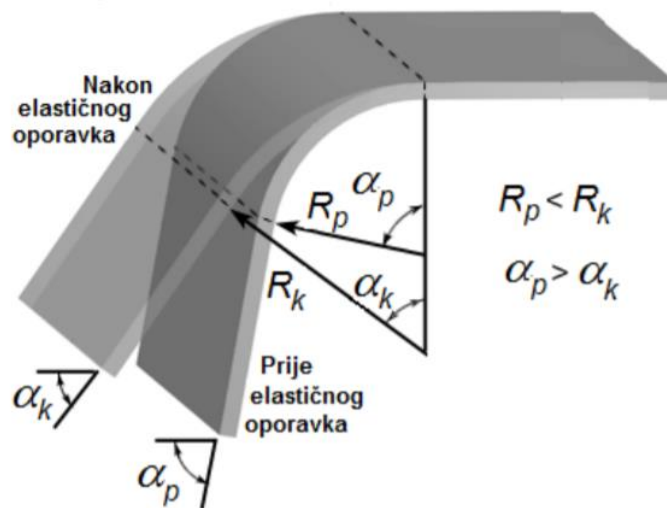
*Slika 6. Rezanje lima uz pomoć plazme [12]*

### **2.3.2. Postupak obrade lima savijanjem**

Savijanje lima je postupak kojim se metal može deformirati pri primjeni sile na subjekt, što uzrokuje njegovo savijanje pod kutom i oblikuje u željeni oblik.

Danas je savijanje postupak koji se najčešće koristi za obradu lima, te se ono najčešće provodi sa limovima u hladnom stanju, dok se u toplom stanju provodi ako je lim veće debljine. [13]

Tijekom ovog postupka materijal je opterećen vlačnim i tlačnim silama. Tlačne sile djeluju na unutrašnjem dijelu materijala koji se skraćuje dok vlačne sile djeluju na vanjski dio materijala, koji se produljuje. Također uz ove dvije sile, materijal je opterećen elastičnim i plastičnim naprezanjima. Plastična naprezanja djeluju zbog toga da materijal poprime naš željeni oblik, a elastična naprezanja djeluju nakon što se savijanje završi, materijal napravi mali povrat oblika. [13]



Slika 7. Elastični povrat nakon naprezanja [13]

Savijanje lima možemo podijeliti na [13]:

- Savijanje pod kutom
- Profilno savijanje
- Kružno savijanje

Također savijanje možemo podijeliti s obzirom na vrstu stroja koji koristimo na:

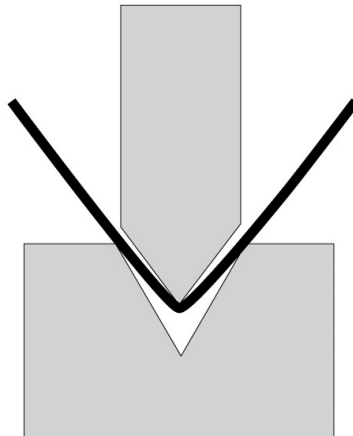
- Strojevi za savijanje lima s tri valjka
- Strojevi za savijanje lima s četiri valjka
- Strojevi za mehaničko savijanje lima

### 2.3.2.1. Kutno savijanje lima

Kutno savijanje lima je vrsta savijanja dugih i tankih limova.

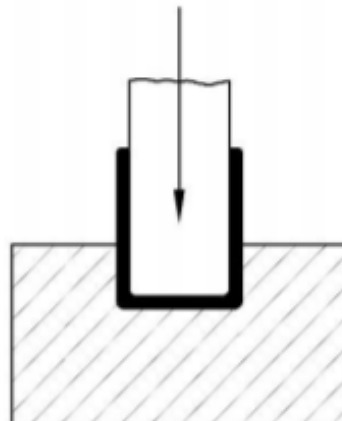
Ovo savijanje provodi se na hidrauličkim prešama. Raspon takvih preša kreće se od 20 do 200 tona. Alat koji koristimo sastoji se od dva dijela, gornji dio alata naziva se žig i on služi za savijanje lima tako da pritiskuje lim u donji dio alata koji se naziva matrica. Gornji dio je pomičan, dok je donji dio fiksiran. [13]

V-savijanje je najčešća metoda koju koristimo kod kutnog savijanja i nju dobivamo tako da su žig i matrica u obliku slova V. Žig potiskuje lim u matricu, te uzrokuje njezino savijanje.



*Slika 8. Savijanje lima u V profil [14]*

Uz V-savijanje također postoji i savijanje profila u U oblik koji se većinom koristi za tanke limove te se može izraditi na dva postupka, sa otvorenim kalupom i sa zatvorenim kalupom. Otvoreni kalup koristi se ako materijal ne zahtijeva veliku preciznost, a ako je potrebna veća preciznost onda se koriste zatvoreni kalupi s izbacivačem.[13]



*Slika 9. Savijanje lima u U profil [15]*

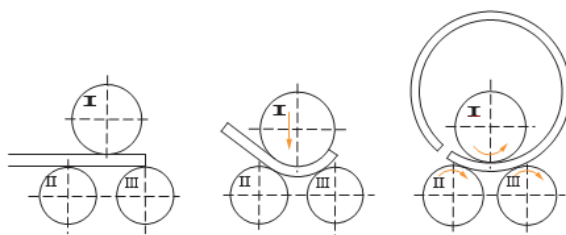
### **2.3.2.2. Kružno savijanje lima**

Kružno savijanje lima je postupak obrade uz pomoć savijačice s 3 valjka ili savijačice s 4 valjka. Ovim postupkom valjaju se cijevi, profili, trake... Kako bismo dobili cilindrični oblik proizvoda potrebno je ovaj postupak provoditi u više faza. [13]

## 1. Savijanje lima s tri valjka

Ovo je postupak kod kojih dva valjka služe kao oslonac limu, a treći je veći od ostalih i nema vlastiti pogon.

Srednji valjak, odnosno treći, spušta se na određenu dubinu pri čemu dolazi do malog savijanja lima. Nakon toga, lim se provlači lijevo i desno. Nakon toga srednji valjak se ponovno spusti na slijedeću dubinu i ponovno se lim provuče. Prilikom ovog postupka rubovi lima ostaju ne savinuti i obradak može dobiti elastični povrat. [13]

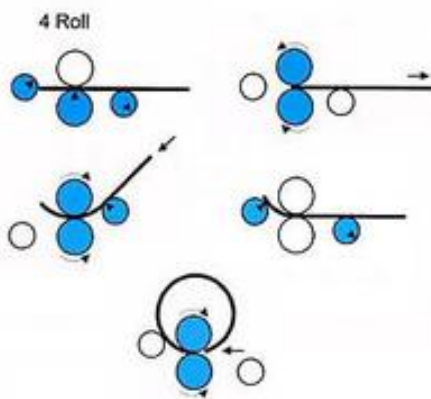


Slika 11. Postupak kružnog savijanja lima [17]

## 2. Savijanje lima s četiri valjka

Kod ovog postupka savijanja jedan valjak služi kao radni valjak dok ostalih tri rade kao oslonac. Postupak se provodi tako da se lim stavlja između gornjeg valjka koji je veći i donjeg valjka koji je manji. Gornji valjak služi nam kao pogonski valjak dok donji može pomicati lim vertikalno i on tlači lim prema većem valjku. [13]

Način rada savijanja lima sa četiri valjka identičan je radu savijanja lim sa tri valjka.



Slika 12. Različiti načini savijanja lima sa četiri valjka [18]

### 2.3.3. Postupak obrade lima dubokim vučenjem

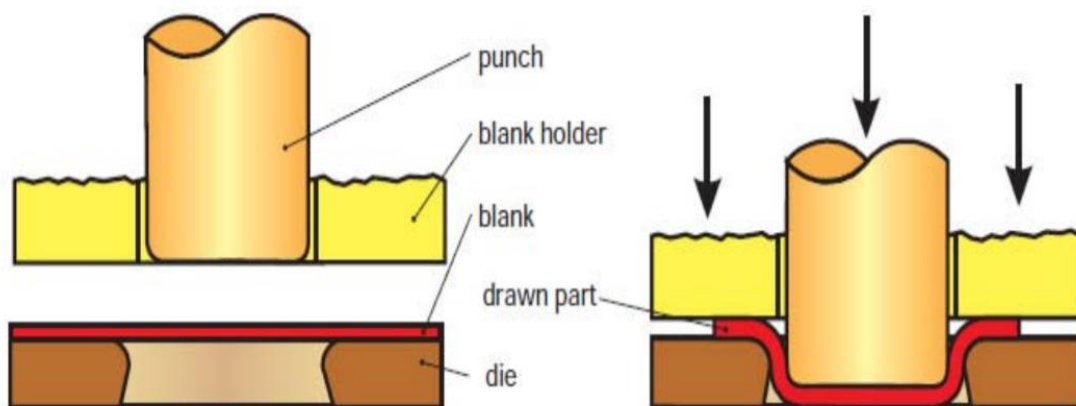
Postupak duboko vučenje je postupak obrade lima koji služi za savijanje lima veće debljine od 10 mm te se može provoditi ili u hladnom ili u toplom stanju.

Polazni materijal za duboko vučenje je ravna ploča ili lim debljine od 0,02 do 50 mm koji mora biti duktilan i mora imati kemijski obrađenu površinu. Kako bi se postupak dobro odvija mora se provoditi sa nekoliko alata i u više faza. Zbog toga što se postupak ponavlja u više faza, dolazi do očvrnuća materijala pa je potrebno rekristalizacijsko žarenje. [19]

Osnovni alat se sastoji od tri dijela:

- Žig
- Matrica
- Tlačni prsten – sprječava pojavu nabora na rubu posude

Ovaj postupak služi nam za izradu posuda, rezervoara, sudopera, čahura...



Slika 13. Postupak dubokog vučenja [20]



### 3. Definiranje upravljanja kvalitetom

Kontrolu kvalitete možemo promatrati sa dva gledališta: potrošača i proizvođača. Sa gledališta potrošača, kvalitetu možemo gledati u obliku neke vrijednosti, cijene ili korisnosti, dok sa gledališta proizvođača, kvalitetu povezujemo sa raznim postupcima oblikovanja i preoblikovanja kako bi zadovoljili potrebe kupaca.

Kako bismo bolje shvatili pojam kontrole kvalitete, definirana je opće i službeno.

Opća definicija kvalitete jest to da je to mjera iznosa apsolutne uporabne vrijednosti nekog proizvoda za zadovoljenje točno određene potrebe na mjestu i u točno određenom trenutku. Druga opća definicija kvalitete jest to da je ona pretpostavka društvenog priznanja i transformacije u robu, tako da je to osnovni uvjet za život i rad nekog proizvođača i njegovog pojavljivanja na tržište.

Službena definicija kvalitete prema normi HRN EN ISO 8402 je to da je ona ukupnost svojstava stanovitog entiteta koja ga čine sposobnim zadovoljiti izražene ili pretpostavljene potrebe. Također prema normi ISO 9000:2000 kvaliteta je stupanj do kojeg skup svojstvenih karakteristika ispunjava zahtjeve, te su dane dvije napomene [21]:

1. Pojam kvaliteta može se koristiti s atributima: nedovoljan, dobar, izvrsna
2. Svojstven znači postojanje u nečemu, stalna karakteristika

#### 3.1. Povijesni razvoj kvalitete

Kontrola kvalitete postoji još i prije modernog doba, a njezin razvoj sagledat ćemo od početka 13. stoljeća, odnosno od srednjovjekovnog doba Europe.

