

PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA ZA MODELIRANJE IZLAZNIH KARAKTERISTIKA PRI OBRADI LASEROM**APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR MODELING OUTPUT CHARACTERISTICS DURING LASER PROCESSING**Jovana Srdić, Borislav Savković, *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad**Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – *Analiziranje uticaja ulaznih faktora na izlazne veličine (hrapavost i širinu reza), modelovanje optimalne kombinacije faktora u cilju postizanja boljih izlaznih karakteristika kod obrade laserom. Dat je pregled opšte teorije veštačkih neuronskih mreža i njihova konkretna primena. Testiranje i treniranje ulaznih podataka u programu MATLAB, sa ciljem kreiranja veštačke neuronske mreže sposobne da predvidi optimalne režime obrade.*

Ključne reči: *Obrada laserom, hrapavost, širina reza, modelovanje, neuronske mreže.*

Abstract - *Analyzing the influence of input factors on output values (roughness and width of cut) modeling the optimal combination of factors in order to achieve better output characteristics during laser processing. An overview of the general theory of artificial neural networks and their concrete application is given. Testing and training input data in the MATLAB program, with the aim of creating an artificial neural network capable of predicting optimal processing modes.*

Keywords: *Laser Beam Machining, roughness, width of cut, modelling, artificial neural network*

1. UVOD

Eksperimentalni deo rada predstavlja jedan deo istraživanja preuzetog iz Diplomskog rada Nikole Vukomanova.

Cilj ovog rada je da se ispita uticaj elemenata režima obrade na izlazne karakteristike pri sečenju fiber laserom TCI cutting Smartline 4020 na materijal X6Cr17. Eksperimentalna ispitivanja realizovana su u firmi „J&J Metalni proizvodi DOO Beočin“. Uslovi pri kojima je realizovan eksperiment odnose se na mašinu alatku, materijal obratka i parametre režima obrade. Uz to su korišćeni i „TOOLCRAFT usb mikroskop od 2Mpix“ i uređaj za merenje hrapavosti „SURFTEST SJ-210“ koji su korišćeni na departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu. Nakon toga u radu su prikazane osnovne karakteristike neuronskih mreža, kao i primena neuronskih mreža u softverskom paketu MATLAB.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Borislav Savković, vanr. prof.

Za kreiranje i obučavanje veštačke neuronske mreže korišćeni su ulazni i izlazni podaci rezanja laserom dobijeni eksperimentalnim putem.

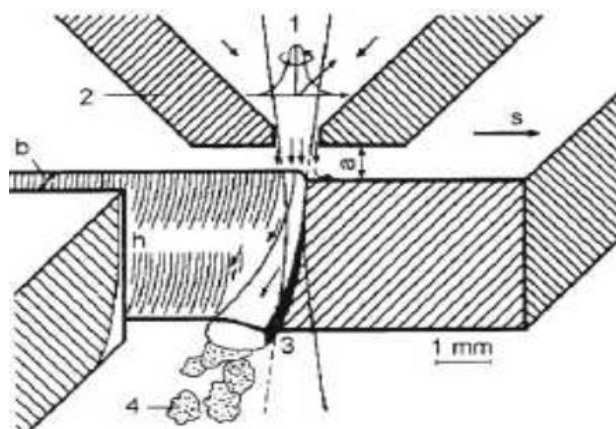
2. OBRADA LASEROM

Obrada laserom (Laser Beam Machining - LBM) se zasniva na primeni koncentrisane fotonske energije, fokusirane na malu površinu materijala obratka, za obradu zagrevanjem, topljenjem, sagorevanjem ili isparavanjem. Zahvaljujući visokoj preciznosti i energetskim svojstvima koja mogu varirati u širokim granicama, laser je našao široku primenu u skoro svim područjima ljudske delatnosti, a neka su zahvaljujući njegovoj primeni doživela pravi preporod [1].

