

## MATEMATIČKI MODEL UTICAJA DEBLJINE LIMA NA KVALITET OBRAĐENE POVRŠINE KOD SJEČENJA VODENIM MLAZOM

### MATHEMATICAL MODEL OF INFLUENCE OF METAL SHEETH THICKNESS ON THE QUALITY OF THE PROCESSED SURFACE IN CUTTING WITH A WATER STREAM

**Sejfo Papić, doc. dr.**  
Pedagoški fakultet Univerziteta u Sarajevu  
Sarajevo

**Fuad Klisura, doc. dr.**  
IPI Zenica  
Zenica

**Safet Velić, doc. dr.**  
Pedagoški fakultet Univerziteta u Sarajevu  
Sarajevo

**Arnela Karović, dipl. ing. maš.**  
Internacionalni univerzitet Travnik  
Travnik

#### REZIME

*U procesu obrade materijala može se reći da postoje dvije grupe postupaka obrade: konvencionalni i nekonvencionalni postupci obrade. Nekonvencionalni postupak obrade (uklanjanja viška materijala, izmjene oblika, dimenzije i strukture materijala), ostvaruje se korištenjem raznih oblika energije (hemijske, električne, magnetne...) koje su dovedene u proces. Svaki od postojećih nekonvencionalnih postupaka obrade materijala može se smatrati mašinskom obradom materijala uzimajući u obzir sve kriterije. U radu su predstavljeni podaci dobijeni istraživanjem uticaja debljine lima na kvalitet obrađene površine kod jednog od nekonvencionalnih postupaka obrada lima -sječenje vodenim mlazom. Cilj rada je pokazati da istraživanja moraju ići u korak sa razvojem tehnologije, što će dati doprinos uspješnom ovladavanju ovakvim postupcima obrade.*

**Ključne riječi:** Nekonvencionalni postupci obrade, Sječenje vodenim mlazom, Kvalitet obrađene površine

#### ABSTRACT

*In material processing, it can be said that there are two groups of processing procedures: conventional and unconventional processing procedures. An unconventional processing procedure (removing the excess of material, changing the shape, dimensions and structure of the material) is accomplished by using various forms of energy (chemical, electrical, magnetic ...) that have been brought into the process. Each of the existing unconventional processing procedures can be considered as machine processing of materials, taking into account all criteria. This paper presents the data obtained by researching the influence of metal sheet thickness on the quality of the processed surface in one of the unconventional processing procedures of a sheeth of metal - cutting with a water stream. The goal of this paper is to show that research has to keep up with the development of technology, which will contribute to the successful mastering of these processing procedures.*

**Keywords:** Unconventional processing procedures, Cutting with a waster stream, Quality of the processed surface

## 1. UVOD

Primjena vodenog mlaza počela da se koristi u prvoj polovini dvadesetog vijeka u rudarstvu. Međutim, sječenje materijala vodenim mlazom je jedna od mlađih tehnologija iz grupe nekonvencionalnih postupaka. Odlikuje se nizom prednosti u odnosu na konvencionalne postupke obrade, pri čemu veliku primjenu pronalazi kod obrade dijelova od lima. Veoma je pogodna za izradu dijelova složenijeg oblika.

Princip rada vodenog rezanja je baziran na prolasku vode kroz uski regulator protoka vode i rezu cijev pod visokim pritiskom. Da bi se ostvario proces rezanja neophodno je da se kinetička energija vodenog mlaza pretvori u energiju pritiska koja će djelovati na površini predmeta obrade. Prilikom prolaska vode kroz otvor dizne veoma malog prečnika se ostvaruje znatno povećanje brzine kretanja čestica, i zbog toga se vodeni mlaz sa energetskog stanovišta smatra alatom koji djeluje na predmet obrade. [1]

Djelovanjem veoma visokog pritiska vodenog mlaza na maloj površini predmeta obrade nastaje osnova procesa rezanja tj. mikrootvor. Djelovanjem bočnih udarnih talasa vodenog mlaza nastaju pukotine na granicama kristalnih zrna. Širenje nastalih pukotina, nastanak lokalnih razaranja koje rezultira nastankom reznog procijepa, se ostvaruje dinamičkim djelovanjem vodenog mlaza.[2]

Ovaj postupak je moguće podijeliti u dvije grupe:

- Obrada čistim vodenim mlazom i
- Obrada abrazivnim vodenim mlazom.

Obrada čistim vodenim mlazom, kao što sam naziv govori, zasniva se na principu djelovanje kinetičke energije čestice čiste vode, dok obrada abrazivnim vodenim mlazom podrazumijeva da se dodaju abrazivne čestice u vodeni mlaz. Dodavanje abrazivnih čestica u vodeni mlaz moguće je izvesti na dva načina: ubrizgavanjem i suspenzijom.