Na slici 14 prikazan je detaljniji razvoj kontrole kvalitete.



Slika 14. Postupak dubokog vučenja [22]

### **3.1.1. Srednjovjekovno doba Europe**

U ovom dobu, kvaliteta započinje tako da su obrtnici počeli organizirati udruge koje se zovu cehovi krajem 13. stoljeća. Njihova odgovornost je bila donositi stroga pravila u području kvalitete i kvalitete proizvoda i usluga, te se na takve proizvode stavljala posebna oznaka ili simbol koji bi značio da su ova pravila provedena. Također postojala je i druga oznaka koju su obrtnici stavljali koja se koristila za praćenje izvora neispravnih materijala, te bi se nakon nekog vremena koristila za predstavljanje obrtnikove dobre reputacije. Ovi znakovi koristili bi se kao dokaz kvalitete kupcima širom Europe, te se koristio sve do 19. stoljeća. [22]

### **3.1.2. Industrijska revolucija**

Početak 19. stoljeća Sjedinjene Američke Države počele su slijediti model izrade koji se koristio u Europskim zemljama. Većina obrtnika prodaje svoje proizvode lokalno, kako bi dobili veći udio zadovoljenja kupaca prema kvaliteti. Ako potrebe nisu bile zadovoljene, tada obrtnik riskira veliki gubitak zadovoljstva i broj kupaca. Zbog toga se kontrola kvalitete vrši još i prije nego se roba prodaje. [22]

Tvornički sustav, koji je razvijen tijekom industrijske revolucije, počeo je dijeliti usluge u specijalizirane zadatke. Zbog toga obrtnici su morali postati tvornički radnici, a vlasnici su morali postati nadzornici proizvodnje, što je označilo početak pada osjećaja snage i autonomije zaposlenika na radnom mjestu. Kvaliteta u tvorničkom sustavu osigurana je vještinom radnika i inspekcijom. [22]

Federick W. Taylor razvio je ovaj sustav i njegov je cilj bio povećati produktivnost bez povećanja kvalificiranih obrtnika. To je postigao dodjeljivanjem tvorničkog planiranja specijaliziranim inženjerima i korištenjem obrtnika i nadzornika kao inspektora, te menadžera koji su izvršili planove inženjera. Kako bi otklonili pad kvalitete, voditelji su stvorili posebne odjele koji bi spriječile da neispravni proizvodi dođu do kupca. [22]

### **3.1.3. Drugi svjetski rat**

U ovom razdoblju kvaliteta je postala ključna komponenta ratnih napora i važno sigurnosno pitanje. Nesigurna vojna oprema bila je neprihvatljiva i bilo je potrebno pregledavati gotovo svaku proizvedenu jedinicu kako bi se osiguralo sigurnost za određenu operaciju proizvoda. Ovo je zahtijevalo veliku inspeksijsku snagu i stvaralo je probleme u zapošljavanju i zadržavanju dobrog

inspekcijskog osoblja. Kako bi olakšali probleme bez ugrožavanja sigurnosti proizvoda, oružane snage počele su kontrolirati uzrokovanja problema, koja bi zamijenila kontroliranje problema po jedinicama. Također oružane snage su pomagale dobavljačima poboljšanje kvalitete sponzorirajući tečajevе obuke u tehnikama statističke kontrole kvalitete Waltera Shewharta. [22]

### **3.1.4. Početak 20. stoljeća**

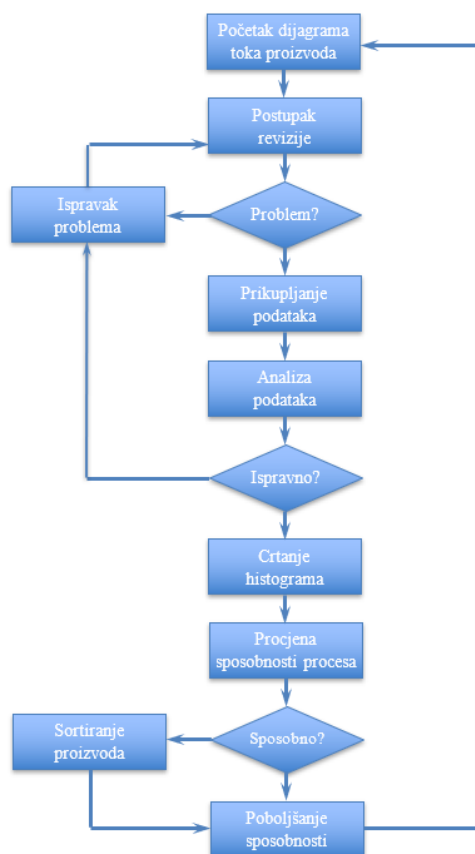
Početak 20. stoljeća u praksu kvalitete uključio se proces. Proces je definiran kao skupina aktivnosti koji ima ulaznu jedinicu, daje mu vrijednost te mu daje izlaz. Time kvaliteta postaje važna ne samo za gotov proizvod, nego i za procese koji su ga stvorili. [22]

Shewart je utvrdio da se podaci, dobiveni industrijskim procesima mogu analizirati statističkim tehnikama kako bi se utvrdio je li postupak stabilan i kontroliran ili su na njega utjecali posebni uzroci koji bi trebali biti uklonjeni. [22]

## **3.2. Definiranje kontrole kvalitete**

Kontrola kvalitete je postupak kojim se želi osigurati da se stvoreni proizvod pridržava definiranog skupa kriterija kvalitete ili zadovoljava zahtjevima kupca.

Kontrola kvalitete ispituje razne jedinice i utvrđuje jesu li u okviru specifikacija za konačni proizvod. Cilj ovog ispitivanja jest utvrđivanje bilo kakve potrebe za korekcijom proizvoda u proizvodnom procesu, te nam pomaže u zadovoljavanju potreba kupaca i izradi boljih proizvoda. Kako bismo dobili kvalitetno ispitivanje kontrole kvalitete, potrebno je uključiti svaki korak proizvodnog procesa. Ispitivanje najčešće počinjemo od sirovca, nakon toga ispituje se poluproizvod koji se izvlači iz proizvodnog procesa, te se na kraju ispituje gotov proizvod. Ovim postupkom možemo lakše utvrditi gdje se javlja problem te kako bismo ga lakše mogli ukloniti i spriječiti ponovni nastanak u budućnosti.



Slika 13. Dijagram analize sposobnost procesa [23]

### 3.2.1. Koraci za razvoj kontrole kvalitete

Kontrola kvalitete jedna je od ključnih komponenta za dobro vođenje poslovanja. Razvijanjem procesa kontrole kvalitete omogućujemo da se poslovanje radi bez voditelja. Time se olakšava širenje na nova radna mjesta i prodaja tvrtke.

Za rast nekog poslovanja potrebna je velika pažnja prema novcima i ljudima, a kontrola kvalitete nam osigurava provjeru i jednog i drugog. Ako su proizvodi loše kvalitete, onda će se potrošiti puno vremena i novca na njihovo preuređenje i rezanje u svoje profitne margine.

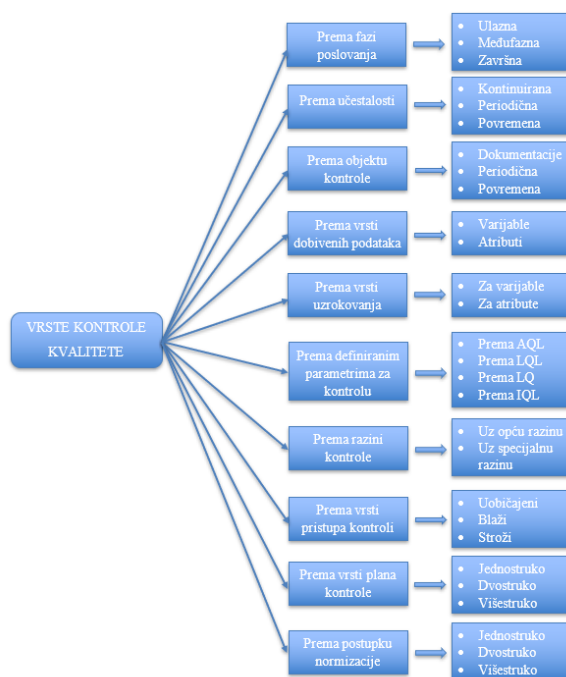
Kako ne bi došlo do ovih nepoželjnih pojava, potrebno je razvijati proces kontrole kvalitete koju radimo u šest koraka [24]:

1. Postaviti svoje standarde kvalitete – u nekim poslovanjima potrebno je ispuniti postojeće standarde kvalitete koje je postavilo neko vanjsko tijelo, dok u drugim poslovanjima ne postoje službeni standardi kvalitete pa se moraju izraditi. Svaki odjel mora imati svoje standarde kontrole kvalitete koji se većinom mjere objektivno.

2. Odlučiti na koje standarde kvalitete ćemo se usredotočiti – potrebno se je usredotočiti na najvažnije mjere, odnosno mjere koje imaju najveći utjecaj na zaradu i iskustvo s kupcima, što nam omogućuje brzo postizanje rezultata.
3. Stvoriti operativne procese za postizanje kvalitete – Ako osmislimo dobre procese proizvodnje raznih proizvoda, neprestano mjerimo rezultate procesa i radimo na dosljednom poboljšanju procesa, onda će proizvod biti sve bolji i bolji.
4. Pregledati rezultate – potrebno je redovito pregledavati podatke kako bi vidjeli koliko dobro tvrtka ispunjava svoje standarde kvalitete.
5. Dobivanje povratne informacije – upotreba mjerljivih povratnih informacija iz vanjskih izvora da bi dobili bolju sliku o kvaliteti proizvoda i usluga, također redovito dobivanje povratnih informacija od zaposlenika.
6. Poboljšavanje – bez obzira kako dobro se izvode procesi, kontrola kvalitete pokazuje da uvijek postoji prostor za poboljšavanje, a uvođenjem manjih promjena može doći do velikih poboljšanja.

### 3.2.2. Vrste kontrole kvalitete

Kontrolu kvalitete možemo podijeliti na mnogo načina zbog toga što postoji puno utjecajnih faktora. Možemo ih podijeliti prema: fazi poslovanja, predmetu koji se kontrolira, razini kontrole... Slika 14 prikazuje detaljniju podjelu kontrole kvalitete



Slika 14. Vrste kontrole kvalitete [25]

Ovisno o tome kako se proizvod proizvodi i prodaje, kontrolu kvalitete možemo podijeliti na:

- Unutarnja
- Vanjska

### **1. Unutarnja kontrola kvalitete**

Ako se uspostavi protokol, u poduzeću koji proizvodi neki proizvod, za provjeru sustava, onda se to naziva unutarnja kontrola kvalitete. S njome možemo raditi rutinske provjere opreme, redovito pregledavati podatke zaposlenika ili izvršavanja standarda i kontrole. Općenito je na upravi da provjere jesu li mjere unutarnje kontrole pouzdane i provode li se prema potrebi. Nizom postupaka, koje radi osoblje, kontinuirano se prati rad i rezultati mjerenja kako bi se odlučilo jesu li rezultati dovoljno pouzdani da se objave.