Osnovne karakteristike rezanja laserom od kojih zavise tehnološke karakteristike obrade:

- snaga impulsa P , W ,
- gustina laserskog snopa q_c , W/cm^2 ,
- pritisak gasa p , bar,
- vrsta gasa,
- veličina fokusne tačke d , mm,
- brzina sečenja V , mm/s,
- tačnost pomeranja laserskog snopa po predviđenoj konturi i dr.

Laserske mašine pored toplote dobijene fokusiranjem snopa laserskih zraka koriste i pomoćni gas koji ima zadatak da odstrani istopljeni materijal iz zone rezanja, da zaštiti sočiva od isparenja i pomogne u procesu sagorevanja. Početak rezanja laserom uslovljen je spajanjem laserskog zračenja sa radnim predmetom. Na slici 1. dat je šematski prikaz procesa rezanja laserom.



Slika 1. Šematski prikaz rezanja laserom [2]

3. INTELIGENTNI SISTEMI I VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Poslednje godine donele su, u okviru burnog razvoja teorije i prakse automatskog upravljanja, saznanje da realizacija fleksibilnijih upravljačkih sistema podrazumeva, pored primene uglavnom algoritamskih pristupa iz domena klasične teorije upravljanja, uključivanje i drugih elemenata, kao što su logika, zaključivanje i heuristika, a takvi sistemi upravljanja poznati su pod nazivom inteligentni sistemi upravljanja.

Motivacija za projektovanje inteligentnih sistema upravljanja jeste potreba da se obezbedi željeno ponašanje i performanse zatvorenog sistema kao i njegov integritet u širokom opsegu radnih uslova, što podrazumeva i podražavanje ljudskih sposobnosti, kao što su planiranje, učenje i adaptacija.

4. NEURONSKE MREŽE

Veštačke neuronske mreže predstavljaju alternativni pristup rešavanju logičkih problema u odnosu na konvencionalne računarske logike. Sama reč „veštačke“ sugerise da je inspiracija za strukturu i logiku rada ovih mreža nastala pokušajem imitacije rada prirodnih neuronskih veza i sistema. Povod za intenzivan razvoj veštačkih neuronskih mreža može se naći u sofisticiranosti rada ljudskog mozga, i stalne želje čoveka da ovako kompleksan i inteligentan sistem kreira i podredi svojim potrebama.

Cilj razvoja veštačke neuronske mreže je pokušaj da se razume i simulira rad ljudskog mozga, u smislu detekcije signala, njegovog prenosa, postupka donošenja odluka i načina pamćenja tj. zaboravljanja. U osnovi, primenom veštačkih neuronskih mreža pokušava se napraviti veštački sistem sposoban da uči i donosi inteligentne odluke kao čovek. Ovo je posebno bitno kada se radi o velikoj količini podataka i kratkom vremenu potrebnom za njegovo procesiranje. Kada se jednom napravi logika rada i nađe adekvatan način za rešavanje problema, svaka naredna mreža se može napraviti vrlo brzo, dok obuka novog biološkog mozga da reši probleme nekog prethodnog (uz skup svih potrebnih znanja) traje godinama [3,4].

4.1 Istorijski razvoj neuronskih mreža

Neuronske mreže se prvi put pominju početkom četrdesetih godina 20-og veka. Najpre su se neurofilozov Veren MekKuloh i logičar Valter Pitsa dotakli ove teme u članku pod nazivom „A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity“ koji je objavljen 1943. godine. Ovaj članak je poslužio kao osnova za dalji razvoj neuronskih mreža i u mnogim istraživačim i naučnim radovima se ovaj rad citirao.