Najčešće korišteni abrazivi su granati ( skupina minerala ), te aluminij oksid. Granati nisu toksičan material, mogu se reciklirati za ponovnu upotrebu kao abrazivi. Također, nema štetnih plinova i čestica prašine koji bi kontaminirali radni prostor, te se time smanjuje izlaganje radnika opasnim materijalim. [3].

Pri istraživanju u ovom radu je korištena obrada abrazivnim mlazom.

## 2. UTICAJ PARAMETARA OBRADNE NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE

Osnovni parametri površine obrađene abrazivnim vodenim mlazom su:

- Širina reza
- Koničnost reza
- Hrapavost obrađene površine

Ranija istraživanja koja se mogu naći u literaturi pokazuju da na kvalitet obrađene površine pri sječenju lima abrazivnim vodenim mlazom najznačajnije utiču:

- Udaljenost mlaznice od obrađene površine
- Pomoćne brzine (brzine kretanja obradka)
- Radni pritiska vode i
- Ugao nagiba rezne glave

S obzirom da su u eksperimentu rezane različite debljine limova (od 4 do 14 mm), te da su za različite debljine limova propisani i različiti reimi obrade, važno je napomenuti da su primijenjeni propisani režimi obrade za svaki lim ponaosob i njihov uticaj nije uzet u obzir, već samo debljina lima

Na slici 1. prikazan je karakterističan izgled obrađene površine pri rezanju nekih od dijelova uzorka istraživanja (debljine limova 4, 6, 14 mm)



*Slika 1. Izgled obradene površine pri rezanju čelika abrazivnom vodenim mlazom*

Na slici 2 prikazan je izgled dijelova koji su sječeni od lima. Dijelovi su sječeni u radnim uslovima radionice -pogona.



*Slika 2. Izgled dijela dobijen rezanjem abrazivnim vodenim mlazom*

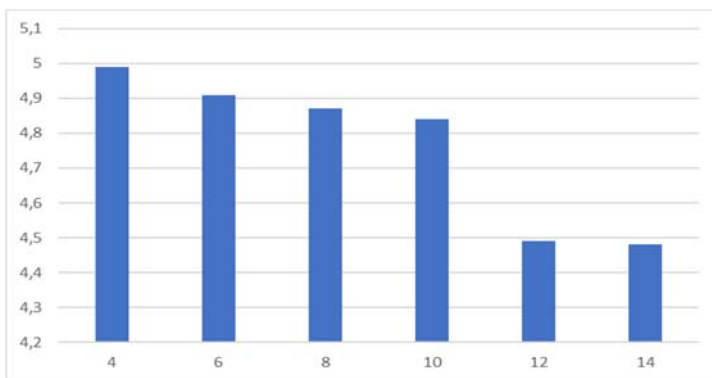
### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U tabeli 1. dati su rezultati mjerenja hrapavosti površina na uzorku od šest komada različite debljine čeličnih limova.

*Tabela 1. Rezultati mjerenja hrapavosti površine*

Debljina lima [mm]	4	6	8	10	12	14
Hrapavost Rz [ $\mu\text{m}$ ]	4,99	4,91	4,87	4,84	4,49	4,48

Date rezultate mjerenja je moguće predstaviti dijagramom sa stupcima, slika 3.



Slika 3. Prikaz rezultata mjerenja hrapavosti površina za različite debljine lima

### 3.1. Regresiona i korelaciona analiza

Ako se za ulazne veličine uzmu vrijednosti debljina lima na kome je vršen eksperiment a izlazne veličine vrijednosti mjerenja hrapavosti, moguće je formirati matrice X, X' i Y (1)

$$Y = \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \\ 12 \\ 14 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & 4,99 \\ 1 & 4,91 \\ 1 & 4,87 \\ 1 & 4,84 \\ 1 & 4,49 \\ 1 & 4,48 \end{pmatrix} \text{ i } X' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 4,99 & 4,91 & 4,87 & 4,84 & 4,49 & 4,48 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Ako se izračunaju proizvodi X'X i X'Y, i srede matrice jednačine, zatim se pređe na sistem normalnih jednačina, dobija se sistem od dvije jednačine sa dvije nepoznate (2).

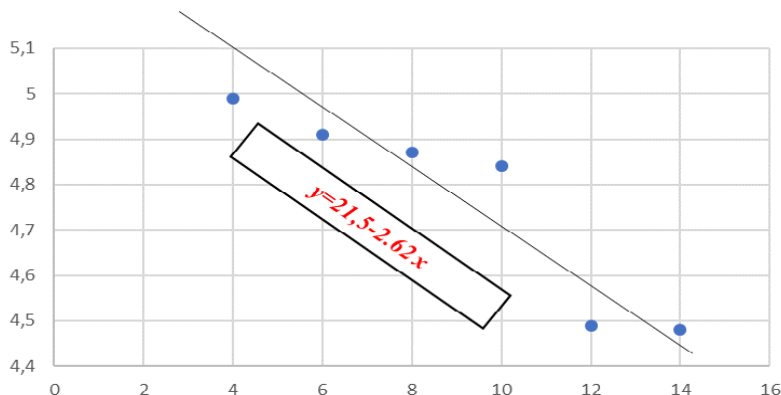
$$\begin{aligned} 6\hat{b}_0 + 28,58\hat{b}_1 &= 54 \\ 28,58\hat{b}_0 + 136,38\hat{b}_1 &= 253,38 \end{aligned} \quad (2)$$