Ovaj sustav dizajniran je da poveća vjerojatnost da je svaki rezultat koji je prijavio neka tvrtka valjan i da se može koristiti za daljnju obradu.

Ovaj kontrola obuhvaća [25]:

- Uporabu potvrđenih standarda
- Periodična uporaba referencijskih uzoraka
- Ponavljanje mjerenja istog uzorka
- Ponavljanje mjerenja zamjenom analitičara
- Validacija metoda
- Uporabom kontrolnih karata i statističkih alata
- Procjena mjerne nesigurnosti metoda ispitivanja

### **2. Vanjska kontrola kvalitete**

Ako se proizvodi ili podaci šalju nekoj vanjskoj tvrtki koja nije povezana s našom tvrtkom, onda se govori o vanjskoj kontroli kvalitete. Ona ocjenjuje rezultate laboratorijskog ispitivanja uspoređujući ih s rezultatima sličnih laboratorija. Posebno pripremljeni uzorci dobivaju se u više laboratorija koji sudjeluju u programu ispitivanja osposobljenosti.

Danas su razvijena dva oblika vanjske kontrole [21]:

- Neizravna ili pasivna – ogleda se u rastu ili padu konkurentnosti, odnosno povećanju ili smanjenju tržišta. Ona je mnogo opasnija od izravne jer se pogreške teže ispravljaju.

- Izravna ili aktivna – podrazumijeva nametnute propise i zakone kojima društvo određuje minimalnu potrebu kvalitete. Ona obuhvaća:
  - Stalne informacije od korisnika i korisnicima o kvaliteti proizvoda
  - Norme i druge zakonske propise koji se odnose na proizvod
  - Norme i druge zakonske propise koji se odnose na organizaciju
  - Stalna kontrola rada tvrtke, dobavljača i partnera
  - Zahtjevi za podizanjem kvalitete
  - Zahtjevi za povlačenjem proizvoda s tržišta

### 3.2.3. Statistička kontrola kvalitete

Statistička kontrola kvalitete je postupak uporabe statističkih metoda praćenja i održavanja kvalitete proizvoda ili usluga.

Ona je važna zbog toga što daje maksimalnu produktivnost i minimalizira pogreške povezane s ljudskom prosudbom. Statistička kontrola kvalitete oslanja se na statistiku i izvještaje o podacima kako bi se procijenila kvaliteta te je stoga ona učinkovito sredstvo za ocjenjivanje izrađenog proizvoda. Također, pomaže nam u održavanju dosljednosti izrade proizvoda, te može uključivati analizu uzroka i posljedice, listove provjera, histograme, Pareto dijagrame... Ovi grafikoni su dio statističkog procesa koji nadgledava proizvodni proces, pomažu u dekodiranju statistike i podataka iz izvješća o kontroli kvalitete. [26]

Postoje dvije metode statističke kontrole kvalitete. Jedna metoda se naziva prihvatljivo uzrokovanje. Ona se može koristiti kada se mora donijeti odluka o prihvaćanju ili odbijanju skupine dijelova ili predmeta na temelju kvalitete pronađene u uzorku.

Druga metoda naziva se statistička kontrola procesa i to je metoda kontrole kvalitete koja koristi statističke metode za praćenje i kontrolu procesa. Pomaže nam osigurati da postupak djeluje učinkovito, izrađujući proizvode koji više odgovaraju specifikacijama s manje otpada. Statistička kontrola procesa može se primijeniti na bilo koji postupak u kojem se može izmjeriti izlaz sukladnog proizvoda, odnosno proizvoda koji ispunjava specifikacije. Ključni alati koji se koriste u statističkoj kontroli kvalitete sadrže kontrolne tablice, grafikone izvođenja, dizajn eksperimenata i fokus na kontinuirano poboljšavanje.

Ograničenja kod statističke kontrole kvalitete su:

1. Ne može se neselektivno primijeniti kao rješenje za sve loše kvalitete
2. Provedba statističke kontrole kvalitete skup je pothvat
3. Lažni osjećaj sigurnosti stvara se u nedostatku opće savjesti
4. Budući da se pruža samo informativna usluga, ne može se smanjiti odgovornost menadžera

Prednosti statističke kontrole kvalitete [27]:

1. Pruža način otkrivanja pogreške prilikom pregleda
2. Dovodi do ujednačenja kvalitete proizvodnje
3. Poboljšava odnos s kupcem
4. Smanjuje troškove inspekcije
5. Smanjuje broj odbijenica i štedi troškove materijala
6. Pruža osnovu za dostižne specifikacije
7. Ukazuje na uska grla i problematična mjesta
8. Pruža sredstvo za utvrđivanje sposobnosti proizvodnog procesa
9. Promovira razumijevanje i uvažavanje kontrole kvalitete

### **3.3. Troškovi kvalitete**

Troškovi kvalitete definirani su kao metodologija koja omogućuje organizaciji da utvrdi u kojoj mjeri njezini resursi koriste za aktivnosti koje sprječavaju lošu kvalitetu, odnosno koje procjenjuju kvalitetu proizvoda ili usluga organizacije i koje proizlaze iz unutarnjih i vanjskih neuspjeha. Takve informacije omogućuju organizaciji da utvrdi potencijalne uštede koje se mogu ostvariti primjenom poboljšanja procesa.

Troškove kvalitete dijelimo u četiri kategorije [28]:

- Troškovi prevencije – to je najjeftinija vrsta troškova kvalitete, pa se i zbog toga preporučuje. One mogu uključivati odgovarajuću obuku zaposlenika za sastavljanje proizvoda i statističku kontrolu kvalitete. Prevencijom nastojimo smanjiti troškove otpada.
- Troškovi procjene – provode se razne inspekcije kako bi se spriječio problem kvalitete. Najjeftinije i najbolje je imati radnike u proizvodnji koji pregledavaju dolazne i odlazne dijelove sa svojih radnih stanica. Ona uhvati probleme brže od ostalih inspekcija.
- Unutarnji kvarovi – unutarnji kvar nastaje kada se proizvodi neispravan proizvod. Najčešće se pojavljuje u obliku otpadne ili prerađene robe.



- Vanjski troškovi kvara – trošak je mnogo opsežniji u odnosu na unutarnje kvarove, jer uključuje troškove opoziva proizvoda, zahtjeva za jamstvo, terenske usluge... Također uključuje relativno neizmjenjiv trošak, odnosno trošak gubitka kupca.

U tablici 1 prikazane su podjele troškova te navedeni primjeri uz određenu vrstu troškova.

Tablica 1: Područje troškova

| Područje troškova                     |                           | Opis   | Primjer  |
|---------------------------------------|---------------------------|--|--|
| <b>Troškovi kontrole</b>              | Troškovi prevencije       | Nastaju iz napora da se nedostaci uopće ne pojave  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planiranje kvalitete</li> <li>• Statistička kontrola kvalitete</li> <li>• Ulaganja u informacijske sustave</li> <li>• Kvalitetna obuka i razvoj radne snage</li> <li>• Provjera dizajna proizvoda</li> <li>• Razvoj i upravljanje sustavom</li> </ul> |
|                                       | Troškovi procjene         | Nastaju iz otkrivanja nedostataka pregledom, ispitivanjem i revizijom                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ispitivanje na terenu</li> <li>• Provjera rada</li> <li>• Testiranje</li> <li>• Inspekcija</li> <li>• Ispitivanje prihvatljivosti</li> </ul>  |
| <b>Troškovi pogrješaka u kontroli</b> | Unutarnji kvarovi         | Nastaju iz unutarnjih nedostataka koji su otklonjeni odbacivanjem ili popravljanjem oštećenih predmeta | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Otpad</li> <li>• Prerada</li> <li>• Troškovi nabave materijala</li> </ul>   |
|                                       | Troškovi vanjskih kvarova | Nastaju iz nedostataka koji dopiru do kupaca   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prigovori u jamstvu</li> <li>• Prigovori izvan jamstva</li> <li>• Usluga proizvoda</li> <li>• Odgovornost za proizvod</li> <li>• Opoziv proizvoda</li> <li>• Gubitak ugleda</li> </ul>  |

### 3.4. Alati i metode poboljšavanja kvalitete

Nakon što se uspostavi i shvati osnovni postupak rješavanja problema ili poboljšavanja kvalitete, dodavanjem alata za kvalitetu, postupak se može brže i sustavnije odvijati.

Postoji sedam osnovnih alata kvalitete, a to su [32]:

- Kontrolni list
- Histogram
- Pareto dijagram
- Kontrolna karta
- Dijagram tijeka
- Dijagram raspršenja
- Dijagram uzroka i posljedice

Samo koncept rada iza kojih stoji sedam osnovnih alata došao je od Kaoru Ishikawa. Prema Ishikawi, 95% problema povezanih s kvalitetom može se riješiti osnovnim alatima. Ključ uspješnog rješavanja problema je sposobnost prepoznavanja problema, korištenje odgovarajućih alata temeljenih na prirodi problema i brzog priopćavanja rješenja drugima.

Najčešće korišteni alati za poboljšavanje kvalitete su Pareto dijagram i dijagram uzroka i posljedice.

### 3.4.1. Kontrolni list

Kontrolni listovi su jedinstveni obrasci s određenim formatima koji mogu pomoći korisniku za sustavno bilježenje podataka u poduzeću. Podaci se prikupljaju i raspoređuju u tabelu kako bi se dalje kontrolni list koristio za bilježenje učestalosti tih određenih događaja. One pomažu korisniku organizirati podatke za kasniju uporabu, te nam služi za dosljedan, učinkovit i ekonomičan pristup koji se može primijeniti u reviziji osiguranja kvalitete. [29]

Glavne prednosti kontrolnih listova s vrlo jednostavne primjene i razumijevanje, te može davati jasnu sliku situacije i stanja organizacije. Oni su učinkovit alat za prepoznavanje čestih problema, ali nemaju učinkovitu sposobnost analiziranja problema kvalitete na radnom mjestu. [29]

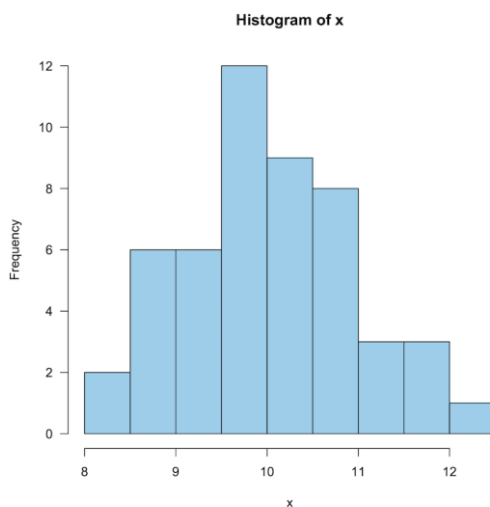
| CHECK SHEET – COMPUTER RELATED PROBLEMS |                 |               |    |    |    |       |
|---|-----------------|---------------|----|----|----|-------|
| S. NO.                                  | Problem         | Weekly Status |    |    |    | Total |
|   |                 | 1             | 2  | 3  | 4  |       |
| 1                                       | Network problem |               |    |    |    | 16    |
| 2                                       | Server Problem  |               |    |    |    | 13    |
| 3                                       | Email           |               |    |    |    | 18    |
| 4                                       | Server Access   |               |    |    |    | 17    |
| Total                                   |                 | 10            | 20 | 13 | 21 |       |

Slika 15. Primjer kontrolnog lista [30]

### 3.4.2. Histogram

Histogram prikazuje podatke u tablici raspodjele frekvencija. Razlika između histograma i kontrolnih listova je ta da su u histogramu podaci grupirani u retke, tako da se gubi identitet pojedinih vrijednosti. Histogrami se koriste za predstavljanje podataka o poboljšavanju kvalitete najbolje rade s malim količinama podataka koje se znatno razlikuju.