Početkom pedesetih godina Marvin Minski je konstruisao neuroračunar pod nazivom „Snark“. Ovaj računar je mogao da podešava težinske koeficijente, ali nije uspeo da ostvari značajnije rezultate. Frenk Rozenblat i Čarls Vigtman su 1958. godine razvili računar „Mark“, koji je mnogo bolje funkcionisao u odnosu na „Snark“ računar. Jedan od najzaslužnijih ljudi koji je doprineo populizaciji neuronskih mreža bio je poznati fizičar Džon Hopfield koji je sredinom 80-tih u svome radu ispravio paralelu između neuronskih mreža i određenih fizičkih veličina. Bark

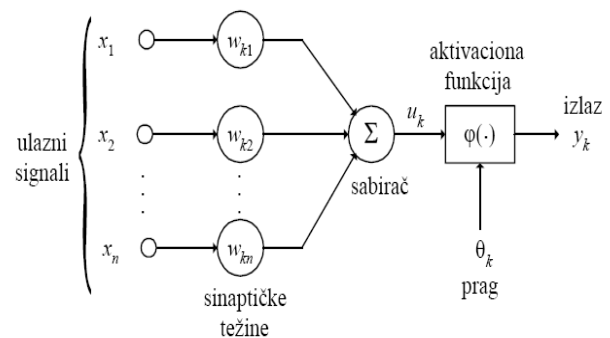
Kosko je u svojoj knjizi “Neural Networks and Fuzzy Systems” dokazao da neuronske mreže i fazi logiku opisuje isti skup problema.

Početkom devedesetih godina prošlog veka, neuronske mreže su počele da se izučavaju kao predmet na nekoliko prestižnih univerziteta širom SAD. Od tada kreće intezivan rast i razvoj neuronskih mreža koji ima tendenciju da se nastavi daleko u budućnosti.

4.2 Veštačke neuronske mreže (ANN)

Model veštačkog neurona je analogan modelu prirodnog. Ovakav neuron je osnovna gradivna jedinica veštačke neuronske mreže, odnosno osnovni procesni element. Telo neurona često se naziva čvor ili jedinica. Poput prirodnog, biološkog neurona i veštački ima sinapse – veze između izlaza jednog i ulaza drugog neurona, dendrite (ulazi u neuron) i aksone (izlaz iz neurona) sa kojima se vezuje za druge neurone, kao i prenosnu funkciju kojom se modelira nelinearno ponašanje ove nervne ćelije.

Mreža ovakvih neurona je sposobna da uči, poziva naučeno, vrši pridruživanje, klasifikuje informacije ili stvara nove klasifikacije i upoređuje nove podatke sa već postojećim znanjem.



Slika 2. Model veštačkog neurona [5]

Gde su:

- $x_1 \dots x_n$ – ulazni podaci
- $w_{kj} \dots w_{kn}$ – težinski koeficijenti
- φ – aktivaciona funkcija
- y – izlazni podatak

Veštačka neuronska mreža može se opisati kao veštačka replika ljudskog mozga kojom se nastoji simulirati postupak učenja. Važno je napomenuti da je analogija s pravim biološkim uzorom kreirana uz mnoga pojednostavljena. Još uvek postoje mnogi fenomeni nervnog sistema koji nisu (uspešno) modelirani veštačkim neuronskim mrežama. S druge strane, postoje i karakteristike veštačkih neuronskih mreža koje se ne slažu s prirodnim neuronskim mrežama. Neuronska mreža je skup međusobno povezanih jednostavnih elemenata, jedinica ili čvorova, čija se funkcionalnost temelji na biološkom neuronu.

Moć analize pohranjena je u snazi veza između pojedinih neurona, tj. težinama do kojih se dolazi postupkom prilagođavanja (učenjem iz skupa podataka).

4.3 Način rada veštačke neuronske mreže

Način rada veštačke neuronske mreže Haykin je opisao nekoliko važnih svojstava veštačkih neuronskih mreža (ANN Artificial Neural Network) [3]:

- ANN mogu biti linearne i nelinearne. Mnoge pojave u prirodi su nelinearne i važne su
- ANN uči tako što stvara relacije između ulaznih i izlaznih podataka.
- ANN ima sposobnost da prilagođava težinske koeficijente sa promenama stanja na mreži
- Svaki neuron u mreži je pobuđen aktivnošću drugih neurona
- ANN ima sposobnost da se samoorganizuje, sačuva i distribuira informacije koje je primila tokom procesa učenja
- Paralelna priroda ANN čini je pogodnom za implementaciju u moderne elektronske komponente (VLSI), i kao takvom vrlo otpornom na greške.