Rješenja datog sistema su:  $\hat{b}_0 = 21,58$  i  $\hat{b}_1 = -2,62$ . Te je jednačina regresione prave:  $y = 21,5 - 2,62x$ ; a to je ujedno i regresioni model koji zapisujemo:

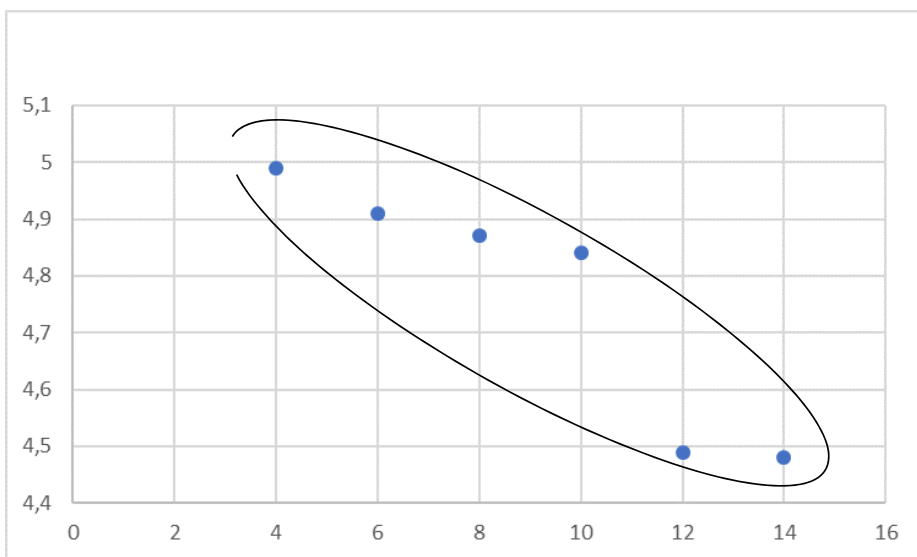
$$\hat{y} = 21,5 - 2,62x \quad (3)$$

Dakle, jednačina (3) je matematički model uticaja debljine lima pri sječenju abrazivnim mlazom vode, na kvalitet hrapavosti površina.

Grafički prikaz mjerenja može se dati i pomoću dijagrama na slici 4, pri čemu se može zapaziti pravac prostiranja tačaka mjerenja (regresioni model)



Slika 4. Grafički prikaz rezultata mjerenja i jednačine prave (matematičkog modela)



Slika 5. Dijagram rasipanja kod eksperimentalnih mjerenja

Prvi korak u sagledavanju korelacije između promjenjivih, je izrada dijagrama rasipanja na osnovu uređenih parova  $(x, y)$ , što je prikazano na slici 5. Vidljivo je da su sve tačke mjerenja raspoređene unutar elipse, čija je jedna osa znatno manja od druge, što znači da postoji velika korelacija između promjenjivih  $x$  i  $y$ . Horizontalna osa predstavlja debljinu lima, a vertikalna osa hrapavost površina.

#### 4. ZAKLJUČAK

Eksperiment uticaja debljine lima na kvalitet obrađene površine pri sječenju limova abrazivnim vodenim mlazom pokazalo se da taj uticaj postoji. Čak, se taj uticaj može predvideti pomoću regresionog modela koji je dobijen u regresionoj analizi. Rezultati bi bili pouzdaniji kada bi se izvelo istraživanje na većem uzorku sa ponavljanjem mjerenja.

Jedan od bitnijih faktora koji utiču na kvalitet hrapavosti je brzina kretanja mlaznice zato bi bilo neophodno izvesti eksperiment uzimajući u obzir minimalnu i maksimalnu brzinu kretanja. Debljina lima može uticati na pravilnost mlaza što znatno utiče na hrapavost površine i na njenu geometrijsku tačnost.

#### 5. REFERENCE

- [1] Milikić, D.: Nekonvencionalni postupci obrade, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.
- [2] Brdarević, S.; Jeleč, A.: Nekonvencijalni postupci obrade, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet U Zenici, Politehnički fakultet u Zenici, Zenica, 2016.
- [3] Kovač, K.: Obrada odnošenjem čestica, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, strojarski odjel, Karlovac, 2016.
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Rezanje\\_vodenim\\_mlazom](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rezanje_vodenim_mlazom) [25. aprila 2019. u 14 sati]