Histogram se može primijeniti za istraživanje i identificiranje temeljnih podataka raspodjela istraživane varijable. [29] Slika 16 prikazuje jedan primjer histograma.

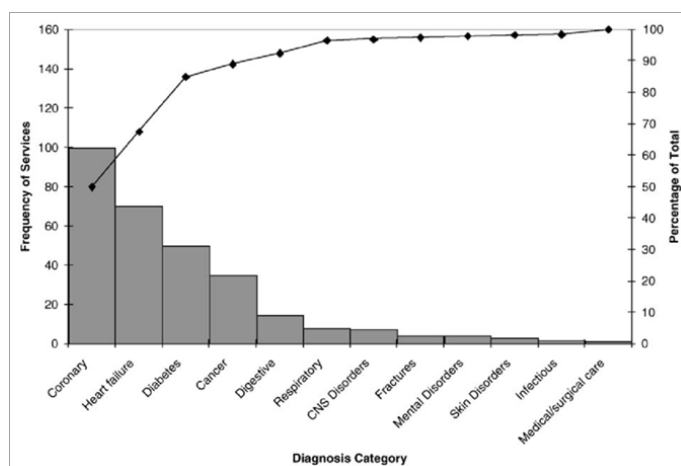


Slika 16. Primjer histograma [31]

### 3.4.3. Pareto dijagram

Pareto dijagram predstavio je Vilfredo Pareto, koji je tijekom istraživanja dobitka i drugih nejednakih raspodjela, primijetio da je 80% bogatstva u vlasništvu 20% stanovništva. Kasnije je Pareto dijagram razvio Juran 1950. godine. Pareto dijagram je posebna vrsta histograma koji se lako može primijeniti za pronalaženje i određivanje prioriteta kvalitete, probleme, uvjete ili njihovih uzroka u organizaciji. Također to je vrsta stupnih dijagrama koji prikazuje relativnu važnost varijabli, koji je postavljen u padajućem redoslijedu s lijeve strane na desnu stranu grafikona. Cilj Paretovog dijagrama je utvrditi različite vrste nesukladnosti iz podataka o održavanju, podataka o popravcima, dijelovima otpada ili nekih drugih izvora. Također Pareto dijagram može generirati srednju vrijednost za istraživanje, poboljšavanje kvalitete, poboljšavanje učinkovitosti... [29]

Slika 17 prikazuje primjer Paretovog dijagrama.



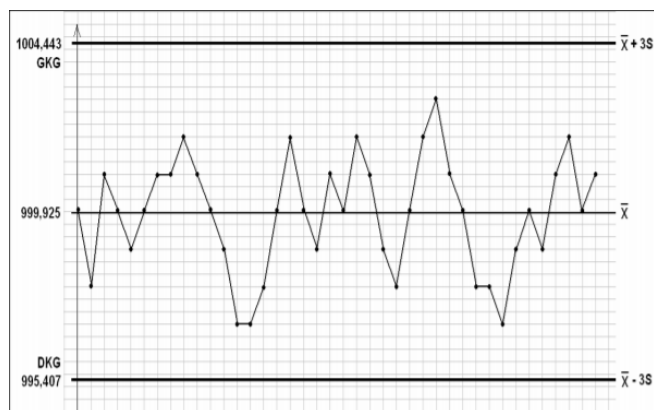
Slika 17. Primjer Paretovog dijagrama [32]

### 3.4.4. Kontrolne karte

Kontrolne karte prikazuju statistički određene gornje i donje granice povučene s obje strane presjeka. Ovaj grafikon pokazuje jesu li prikupljeni podaci unutar gornje ili donje granice prethodno utvrđene statističkim izračunima sirovih podataka iz ranijih ispitivanja.

Konstruiranje kontrolne karte temelji se na statističkim načelima i statističkim raspodjelama, posebno na normalnoj raspodjeli. Središnja crta kontrolne karte predstavlja procjenu srednje vrijednosti procesa. Rezultati procesa prate se tijekom vremena i trebali bi ostati unutar kontrolnih granica. Ako ne ostanu onda se provodi istraga o uzrocima i poduzetim korektivnim radnjama. Kontrola kvalitete pomaže nam u određivanju varijabilnosti kako bi se mogla smanjiti onoliko koliko je to ekonomski opravdano.

Slika 18 prikazuje primjer kontrolnih karta.

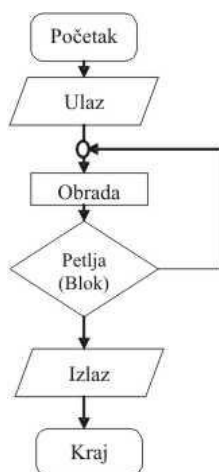


Slika 18. Primjer kontrolnih karta [33]

### 3.4.5. Dijagram tijeka

Dijagram tijeka prikazuje shematsku sliku koja označava niz simbola za opisivanje slijeda koraka koji postoje u operaciji ili procesu. Također, on vizualizira sliku uključujući ulaze, aktivnosti, točke odlučivanja i izlaz za lako korištenje i razumijevanje koji se tiču ukupnog cilja kroz proces. Ovaj grafikon koristi se kao alat za rješavanje problema, za otkrivanje i analizu područja ili točaka procesa koje mogu imati potencijalnih problema kod dokumentiranja i objašnjavanja operacija, pa je vrlo korisno pronaći i poboljšati kvalitetu u procesu. [29]

Slika 19 prikazuje primjer dijagrama tijeka.

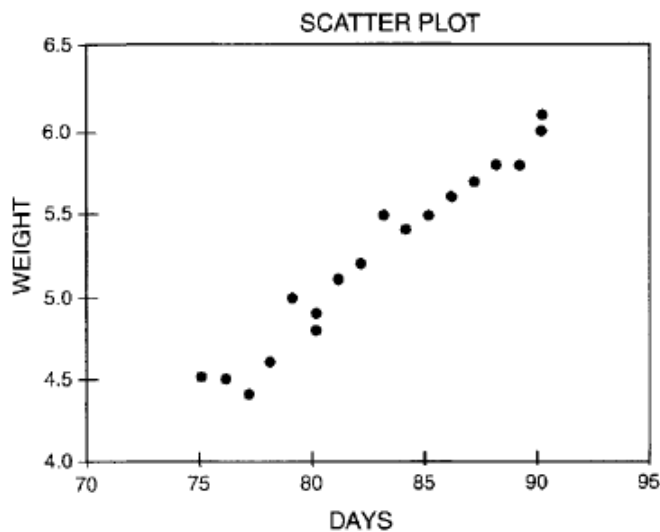


Slika 19. Primjer dijagrama tijeka [34]

### 3.4.6. Dijagram raspršenja

Dijagram raspršenja služi za crtanje distribucija informacija u dvije dimenzije, što pomaže u otkrivanju i analizi odnosa uzoraka između dvije varijable kvalitete, usklađenosti i razumijevanja postoji li odnos između njih. Oblik dijagrama raspršenja često prikazuje stupanj i smjer odnosa između varijable i korelacija može otkriti uzroke problema. Ovi dijagrami vrlo su korisni u regresijskom modeliranju, te može ukazati na to kakva korelacija postoji između dvije varijable, a ona može biti [29]:

- Pozitivna korelacija
- Negativna korelacija
- Nema korelacije

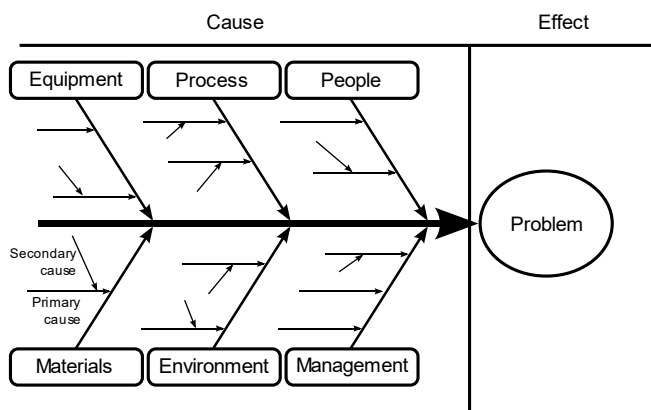


Slika 19. Primjer dijagrama raspršenja [35]

### 3.4.7. Dijagram uzroka i posljedice

Ovaj dijagram također je poznat kao Ishikawa dijagram te on opisuje odnos između varijabli. Neželjeni ishod prikazan je kao učinak, a povezani uzroci kao da vode ili mogu dovesti do navedenog učinka. Također ovaj dijagram ima i ograničenja, jer korisnici mogu predvidjeti važne složene interakcije između uzroka. Stoga, ako je problem uzrokovan kombinacijom čimbenika, teško je koristiti ovaj alat za njihovo prikazivanje i rješavanje.

Ovaj dijagram prikazuje sve čimbenike koji doprinose i njihov odnos s ishodom kako bi se identificirala područja na kojima podaci trebaju prikupljati i analizirati. Temeljna analiza svakog uzroka može ukloniti uzroke jedan po jedan, a najvjerojatniji osnovni uzorak može se odabrati s korektivne mjere.



Slika 19. Primjer dijagrama uzroka i posljedice

## 4. Kontrola kvalitete u procesima rezanja lima

### 4.1. Norma DIN EN ISO 9013

Ovaj se standard odnosi na materijale prikladne za plameno rezanje, rezanje plazmom te rezanje laserom. U tablici 2 nalaze se mjere, odnosno debljine koje su prikladne za ovo rezanje.

Tablica 2: Mjere debljina za pojedinu vrstu rezanja

| Postupak rezanja | Debljina    |
|------------------|-------------|
| Rezanje plazmom  | 3 – 300 mm  |
| Rezanje plamenom | 1 – 150 mm  |
| Lasersko rezanje | 0,5 – 40 mm |

Ovaj standard uključuje geometrijske specifikacije proizvoda i tolerancije kvalitete. Geometrijske specifikacije proizvoda primjenjive su ako je upućeno da ovaj međunarodni standard napisan u crtežu ili odgovarajućem dokumentu.

Ako se ovaj međunarodni standard iznimno primjenjuje na dijelove proizvedene različitim postupcima rezanja, onda se to mora posebno dogovoriti.

#### 4.1.1. Određivanje kvalitete reznih površina

Ovi zahtjevi nam služe u svrhu pokazivanja mjernih postupaka i mjernih instrumenata pomoću kojih je moguće utvrditi i procijeniti karakteristične vrijednosti površine reza. Pri odabiru mjernih instrumenata mora se voditi računa da granična vrijednost pogrešaka ne budu veće od 20% karakterističnih vrijednosti koje se mjere.