Model veštačke neuronske mreže može se raščlaniti na tri segmenta:

- Arhitektura mreže,
- Aktivaciona funkcija neurona i
- Zakoni učenja

5. REALIZACIJA EKSPERIMENTA

Kao ulaz u eksperiment, posmatrani su sledećih šest faktora pri obradi laserom delova od nerđajućeg čelika X6Cr17 :

- Debljina obratka (mm)
- Brzina sečenja (mm/min)
- Pritisak pomoćnog gasa (Bar)
- Fokus (mm)
- Frekvencija (Hz)
- Snaga (W)

Čelik X6Cr17 (1.4016) je trenutno najkorišćeniji feritni nerđajući čelik na svetu. Ovaj čelik srednjeg sadržaja hroma odgovara industrijskom standardu AISI 430. Sadržaj hroma od 16% daje bolju otpornost na koroziju i ovaj tip čelika se koristi u širokom spektru primena, uglavnom u zatvorenom prostoru [6].

Mehanička svojstva čelika X6Cr17 su:

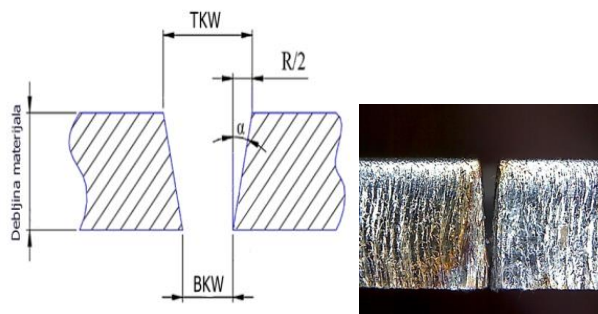
- Zatezna čvrstoća Rm: 400-600 [MPa]
- Napon tečenja R_{p0.2}: 240-260 [MPa]
- Minimalno izduženje pri lomu A: 18-20 [%]
- Suženje poprečnog preseka pri lomu Z: 60-63 [%]
- Tvrdooća po Vickersu: 200-300 [HV]
- Tvrdooća po Brinelu: 200 [HB]

Tabela 1. Hemijski sastav nerđajućeg čelika X6Cr17

X6Cr17						
Naziv elementa	C	Si	Mn	P	S	Cr
Procent udela[%]	max 0.08	max 1	max 1	max 0.04	max 0.015	16-18

Izlazne veličine su hrapavost (Ra, Rz, Rq) i širina reza. Hrapavost obrađene površine je merena pomoću uređaja za merenje hrapavosti Mitutoyo surfest SJ-210 i Tool craft usb mikroskop-a.

Širina reza je jedan od bitnih faktora laserskog sečenja, tako što utiče na same dimenzije obratka i njegovu tačnost i preciznost. Što je širina reza manja obradak će imati tačnije dimenzije. Takođe, što je manja razlika između širine gornjeg reza (TKW) i širine donjeg reza (BKW) obradak će biti pravilniji.



Slika 3. Izgled poprečnog preseka u čeliku dobijen laserskim sečenjem levo teoretski, desno na našem eksperimentu br.13 [7]

Širina gornjeg reza nazivamo merenje sa strane prema laserskoj glavi, dok je širina donjeg reza strana naličija materijala. Pri sečenju i bušenju limova laserom ulazni (gornji) prečnik je veći od izlaznog (donjeg), a krater ima ulazni konus i venac na početku slika 3. Na osnovu izmerenih dimenzija TKW i BKW mozemo da izračunamo i ugao zakošenosti (α) pri sečenju koji što je manji to je kvalitet reza veći.