Provjera mjera materijala mora se provoditi na vanjskim područjima rezova, uključujući nedostatke. Kao referentni elementi uzimaju se gornja i donja strana termičkog rezanog radnog predmeta. Oni će biti jednaki i čisti.

Kako bi se definirala ravnost, referentni element i ravna mjerna linija moraju se poravnati jedan s drugim tako da je maksimalna udaljenost između ravnih mjernih linija i stvarne površine jednaka minimalnoj.

### 4.1.2. Kvaliteta rezane površine

Kvaliteta reznih površina termički rezanih materijala opisuje se sljedećim karakterističnim vrijednostima:

#### a) Tolerancija okomitosti

Rasponi tolerancije okomitosti prikazani su u tablici 3.

Tablica 3: Rasponi tolerancije okomitosti

| Raspon | Tolerancija okomitosti |
|--------|------------------------|
| 1      | 0,05 + 0,003a          |
| 2      | 0,15 + 0,007a          |
| 3      | 0,4 + 0,01a            |
| 4      | 0,8 + 0,02a            |
| 5      | 1,2 + 0,035a           |

#### b) Srednja visina profila

#### c) Povlačenje

#### d) Taljenje gornjeg ruba

#### e) Moguća pojava kapljica otpadaka ili topljenja na donjem rubu reza

Zadnje tri karakteristične vrijednosti mogu se samo koristiti kao dodatne vrijednosti.

### 4.1.3. Dimenzijske tolerancije

Dimenzije na crtežima se uzimaju kao nazivne dimenzije, dok su stvarne dimenzije određene na čistim reznim površinama.

## 4.2. Lasersko rezanje

Lasersko rezanje lima uglavnom je toplinski postupak u kojem se fokusirana laserska zraka koristi za topljenje materijala u lokaliziranom području. Koaksijalni mlaz koristi se za izbacivanje rastaljenog materijala i stvaranje proreza. Kontinuirani rez se postiže pomicanjem laserske zrake ili obratka pod CNC kontrolom. [Slika 20]



Postoje tri glavne vrste rezanja [36]:

- Fuzijsko rezanje
- Plameno rezanje
- Daljinsko rezanje

Kod fuzijsko rezanja koristi se inertni plin za istjerivanje rastaljenog materijala iz otvora. Dušik ne reagira egzotermno s otopljenim materijalom i na taj način ne pridonosi unosu energije. [36]

Pri rezanju plamenom koristi se kisik kao pomoćni plin. Uz djelovanje mehaničke sile na rastaljeni materijal, stvara se egzotermna reakcija koja povećava ulaznu energiju u procesu. [36]

Pri daljinskom rezanju materijal se djelomično isparava laserskom zrakom visokog intenziteta, što omogućuje rezanje tankih listova bez pomoćnog plina. [36]



*Slika 20. Lasersko rezanje lima [37]*

Poboljšavanja u točnosti, kontroli unosa topline i kvalitetno izrađenim rubovima znače da laserski postupak sve više zamjenjuje druge tehnike rezanja profiliranjem, poput plazme. Na tržištu postoje mnogi vrhunski laserski strojevi za rezanje koji se mogu koristiti za rezanje metala, drva...

Postoje razne prednosti laserskim rezanjem, kao što su:

- Lasersko rezanje je brzo u usporedbi s drugim tradicionalnim tehnikama rezanja jer je većina posla automatizirana.
- Držanje komada lakše je laserskim rezanjem nego mehaničkim rezanjem.
- Rezovi dobiveni laserom precizniji su od bilo koje druge metode rezanja metala.

- Ne dolazi do kontakta s drugim metalima kako bi se olakšao rez. Zbog toga se metal reže finije bez ikakvih onečišćenja.

Također uz ove prednosti postoje i nedostaci, kao što su:

- Lasersko rezanje zahtijeva veliku potrošnju energije u usporedbi s drugim tehnikama.
- Laserskom zrakom potrebno je vrlo nježno rukovanje.
- Lagana pogreška prilikom podešavanja udaljenosti i temperature može dovesti do izgaranja ili promjene boje metala.
- Laserska zraka je štetna ako dođe u kontakt s radnicima. Može izazvati ozbiljne opekline.
- Laserskim rezanjem ne možemo rezati deblje metale

Postupak laserskog rezanja možemo koristiti kod šesterosnih robota za trodimenzionalno lasersko rezanje ili za troosovinske ravne sustave ili za automatizaciju izvanmrežnih CAD/CAM sastava.

Postupak laserskog rezanja uključuje fokusiranje laserske zrake, najčešće lećom, na mjesto koje ima dovoljnu snagu za lasersko rezanje. Promjer žarišne točke laserskog rezanja i dubina fokusiranja ovise o promjeru sirovog laserskog snopa na leći i žarišnoj duljini leće. Za konstantan promjer sirove laserske zrake, smanjenjem žarišne duljine leće rezultira manjim promjerom žarišne točke i dubine fokusiranja. Za duljinu leće s konstantnim fokusom, povećanjem promjera sirovog snopa također smanjuje promjer žarišne točke i dubine fokusiranja.

Zahtjevi za rezanje su:

- Velika gustoća snage i mala fokusirana veličine žarišne točke
- Velika dubina fokusa za obradu debljih materijala s razumnom tolerancijom na promjenu položaja fokusa

Budući da su ova dva zahtjeva u sukobu, mora se napraviti kompromis. Jedino što treba uzeti u obzir je to da je žarišna duljina kraća, leća je bliža obratku i stoga je veća vjerojatnost da će se oštetiti prskanjem u procesu rezanja.

Moguće je optimizirati žarišnu debljinu materijala, ali to bi uključivalo dodatno vrijeme postavljanja pri promjeni s jednog posla na drugi, što bi trebalo uravnotežiti s povećanom brzinom. U stvarnosti se izbjegava promjena leće i koristi se takozvana kompromitirana brzina, osim ako određeni posao nema posebne zahtjeve.

### 4.2.1. Kontrola kvalitete laserskog rezanja

Kontrola kvalitete jedna je od najvažnijih postupaka kako i kod ostalih obrada tako i kod laserskog rezanja lima. Ona nam služi kako bismo poboljšali samo proces laserskog rezanja, ta kako bi dobili kvalitetni proizvod. Potrebno je kvalitetno i dobro održavanje laserskog rezača te je potrebno obratiti na ključne indikatore performansi rezanja. One nam daju informaciju kakva je kvaliteta laserskog rezanja.

Kontrola kvalitete laserskog rezanja uglavnom ovisi o kvaliteti rezanja što je najizravniji način za ispitivanje kvalitete opreme za lasersko rezanje.

Postoji 9 standardnih veličina koji se provjeravaju tijekom laserskog rezanja.

#### 1. Hrapavost

Presjekom laserskog rezanja stvaraju se okomite crte, te dubine crte određuje hrapavost površine. Ako je ta linija rezanja lakša, onda je rezni dio glatkiji.

Hrapavost može utjecati na izgled ruba i također može utjecati i na karakteristike trenja.

Mjerenje hrapavosti možemo provesti sa uređajem prikazan na slici 21.



*Slika 21. Instrument za mjerenje hrapavosti [38]*

#### 2. Okomitost

Ako je debljina materijala veća od 10 mm, tada je jako važno provjeriti rub reza. Laserska zraka se razilazi kada je daleko od fokusa te se širina rezanja povećava prema vrhu ili dnu od položaja fokusa. Zbog toga rezni rub može odstupati par milimetara od okomite linije.

Što je rezni rub okomitiji, to je kvaliteta reza bolja.

### **3. Širina rezanja**

Najčešće širina rezanja neće imati utjecaj na kvalitetu rezanja, osim ako se formira obris kod unutarnjih dijelova velike preciznosti, jer širina rezanja određuje naznačeni minimalni unutarnji promjer. Kada se debljina ploče poveća, širina rezanja se također mora povećati. Zbog toga, kako bi se osigurala ista preciznost rezanja, bez obzira na širinu reza, radno područje obratka u laserskom rezaču mora biti konstantno.

### **4. Linija reza**

Tijekom rezanja debljih ploča velikom brzinom, rastaljeni se metal neće pojaviti u urezu ispod laserske zrake, nego će se raspršiti na kraju obrade laserskom zrakom. Kao rezultat toga, zakrivljene linije stvaraju se na reznom rubu, a linije prate pokretnu lasersku zraku.

Kako bi se riješio ovaj problem, potrebno je smanjiti brzinu rezanja na kraju procesa laserskog rezanja što može uvelike eliminirati formiranje linije.

### **5. Izrasline**

Ovo je vrlo važan utjecajni čimbenik na kvalitetu laserskog rezanja, jer uklanjanje izraslina zahtijeva dodatno opterećenje. Tako da su ozbiljnost i količina izraslina najintuitivniji čimbenici u procjeni kvalitete rezanja.

### **6. Deponiranost materijala**

Laserski rezač prska poseban sloj ulja na površinu obratka prije nego što počinje proces rezanja. Tijekom procesa rezanja, može se koristiti zrak, odnosno ispuhivanje zraka, za uklanjanje zareza zbog isparavanja i raznih materija.

### **7. Progib i korozija**

Ova dva čimbenika štetno utječu na površinu reznog ruba, utječući na izgled. Oni se pojavljuju u pogreškama rezanja koja se općenito trebaju izbjegavati.

### **8. Zona toplinskog utjecaja**

Pri laserskom rezanju područje u blizini reza se zagrijava. Istodobno se mijenja i struktura metala. Područje toplinskog utjecaja odnose se na dubinu područja u kojem se mijenja unutarnja struktura.

## 9. Deformacija

Ako rezanje uzrokuje brzo zagrijavanje dijela, onda se on deformira. To je posebno važno za finu obradu jer su obrisi i veze obično široki samo nekoliko milimetara.

Kontroliranjem snage lasera i uporabom laserskih impulsa za sortiranje mogu se smanjiti toplina djelovanja i mogu se izbjeći deformacije.

### 4.3. Plazma rezanje

Plazma rezanje je postupak rezanja u kojem se mlaz ioniziranog plina na temperaturama iznad 20000°C koristi za taljenje i potisnuti materijal iz reza. Tijekom postupka dolazi do udara električkog luka između elektrode i obratka. Elektroda se u ovom procesu ponaša kao katoda, a obradak kao anoda. Elektroda je udubljena u mlaznicu plina koja se hladi vodom ili zrakom koja sužava luk uzrokujući stvaranje uskog visokotlačnog mlaza plazme.



*Slika 22. CNC plazma rezač MESSER*

#### 4.3.1. Definiranje plazme

Plazma je uz kruto, tekuće i plinovito stanje četvrto temeljno stanje tvari. Plazmu je moguće pronaći u prirodi, ali uglavnom u gornjim dijelovima Zemljine atmosfere.

Plazma je električno provodljiva ionizirana tvar slična plinu. To znači da nekim atomima nedostaju elektroni, a također ima slobodnih elektrona koji plutaju okolo. Plin se može pretvoriti u plazmu izlaganjem intenzivnom zagrijavanju. Zbog toga se plazma često naziva ioniziranim plinom. [39]

Plazma je slična plinu jer atomi nisu u stalnom međusobnom kontaktu. Istodobno, ponaša se slično tekućinama u smislu svoje sposobnosti protoka kada je izložen električnom i magnetskom polju.

Sveukupno plazma čini oko 99% vidljivog svemira. U našem svakodnevnom životu plazmu možemo susresti u televizorima, fluorescentnim svjetiljkama, neonskim reklamama i rezačima plazme. [39]

### **4.3.2. Proces obrade plazmom**

Nakon što mlaz plazme pogodi obradak, odvija se proces rekombinacije i plin se vraća u svoje normalno stanje, gdje intenzivno emitira toplinu. Ova toplina topi metal i protok plina ga izbacuje iz reza. Plinovi u plazmi obično su argon, argon/vodik ili dušik. Ovi inertni plinovi mogu se zamijeniti zrakom, ali za to je potrebna posebna elektroda od hafnija ili cirkonija. Korištenje komprimiranog zraka čini ovu varijantu procesa plazme vrlo konkurentnim postupkom s oksidativnim gorivom za rezanje ugljično-manganskih i nehrđajućih čelika debljine do 20 mm. Inertni plinovi su poželjni za visokokvalitetne rezove u reaktivnim legurama.

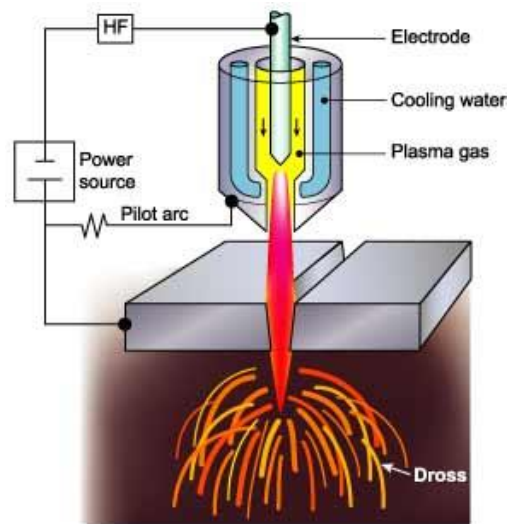
Luk plazme može rezati vrlo širok raspon elektroprovodljivih legura, uključujući običan ugljik i nehrđajući čelik, aluminij i njegove legure, legure nikla i titana. Metoda je izvorno razvijena za rezanje materijala koji se postupkom oksidativnog goriva ne mogu zadovoljavajuće rezati. Uobičajeno komponenta ili lim koji se treba rezati ostaju nepomični, a plazma gorionik se pomiče. Uz to, s obzirom da su troškovi plazma gorionika niski u usporedbi s cijenom opreme za manipulaciju, uobičajeno je da se nekoliko gorionica stavi na stol za rezanje.

Neke od prednosti plazma obradom su [39]:

- Može rezati sve vodljive materijale
- Velika kvaliteta za debljinu do 50 mm
- Maksimalna debljina rezanja iznosi 150 mm
- Relativno jeftino za rezove srednje debljine
- Veća brzina rezanja od oksidativnog goriva

Uz ove prednosti postoje neke nedostaci kao što su [39]:

- Kvaliteta s tanjim limovima i pločama nije dobra kao kod laserskog rezanja
- Tolerancije nisu toliko precizne kao lasersko rezanje
- Ne doseže debljine poput vodenog mlaza ili rezanja plamenom
- Širi otvor od laserskog rezanja



Slika 23. Postupak plazma rezanja [40]

### 4.3.3. Kontrola kvalitete plazma rezanja u poduzeću Omega

#### 4.3.3.1. O poduzeću

Tvrtka Omega d.o.o. jedna je od specijaliziranih tvrtki koja se bavi ponajviše strojnom obradom metala uz pomoć CNC tehnologije i drugih obradnih sredstava. Izrađuju se dijelovi i sredstava koja su potrebna kod autoindustrija, građevine, medicinu i sl. Također izrađuju se dijelovi koje se odvoze na daljnju obradu kod ostalih tvrtki kao što su NABA Technology, Končar, Doka i sl.



Slika 23. Postupak plazma rezanja

Središte tvrtke Omega nalazi se na adresi Breznica 3a gdje se nalazi skladište za proizvode, te se rade postupci antikorozivne zaštite kao vruće pocinčavanje. Do te tvrtke nalazi se i trgovina Omega kod koje kupci mogu razgledati te kupovati razne proizvode. Pogon u kojem se rade razne strojne obrade metala nalazi se u mjestu Vinično.

#### **4.3.3.2. Kontrola kvalitete u plazma rezanju**

Za postupak kontrole kvalitete, ali i općenito za postupak obrade metala plazma rezačem potrebno je znati sljedeće stavke:

- Vrsta stroja
- Sustav za rezanje plazmom
- Uređaj za kontrolu pokreta
- Varijable procesa
- Vanjske varijable

Važno je sagledati sve ove čimbenike kako bi dobili vrlo kvalitetni izgled reza proizvoda.

##### **4.3.3.2.1. Ulazna kontrola**

Prije same obrade materijala na plazma rezaču, potrebno je na dovedenom materijalu provesti vizualnu kontrolu stanja. Najvažniji parametar kojeg provjeravamo je debljina materijala. Moramo paziti na to je li ta debljina pogodna, odnosno može li naš rezač bez problema tu debljinu materijala rezati. U tablici 4 nalaze se granična odstupanja koje za razne mjere koje se smiju koristiti za rezanje uz pomoć termalnih rezača.

Tvrtka Omega koristi MESSER plazma rezač koji može rezati metal do 90 mm, pa čak i do 160 mm debljine ako se radi o nehrđajućem čeliku. Kako bi se olakšao odabir parametara za rezanje metala, postoje tablice koje nam definiraju ostale parametre (brzinu rezanja, početna visina probijanja...). U tablici 5 definirani su parametri kod MESSER rezača koji se najčešće koriste u tvrtki Omega.



Tablica 4: Granična odstupanja za nazivne dimenzije

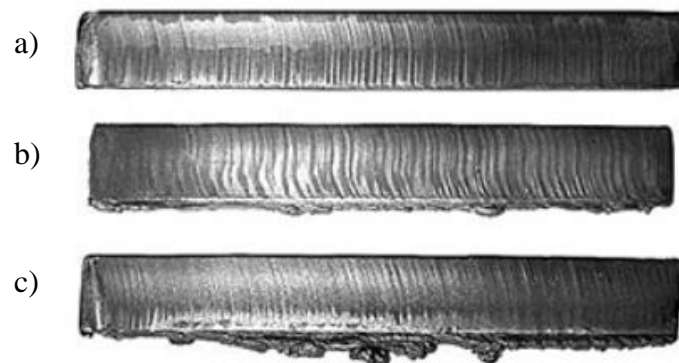
| Debljina materijala | Nazivna dimenzija   |          |           |            |             |               |                 |                 |
|---------------------|---------------------|----------|-----------|------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|
|                     | > 0 < 3             | ≥ 3 < 10 | ≥ 10 < 35 | ≥ 35 < 125 | ≥ 125 < 315 | ≥ 315 < 1 000 | ≥ 1 000 < 2 000 | ≥ 2 000 < 4 000 |
|                     | Granična odstupanja |          |           |            |             |               |                 |                 |
| > 0 ≤ 1             | ± 0,04              | ± 0,1    | ± 0,1     | ± 0,2      | ± 0,2       | ± 0,3         | ± 0,3           | ± 0,3           |
| > 1 ≤ 3,15          | ± 0,1               | ± 0,2    | ± 0,2     | ± 0,3      | ± 0,3       | ± 0,4         | ± 0,4           | ± 0,4           |
| > 3,15 ≤ 6,3        | ± 0,3               | ± 0,3    | ± 0,4     | ± 0,4      | ± 0,5       | ± 0,5         | ± 0,5           | ± 0,6           |
| > 6,3 ≤ 10          | -                   | ± 0,5    | ± 0,6     | ± 0,6      | ± 0,7       | ± 0,7         | ± 0,7           | ± 0,8           |
| > 10 ≤ 50           | -                   | ± 0,6    | ± 0,7     | ± 0,7      | ± 0,8       | ± 1           | ± 1,6           | ± 2,5           |
| > 50 ≤ 100          | -                   | -        | ± 1,3     | ± 1,3      | ± 1,4       | ± 1,7         | ± 2,2           | ± 3,1           |
| > 100 ≤ 150         | -                   | -        | ± 1,9     | ± 2        | ± 2,1       | ± 2,3         | ± 2,9           | ± 3,8           |
| > 150 ≤ 200         | -                   | -        | ± 2,6     | ± 2,7      | ± 2,7       | ± 3           | ± 3,6           | ± 4,5           |
| > 200 ≤ 250         | -                   | -        | -         | -          | -           | ± 3,7         | ± 4,2           | ± 5,2           |
| > 250 ≤ 300         | -                   | -        | -         | -          | -           | ± 4,4         | ± 4,9           | ± 5,9           |

Tablica 5: Prikaz parametara rezanja različitih debljina materijala

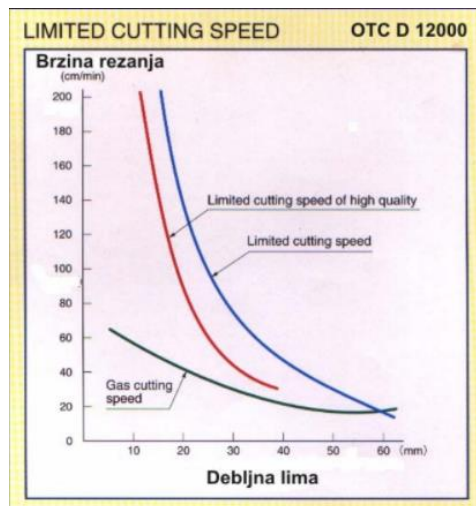
| Odabrani plinovi |                | Ulazni protok |         | Izlazni protok |         | Debljina materijala | Napon luka | Razmak gorionika i materijala | Brzina rezanja | Početna visina probijanja |            | Vrijeme odgode probijanja |
|------------------|----------------|---------------|---------|----------------|---------|---------------------|------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| Plazma           | Zaštita        | Plazma        | Zaštita | Plazma         | Zaštita | mm                  | Volta      | mm                            | mm/m           | mm                        | Faktor u % | sekunda                   |
| O <sub>2</sub>   | O <sub>2</sub> | 70            | 30      | 81             | 14      | 0,8                 | 110        | 1,0                           | 6 500          | 2,0                       | 200        |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 1                   | 111        |                               | 5 000          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 1,2                 | 112        |                               | 4 150          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 1,5                 | 114        | 1,3                           | 3 200          | 2,6                       |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 2                   | 115        |                               | 2 700          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 2,5                 | 117        |                               | 2 200          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 3                   | 119        | 1,5                           | 1 800          | 3,0                       |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 4                   | 121        |                               | 1 400          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 5                   | 122        |                               | 1 200          |                           |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 6                   | 126        | 2,0                           | 950            | 4,0                       |            |                           |
|                  |                |               |         |                |         | 7                   | 128        |                               | 780            |                           |            |                           |
| 8                | 130            | 630           |         |                |         |                     |            |                               |                |                           |            |                           |

Uz debljinu, potrebno je znati i vrstu materijala od čega je lim napravljen. Pošto tvrtka koristi MESSER rezač onda se najčešće koristi lim od niskougličnog čelika i nehrđajući čelik.