Sva merenja TKW i BKW su rađena tri puta gde se pronalazi srednja vrednost za svaki od njih i onda od srednje vrednosti TKW i BKW se dobija konačni rezultat KW iz formule:

$$KW = \frac{TKW + BKW}{2}$$

Unešene vrednosti za svih 27 tačaka eksperimenta možemo videti u tabeli 2.

Tabela 2. Izmerene vrednosti za BKW, TKW i KW

Red. Br.	Merenje			Srednja TKW srednja	Merenje			Srednja BKW srednja	Širina reza KW
	1	2	3		1	2	3		
1	0.72	0.76	0.77	0.75	0.31	0.35	0.33	0.33	0.54
2	0.77	0.76	0.76	0.763333	0.34	0.33	0.32	0.33	0.546667
3	0.78	0.79	0.79	0.786667	0.35	0.35	0.35	0.35	0.563333
4	0.61	0.63	0.62	0.62	0.32	0.32	0.34	0.326667	0.473333
5	0.61	0.63	0.62	0.62	0.32	0.34	0.33	0.33	0.475
6	0.64	0.63	0.63	0.633333	0.33	0.34	0.33	0.333333	0.483333
7	0.46	0.47	0.45	0.46	0.35	0.33	0.33	0.336667	0.398333
8	0.45	0.46	0.46	0.456667	0.33	0.34	0.34	0.336667	0.396667
9	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.34	0.33	0.34	0.336667	0.406667
10	0.49	0.5	0.5	0.496667	0.43	0.45	0.44	0.44	0.468333
11	0.51	0.51	0.5	0.506667	0.44	0.43	0.42	0.43	0.468333
12	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.38	0.41	0.4	0.396667	0.436667
13	0.76	0.77	0.77	0.766667	0.37	0.39	0.38	0.38	0.573333
14	0.78	0.8	0.8	0.793333	0.38	0.39	0.4	0.39	0.591667
15	0.72	0.74	0.73	0.73	0.18	0.23	0.22	0.21	0.47
16	0.63	0.62	0.61	0.62	0.35	0.33	0.33	0.336667	0.478333
17	0.62	0.63	0.63	0.626667	0.37	0.36	0.34	0.356667	0.491667
18	0.59	0.61	0.6	0.6	0.22	0.23	0.2	0.216667	0.408333
19	0.66	0.67	0.67	0.666667	0.45	0.46	0.43	0.446667	0.556667
20	0.63	0.62	0.61	0.62	0.36	0.37	0.38	0.37	0.495
21	0.65	0.66	0.65	0.653333	0.4	0.39	0.41	0.4	0.526667
22	0.48	0.49	0.49	0.486667	0.44	0.34	0.36	0.38	0.433333
23	0.45	0.46	0.46	0.456667	0.45	0.47	0.49	0.47	0.463333
24	0.47	0.48	0.48	0.476667	0.42	0.53	0.47	0.473333	0.475
25	0.76	0.78	0.78	0.773333	0.3	0.28	0.32	0.3	0.536667
26	0.46	0.45	0.47	0.46	0.24	0.25	0.23	0.24	0.35
27	0.7	0.71	0.69	0.7	0.38	0.37	0.39	0.38	0.54

6. REALIZACIJA VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE

Za realizaciju veštačke neuronske mreže korišten je računarski sistem baziran na matematičkom konceptu matrica – MATLAB. U industriji se ovaj program upotrebljava za istraživanje, razvoj i projektovanje.