Kako je i navedeno u tablici 5, uz debljinu materijala navedene su i brzine rezanja tog materijala. Slika 24 prikazuje kakve se pogreške javljaju tijekom prebrzog ili presporog načina rezanja. Ponekad je potrebno provjeriti jesu li parametri rezanja dobro navedeni u uređaj kako ne bi došlo do razvijanja greške. Ako je brzina rezanja premala, onda mlaz plazme počinje rezati više materijala nego što je potrebno. Luk reza počinje se širiti u promjeru, te zbog takve brzine mlaz plazme više ne izbacuje rastaljeni materijal iz reza. Kao rezultat toga rastaljeni materijal se počinje nakupljati duž donjeg ruba ploče. Također ako je brzina rezanja velika, tada luk može zaostajati u udubljenju, te se ostavlja mala tvrda kuglica neobrezanog materijala na dnu pločice. Kako bi se taj dio uklonio, potrebno je zahtijevano opsežna obrada tog materijala. Ako je brzina ekstremno velika tada luk postaje nestabilan i počinje oscilirati. Pri tim brzinama luk ne može probiti metal. Kako bismo bolje znali odabrati brzinu rezanja za određenu debljinu materijala, dijagram 1 prikazuje ovisnost brzine rezanja o debljini materijala.



Slika 24. Ovisnost kvalitete rezanja o brzini: a) pogodna brzina rezanja, b) prevelika brzina rezanja, c) premala brzina rezanja



*Dijagram 1. Ovisnost brzine rezanja o debljini materijala*

Prije početka proizvodnje velike serije dijelova, potrebno je provjeriti dijelove plazma rezača. Postoje brojni dijelovi koji se zbog djelovanja vrlo visoke temperature mogu trošiti. Održavanje tih dijelova vrlo je važno kako bi se osigurao visokokvalitetni rez i kako bi se smanjilo vrijeme obrade i dorade gotovih dijelova. Kako bi se dijelovi čim manje trošili, potrebno je pratiti slijedeće savijete:

- Izbjegavati preveliku ili premalu brzinu rezanja ili rezanje na pogrešnoj udaljenosti od obratka
- Pravilno postavljanje dijelova presudno je za funkcioniranje
- Praćenje načina trošenja tih dijelova što nam omogućuje sprječavanje da se jedna komponenta ranije pogorša od druge. Najčešće se mijenjaju mlaznica i elektroda.

Nakon što se uspostavi da su mjere i ostale provjere dobre, lim se stavlja na stol rezača. Prije nego što se krene u proces obrade potrebno je provjeriti u kojem se položaju nalaze materijal i gorionik, odnosno redi se provjera okomitosti. Kako bi se proces kvalitetno odvio, gorionik i materijal moraju biti u odgovarajućem luku, odnosno okomiti, te udaljenost između gorionika i materijala mora biti dovoljna kako bi se odvijao kvalitetni rez. Postoji nekoliko mogućnosti pogrešaka koje mogu nastati u ovom postupku:

- a) Krivi nagib gorionika – u ovom slučaju jedna strana materijala može biti previše skošena
- b) Preveliki razmak između gorionika i materijala – dolazi do mogućnosti da se materijal ne prereže do kraja, te materijal ostaje neobrađen
- c) Premali razmak između gorionika i materijala – vrh gorionika može doći u kontakt s materijom te ga može oštetiti

#### **4.3.3.2.2. Kontrola kvalitete nakon izrade proizvoda**

Nakon što materijal prođe obradu plazma rezanja, potrebno je provjeriti vizualno stanje dobivenog predmeta.

Prvo što se provjerava nakon obrade jest hrapavost predmeta. U slučaju da se radi o većoj debljini materijala tada se hrapavost mjeri na tri mjesta, pri vrhu materijala, na sredini te na dnu materijala reznog dijela. Nakon što se izmjere, tada se zapisuju u posebnu tablicu. Ako bismo željeli dobiti što kvalitetniju kvalitetu rezanja, tada treba tijekom mjerenja hrapavosti dobiti što manju veličinu na uređaju za mjerenje hrapavosti. U slučaju da dobivamo veću veličinu hrapavosti, tada za buduće obrade moramo sagledati sljedeće mjere, kao što su širina proreza i nečistoće koje nastaju tijekom procesa plazma rezanja.

Nakon toga slijedi provjera okomitosti. Iako se ona provjerava prije početka rezanja, može doći do promjene kuta rezanja na raznim dijelovima, najčešće zbog toga što je lim savinut.

Dodatno što se može provjeriti nakon plazma rezanja jest debljina reza. Potrebno je paziti da ona ne bude prevelika kako se ne bi dogodilo da dimenzije predmeta ne budu premale. Na širinu rezanja mogu imati utjecaj brzina rezanja, te jačina struje rezanja.

## 5. Zaključak

Kontrola kvalitete u današnjem vremenu je ključ za uspjeh u poslovanju i zbog toga je potrebno imati vrlo kvalitetno i preciznu kontrolu. O njoj ovisi koliko ćemo biti uspješni na tržištu i kakvo će zadovoljenje imati kupci. Ako će kvaliteta izrađenog proizvoda biti velika to nam je veća mogućnost da će naša tvrtka rasti i povećati konkurentnost na tržištu, a ako nam je kvaliteta proizvoda slabija, to može dovesti do pada zadovoljenja kupaca, smanjenja prodaje, konkurentnosti te će dovesti do smanjenje profita. Cilj kontrole kvalitete u današnjem vremenu je ostvarivanje konkurentnosti na tržištu te osiguranje ostvarivanja profita.

U ovom radu navedeno je koji su načini kontrole kvalitete kod obrade lima, neke mjere koje možemo koristiti za poboljšavanje kontrole kvalitete, te navedeni parametri koje se moraju paziti kod kvalitetne kontrole kako bi dobili što kvalitetniji proizvod te kako bismo povećali zadovoljstvo kupaca.

## 6. Literatura

- [1] T. Mikac, D. Blažević: Planiranje upravljanje proizvodnjom, Tehnički fakultet, Rijeka, 2007.
- [2] Customised Sheet Metal, The history of sheet metal fabrication (26. rujan 2019.), posjećeno 8. travanj 2019. iz: <https://www.customisedsheetmetal.com/>
- [3] Fabema Metali, posjećeno 9. travanj 2021. iz: <https://fabemametali.hr/>
- [4] Ferro-Kastav, posjećeno 12. travanj 2021. iz: <https://www.ferrogrupa.hr/>
- [5] Tampasteel and supply, The 4 Stages to Making Sheet Metal (16. listopad 2015.), posjećeno 9. travanj 2021. iz: <https://tampasteel.com/>
- [6] Sciencing, How Is Sheet Metal Made? (9. siječanj 2018.), posjećeno 9. travanj 2021. iz: <https://sciencing.com/>
- [7] Thin Metal Sales, Thin Sheet Metal: What is it and What is it Used For? (3. svibanj 2019.), posjećeno 10. travanj 2021. iz: <https://www.thinmetalsales.com/>
- [8] Designing Building Wiki, Sheet metal fabrication (5. ožujak 2021.), posjećeno 11. travanj 2021. iz: <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Home>
- [9] Anson Steel, Shipbuilding Steel Plates, posjećeno 11. travanj 2021. iz: <http://www.steels-supplier.com/>
- [10] Metinvest, Boiler and pressure vessel steel, posjećeno 11. travanj 2021. iz: <https://metinvestholding.com/>
- [11] Laser ing, Lasersko rezanje metala, posjećeno 13. travanj 2021. iz: <http://www.laser-ing.hr/>
- [12] Laser ing, Sve što morate znati o rezanju metal plazmom, posjećeno 14. travanj 2021. iz: <http://www.laser-ing.hr/>
- [13] I. Slade: Obrada materijala 1, 2. dio, Tehnička škola TESLA, Zagreb, 2018.
- [14] The fabricator, Press brake bending basics: Do we really need more cowbell? (17. srpanj 2017.), posjećeno 14. travanj 2021. iz: <https://www.thefabricator.com/thefabricator>
- [15] M. Milutinović: Tehnologija mašingradnje, podloga za predavanje
- [16] P. Piljek: Postupci oblikovanja deformiranjem, podloga za predavanje
- [17] Worcon, Kako savijati lim uz pomoć strojeva za kružno savijanje (12. lipanj 2019.), posjećeno 15. travanj 2021. iz: <https://blog.wor-con.com/>
- [18] Indel-ustuge, Stroj za savijanje lima – 4 valjka (16. kolovoz 2016.), posjećeno 15. travanj 2021. iz: <http://www.indel.hr/obrada-lima/>
- [19] S. Šolić: Tehnologija 2, Obrada metala deformiranjem, podloga za predavanje, unin
- [20] FSB, Deformiranje, podloga za predavanje, iz: <https://www.fsb.unizg.hr/deformiranje/predavanja%20PP-OD%20i%20OO-postupci.pdf>
- [21] Natalija Jolić, Kvaliteta i normizacija, podloga za predavanje, Sveučilište u Zagrebu, iz: [https://www.fpz.unizg.hr/njolic/dip/pdf/Kvaliteta\\_i\\_normizacija\\_Predavanja.pdf](https://www.fpz.unizg.hr/njolic/dip/pdf/Kvaliteta_i_normizacija_Predavanja.pdf)

- [22] American Society for Quality, The history of quality, posjećeno 21. svibanj 2021. iz: <https://asq.org/>
- [23] Institut za interne kontrole, Sedam alata za kontrolu kvalitete – 7. dio – Dijagram tijeka (4. veljača 2015.), posjećeno 23. svibanj 2021. iz: <https://institutzainternekontrole.wordpress.com/>
- [24] Score, How to Establish Quality Control Processes (23. lipanj 2019.), posjećeno 23. svibanj 2019. iz: <https://www.score.org/>
- [25] V. Kondić, B. Bojanić, K. Ž. Kondić: Izbor optimalne varijante kontrole kvalitete rezultata procesa, Stručni članak
- [26] Reference, What is tje Importance of Statistical Quality Control? (31. svibanj 2020.), posjećeno 26. svibanj 2021. iz: <https://www.reference.com/?qo=logo>
- [27] Navigation, What are the Principles and Advantages of Statistical Quality Control?, iz: <https://www.shareyouessays.com/>
- [28] AccountingTools, Quality costs definition (14. travanj 2021.), posjećeno 26. svibanj 2021. iz: <https://www.accountingtools.com/>
- [29] N. Behnam: Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations, 2017. iz: <https://zenodo.org/record/400832#.YLEI5KgzZPY>
- [30] Tech Quality Pedia, What is Check Sheet? Tally Sheet | When to use, Benefits with Examples (17. ožujak 2020), posjećeno 28. svibanj 2021. iz: <https://techqualitypedia.com/>
- [31] DataAnalytics, Histogram, posjećeno 28. svibanj 2021. iz: <https://www.dataanalytics.org.uk/>
- [32] Myservername, Pareto analiza objašnjena Pareto grafikonom i primjerima, posjećeno 28. svibanj 2021. iz: <https://hr.myservername.com/>
- [33] Aleksandar Ž., Bratislav Ž., Dušan M., Kontrolne karte kao sredstvo statističke kontrole kvaliteta, Stručni članak, iz: <http://oaji.net/articles/2016/1899-1458237485.pdf>
- [34] Razno sveznadat info, Dijagram tijeka, posjećeno 28. svibanj 2021. iz: <https://razno.sveznadat.info/02-2razred/5-Algoritam/DijagramToka.html>
- [35] Institut za interne kontrole, Sedam alata za kontrolu kvalitete – 6. dio – Dijagram raspršenosti (28. siječanj 2015.), posjećeno 23. svibanj 2021. iz: <https://institutzainternekontrole.wordpress.com/>
- [36] The welding institute, Laser cutting – cutting processes, posjećeno 29. svibanj 2021. iz: <https://www.twi-global.com/>
- [37] Techcut – lasersko rezanje, posjećeno 29. svibanj 2021. iz: <https://techcut.hr/>
- [38] Indiamart, Portable Surface Roughness Measurement Instrument, posjećeno 15. lipanj 2021. iz: <https://www.indiamart.com/>
- [39] Fractory, How Plasma Cutting Works? Advantages and Disadvantages (27. siječanj 2021.) posjećeno 17. lipanj 2021. iz: <https://fractory.com/>

[40] lkchinamfg, Plasma cutting Service, posjećeno 17. lipanj 2021. iz:  
<https://www.lkchinamfg.com/>



## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Osnovni elementi proizvodnje.....  | 1  |
| Slika 2. Lim za obradu.....   | 3  |
| Slika 3. Primjer taljenja metala.....   | 4  |
| Slika 4. Primjer lijevanja metala.....  | 4  |
| Slika 5. Lasersko rezanje lima.....   | 8  |
| Slika 6. Rezanje lima uz pomoć plazme.....  | 9  |
| Slika 7. Elastični povrat nakon naprezanja.....   | 10 |
| Slika 8. Savijanje lima u V profil.....   | 11 |
| Slika 9. Savijanje lima u U profil.....   | 11 |
| Slika 11. Postupak kružnog savijanja lima.....  | 12 |
| Slika 12. Različiti načini savijanja lima sa četiri valjka.....   | 12 |
| Slika 13. Postupak dubokog vučenja.....   | 13 |
| Slika 14. Postupak dubokog vučenja.....   | 14 |
| Slika 13. Dijagram analize sposobnost procesa.....  | 17 |
| Slika 14. Vrste kontrole kvalitete.....   | 18 |
| Slika 15. Primjer kontrolnog lista.....   | 23 |
| Slika 16. Primjer histograma.....   | 24 |
| Slika 17. Primjer Paretovog dijagrama.....  | 25 |
| Slika 18. Primjer kontrolnih karta.....   | 25 |
| Slika 19. Primjer dijagrama tijeka.....   | 26 |
| Slika 19. Primjer dijagrama raspršenja.....   | 27 |
| Slika 19. Primjer dijagrama uzroka i posljedice.....  | 27 |
| Slika 20. Lasersko rezanje lima.....  | 30 |
| Slika 21. Instrument za mjerenje hrapavosti.....  | 32 |
| Slika 22. CNC plazma rezač MESSER.....  | 34 |
| Slika 23. Postupak plazma rezanja.....  | 36 |
| Slika 23. Postupak plazma rezanja.....  | 36 |
| Slika 24. Ovisnost kvalitete rezanja o brzini: a) pogodna brzina rezanja, b) prevelika brzina rezanja, c) premala brzina rezanja..... | 39 |

## **Popis tablica**

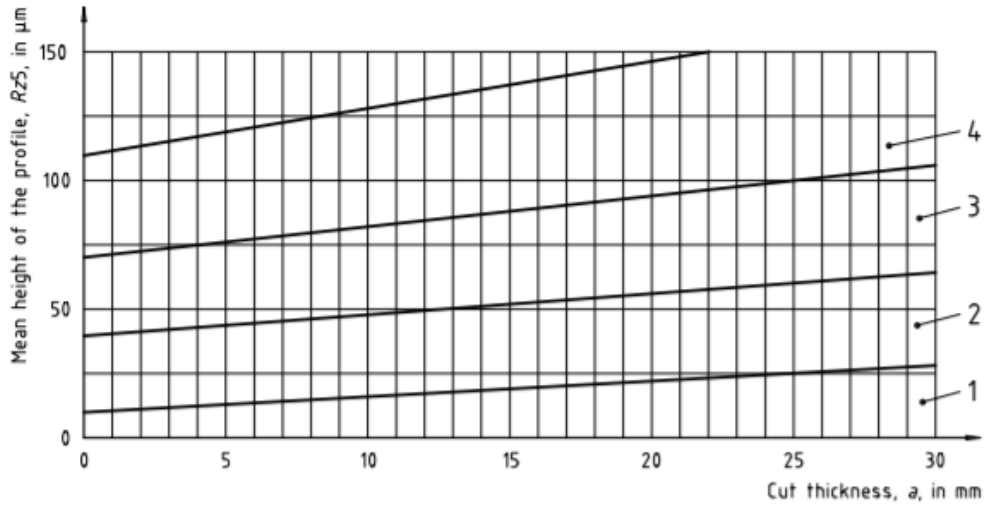
|  |    |
|--|----|
| Tablica 1: Područje troškova .....                                       | 22 |
| Tablica 2: Mjere debljina za pojedinu vrstu rezanja.....                 | 28 |
| Tablica 3: Rasponi tolerancije okomitosti .....                          | 29 |
| Tablica 4: Granična odstupanja za nazivne dimenzije .....                | 38 |
| Tablica 5: Prikaz parametara rezanja različitih debljina materijala..... | 38 |

## **Popis dijagrama**

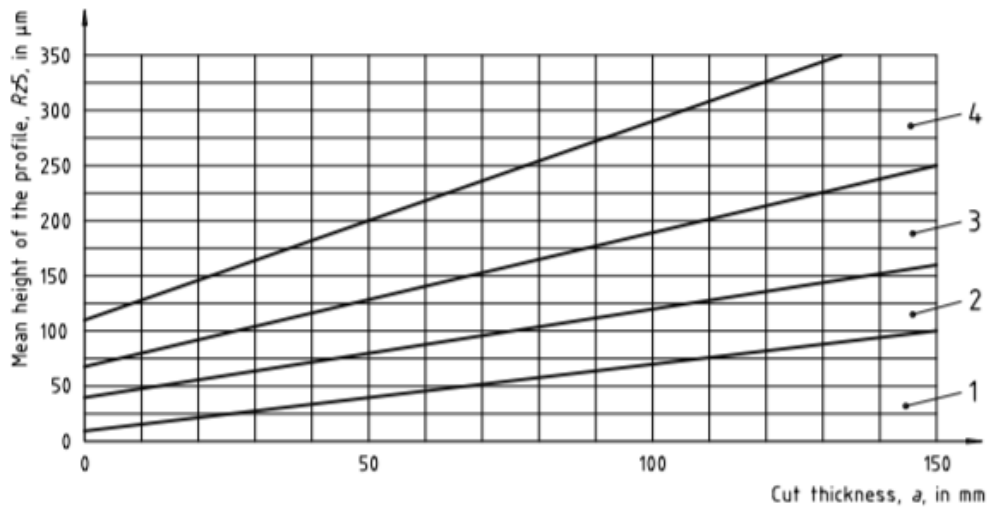
Dijagram 1. Ovisnost brzine rezanja o debljini materijala .....40

# Prilozi

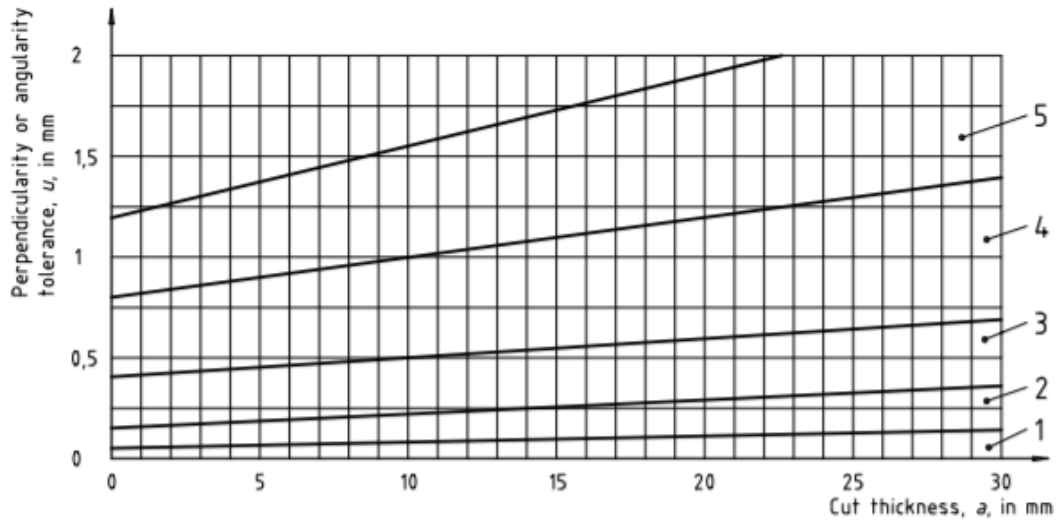
ISO 9013:2002(E)



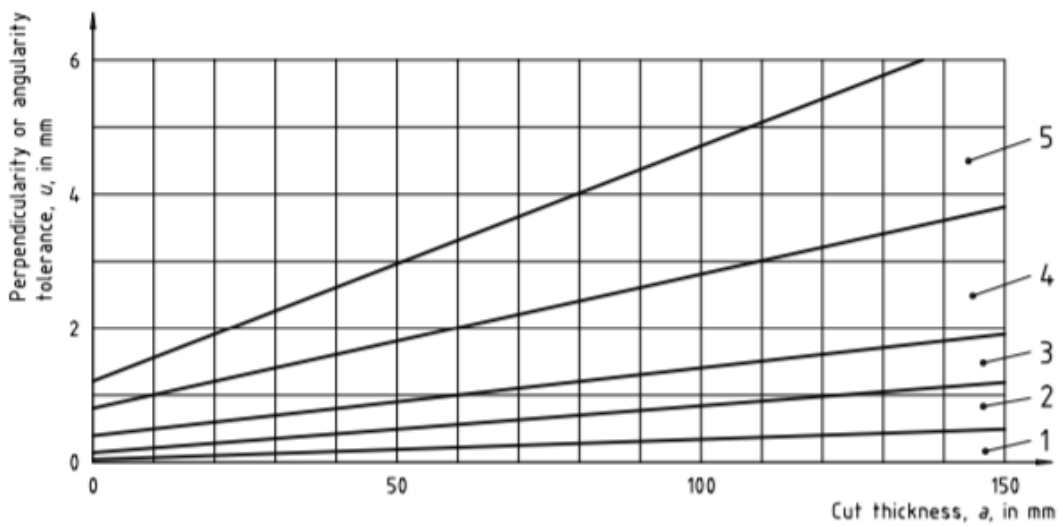
a) Mean height of the profile,  $Rz_5$  — Work piece thickness up to 30 mm



b) Mean height of the profile,  $Rz_5$  — Work piece thickness up to 150 mm



a) Perpendicularity or angularity tolerance,  $u$  — Work piece thickness up to 30 mm



b) Perpendicularity or angularity tolerance,  $u$  — Work piece thickness up to 150 mm



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, ROBERT ROŠ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE U POSTUPCIMA OBRADE LINA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Robert Roš

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, ROBERT ROŠ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONTROLA KVALITETE U POSTUPCIMA OBRADE LINA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Robert Roš

(vlastoručni potpis)