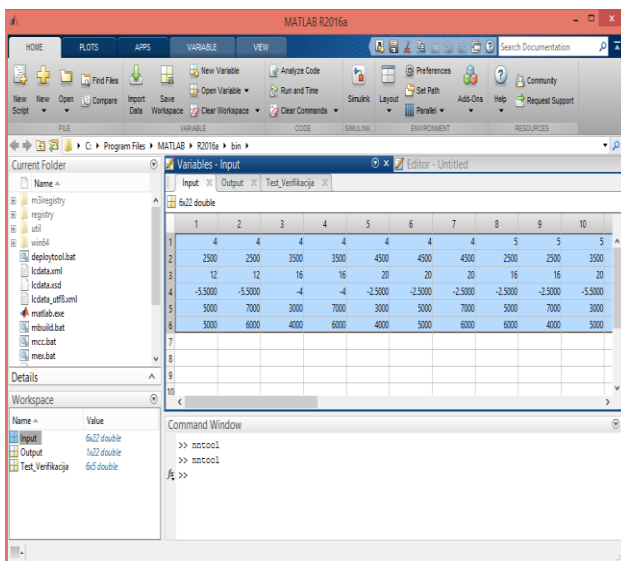
Standardni MATLAB sadrži alatke (funkcije) za rešavanje uobičajenih zadataka. Pored toga, MATLAB sadrži i opcione alatke – kompletne specijalizovanih programa za rešavanje specifičnih tipova zadataka. On podržava neke osnovne programske strukture koje dozvoljavaju petlje i uslovne komande sa relacijskim i logičkim operatorima. Sintaksa i korišćenje nekih od ovih struktura su veoma slične strukturama u drugim programskim jezicima kao što je C, BASIC ili FORTRAN. Ove naredbe sa već pomenutim mogu formirati programe ili nove funkcije koje mogu biti dodate MATLAB-u.

Za kreiranje i obuku neuronske mreže u samom MATLAB-u korišćen je Neural Network Toolbox. Neural Network Toolbox podrazumeva sve metode neuronskih mreža i čini dostupnim veliki broj različitih algoritama za učenje. Kao i drugi MATLAB paketi, Neural Network Toolbox preuzima veći deo rutinskog posla tako da korisnik može da se koncentriše na suštinske probleme. NNT daje više mogućnosti za korišćenje MATLAB paketa. Dostupni su alati za kreiranje, vizuelizaciju, realizaciju i simulaciju različitih mreža.

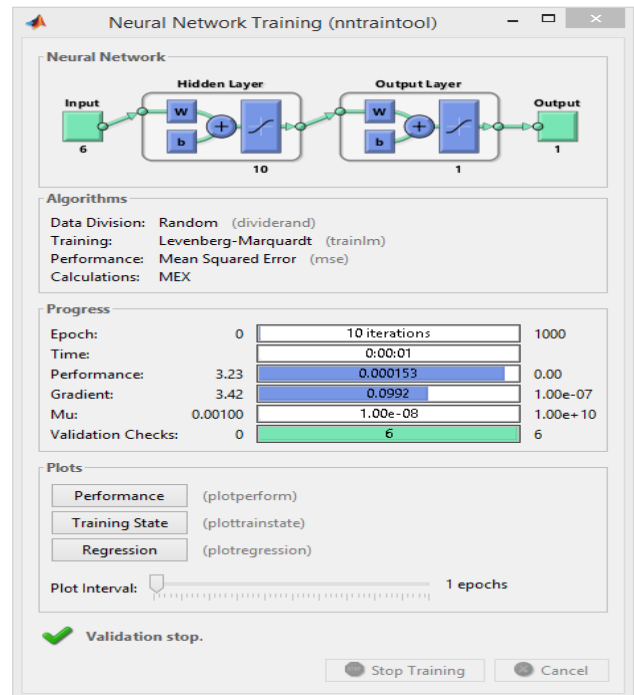
Ulazni podaci za kreiranje veštačke neuronske mreže su:

- Debljina obratka (mm)
- Brzina sečenja (mm/min)
- Pritisak pomoćnog gasa (Bar)
- Fokus (mm)
- Frekvencija (Hz)
- Snaga (W)

Od 27 parametara koji su dobijeni eksperimentalnim putem korišćeno je 22 za obučavanje mreže, a ostalih 5 za test/verifikaciju neuronske mreže. Na slici 4 prikazan je izgled podataka unešenih po tačno određenom matricnom obliku, dok slika 5 prikazuje prozor za kreiranje neuronske mreže.

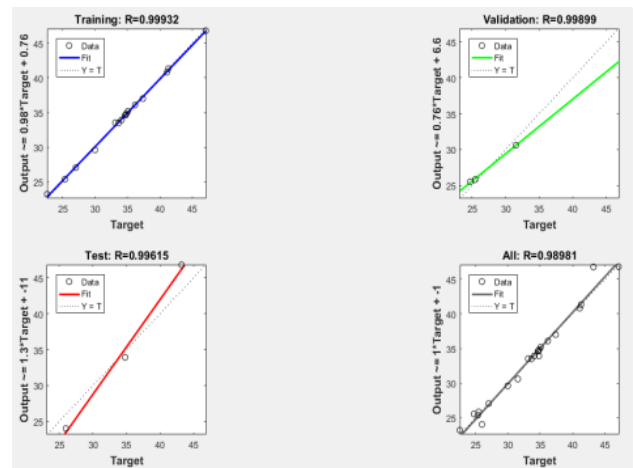


Slika 4. Unos podataka preko komande New Variable



Slika 5. Prozor kreirane neuronske mreže

Rezultati treniranja mreže pokazuju slaganje sa eksperimentalnim vrednostima. U ovom slučaju odstupanja su zadovoljavajuća, što znači da su manja od 10%. Kako bi se dobili što tačniji rezultati vršeno je treniranje mreže više puta i varirano je sa brojem neurona u skrivenom sloju. Na slici 6. prikazani su dijagrami dobijeni prilikom treniranja mreže.



Slika 6. Dijagram istrenirane mreže za izlazne parametre R_z

Na osnovu većeg broja ponavljanja procesa treniranja i dijagrama koji su dobijeni u obučenoj mreži, zaključuje se da nema prevelikih odstupanja, odnosno da je $R \approx 1$. Nakon toga izvršena je simulacija odnosno testiranje mreže.

Rezultati koji su dobijeni simulacijom imali su zadovoljavajuća odstupanja u odnosu na očekivane vrednosti, manja od 10%. Algoritam neuronske mreže dobro je obučen, ali da je za još bolji rezultat potreban veći broj ulaznih podataka. Korišćeno je samo 22 ulazna podataka što je malo za dobijanje potpunog slaganja sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 3. Očekivane i dobijene vrednosti testiranja mreže za Rz

Red. Br.	FAKTORI						Rz (eksperimentalno)	Rz (trenirano)	E [%]
	Debljina	Brzina	Pritisak	Fokus	Frekvencija	Snaga			
1	4	2500	12	-5.5	3000	4000	46.194	42.79681	7.354
5	4	3500	16	-4	5000	5000	25.507	23.27997	8.731
10	5	2500	16	-2.5	3000	5000	34.712	31.58827	8.991
15	5	3500	20	-5.5	7000	4000	22.895	23.77215	3.831
25	6	4500	16	-5.5	3000	6000	28.63	28.18398	1.557

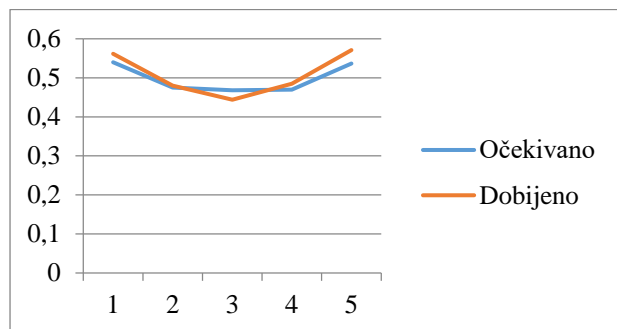
Po istom principu kao što je navedeno u Master radu u poglavljima 9.1 i 9.2 rađeno je obučavanje i treniranje mreže za iste ulazne parametre, ali je u ovom primeru Output odnosno izlaz je širina reza KW.

Tabela 4. Očekivane i dobijene vrednosti testiranja mreže za širinu reza KW

Red. Br.	FAKTORI						KW (eksperimentalno)	KW (trenirano)	E [%]
	Debljina	Brzina	Pritisak	Fokus	Frekvencija	Snaga			
1	4	2500	12	-5.5	3000	4000	0.54	0.561743	4.026
5	4	3500	16	-4	5000	5000	0.475	0.479916	1.034
10	5	2500	16	-2.5	3000	5000	0.468333	0.443922	5.212
15	5	3500	20	-5.5	7000	4000	0.47	0.485166	3.226
25	6	4500	16	-5.5	3000	6000	0.536667	0.571194	6.433

Rezultati testiranja mreže za izlazni parametar KW pokazuju slaganje sa eksperimentalnim vrednostima. Prosek odstupanja dobijenih vrednosti iznosi **3.986%**. Zaključuje se da je mreža pokazala odličnu mogućnost predviđanja.

Grafički prikaz korelacija između očekivanih i dobijenih vrednosti testiranja mreže za parametre širine reza KW prikazan je na slici 7.



Slika 7. Korelacija između očekivanih i dobijenih vrednosti testiranja mreže za parametre širine reza KW

7. ZAKLJUČAK

Zahtevi savremene proizvodnje iziskuju svakodnevni razvoj, a jedan od osnovnih ciljeva je određivanje optimalnih parametara u svim fazama razvoja proizvoda, kako bi se smanjili troškovi obrade i povećao profit.

Računarska inteligencija je osnovni alat veštačke inteligencije koji obuhvata niz metoda i tehnika za koncepciju, projektovanje i korišćenje inteligentnog sistema. Jedan od alata veštačke inteligencije su veštačke neuronske mreže čiji su principi rada prikazani u ovom radu. Na osnovu sprovedenih teorijskih i praktičnih istraživanja, kao i izvršenih analiza može se zaključiti da

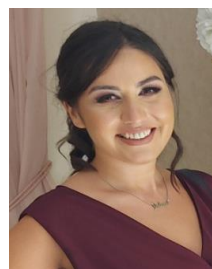
su neuronske mreže jedan od neizostavnih alata industrijskog procesa.

U ovom radu je prikazana opšta teorija o obradi laserom, eksperimentalno ispitivanje parametara obrade, kao i pregled opšte teorije neuronskih mreža i njihova konkretna primena. Takođe, prikazana je primena neuronskih mreža u softverskom paketu MATLAB, gde su korišćeni ulazni i izlazni podaci rezanja laserom dobijeni eksperimentalnim putem za obučavanje i treniranje mreže. Dobijeni rezultati su približni očekivanim vrednostima. Za bolje rezultate neophodno je koristiti veći broj ulaznih informacija, kako bi slaganje sa eksperimentalnim rezultatima bilo bolje. Veštačke neuronske mreže, kao vid veštačke inteligencije predstavljaju pouzdan sistem za rešavanje pojedinih problema i sve više se koriste u svim industrijskim granama u kojima se pokazuje kao uspešna.

8. LITERATURA

- [1] M. Gostimirović. "Nekonvencionalni postupci obrade." Fakultet tehničkih nauka-Novu Sad. 2012.
- [2] Jakovljević J. (2008) Diplomski rad
- [3] <https://fedorani.ni.ac.rs/fedora/get/o:1144/bdef:Content/get>
- [4] Goran Jovičić Diplomski master rad (2010)
- [5] Nešković Marko Diplomski rad (2017)
- [6] Bešević M., Tešanović A., Kukaras D. (2013) Primena nerđajućih čelika u mašinstvo-
- [7] Vukomanov N. (2023) Diplomski rad

Kratka biografija:



Jovana Srdić rođena je u Zrenjaninu, 1994. godine. Diplomirala na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, oblast Mašinstvo-Proizvodno mašinstvo.

Kontakt: jovanat60@gmail.com



Borislav Savković rođen je u Novom Sadu 1982. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. god., a od 2021 je u zvanju vanrednog profesora na Fakultetu tehničkih nauka. Oblast interesovanja su procesi obrade skidanjem materijala, simulacije kao i ekološko tehnološki sistemi.