

# NAUČNO NASTAVNOM VEĆU MAŠINSKOG FAKULTETA U NIŠU

**Predmet:** Izveštaj Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije

Odlukom Naučno-nastavnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu broj 612-471-5/2009 od 05.06.2009. godine imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata *mr Dejana I. Tanikića*, pod nazivom:

## „MODELIRANJE KORELACIJA IZMEĐU PARAMETARA PROCESA OBRADE REZANJEM PRIMENOM ADAPTIVNIH NEURO-FAZI SISTEMA“

Nakon pregleda doktorske disertacije, saglasno zakonu o Univerzitetu i Statutu Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, komisija podnosi sledeći

### IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija kandidata *mr Dejana I. Tanikića*, dipl. maš. inž. obuhvata 172 strane formata A4. Celokupna materija disertacije podeljena je u 12 poglavlja, 4 strane sadržaja, 4 strane ključne dokumentacione informacije – na srpskom i engleskom jeziku i 7 strana citirane literature sa 109 bibliografskih jedinica. U radu je prikazano 167 numerisanih grafičkih priloga u vidu dijagrama i šema kao i 32 tabele. Ceo rad je obrađen u tekst procesoru MS Word i ukoričen u tvrdi povež.

Naslovi poglavlja su sledeći:

1. *Uvodna razmatranja*
2. *Fazi sistemi i veštačke neuronske mreže*
3. *Adaptivni neuro-fazi sistemi*
4. *Ekonomični režim rezanja i parametri obradnog procesa*
5. *Eksperimentalna ispitivanja*
6. *Rezultati eksperimentalnih ispitivanja*
7. *Modeliranje pomoću veštačkih neuronskih mreža*
8. *Modeliranje pomoću adaptivnih neuro-fazi sistema*
9. *Uporedna analiza*
10. *Proširenje baze znanja*
11. *Sistem za predikciju stanja alata*
12. *Zaključak*

U prvom poglavlju ovog rada prikazani su, nakon uvodnih razmatranja, osnovni koncepti sistema zasnovanih na veštačkoj inteligenciji, sa naročitim akcentom na primeni ovih sistema u proizvodnim tehnologijama. Predstavljeni su karakteristični parametri procesa obrade rezanjem i definisani su ciljevi disertacije. Takođe, kandidat daje pregled literature koja tretira primenu tehnika veštačke inteligencije u mašinskoj obradi, kao i kritički osvrt na dostupnu literaturu, koja je između

ostalog i bila korišćena pri izradi ovog rada. U ovom poglavlju prikazan je današnji trend razvoja inteligentnih tehnoloških sistema, kao i mesto i uloga tehnika veštačke inteligencije u njima, sa posebnim osvrtom na primenu veštačkih neuronskih mreža i adaptivnih, neuro-fazi sistema.

U drugom i trećem poglavlju prikazani su osnovni izvodi iz teorije veštačkih neuronskih mreža, fazi logike i hibridnih, neuro-fazi sistema. Prikazani su principi funkcionisanja fazi sistema, kao i principi funkcionisanja veštačkih neuronskih mreža. Detaljno su objašnjeni adaptivni neuro-fazi sistemi. Ovo je prikazano na primerima vezanim za mašinsku obradu rezanjem. Kandidat je ove primere koncipirao na takav način da oni predstavljaju rezultate sopstvenih istraživanja tokom dužeg vremenskog perioda bavljenja pomenutom problematikom. Istaknuto je da se, iako su danas tehnike veštačke inteligencije na mnogo višem stepenu razvoja nego što je to bio slučaj pre desetak godina, i dalje ne može govoriti o njihovoj masovnoj upotrebi.

U četvrtom poglavlju detaljno je analiziran proces mašinske obrade rezanjem i posebno su razmotreni glavni uticajni faktori ovog procesa. Prikazan je i usvojen je odgovarajući model procesa obrade rezanjem na strugu, pogodan za analizu sa stanovišta sistema zasnovanih na veštačkoj inteligenciji. Na osnovu postavljenog modela procesa definisane su i uspostavljene odgovarajuće korelacije među uticajnim faktorima. Temperatura rezanja, sile rezanja kao i kvalitet obrađene površine (tj, srednje aritmetičko odstupanje profila) su parametri koji se mogu smatrati dobrim kvalitativno-kvantitativnim pokazateljima procesa obrade rezanjem. Prikazane su i metode za njihovo eksperimentalno određivanje.

Poglavlje pet koje nosi naslov „Eksperimentalna istraživanja“ predstavlja originalni laboratorijski model za merenje i akviziciju najvažnijih parametara procesa obrade rezanjem na strugu. Na osnovu postavljenog modela izvršena je serija eksperimenata. Izabran je materijal za ispitivanje i to šipkasti materijal od Č4732, najpre termički neobrađen, a zatim i termički obrađen na željenu tvrdoću. Izabrani su rezni alati, pomoćni pribor i mašina na kojoj će se vršiti obrada. U eksperimentima je za izabrani materijal varirana tvrdoća (HRC 20, 36, 45 i 55), brzina rezanja (80, 95, 110, 125 i 140 m/min), korak (0.071, 0.098, 0.196 i 0.321 mm/o) i dubina rezanja (0.5, 1.0, 1.5 i 2 mm), a sve po planu eksperimenta. Ukupno je urađeno 320 eksperimenata. Merene su sledeće veličine: sile rezanja trokomponentnim davačem sile, temperatura rezanja IC kamerom i visina neravnina uređajem za merenja hrapavosti. Eksperimentalno dobijeni podaci su sistematizovani, tabelarno i grafički predstavljeni, a zatim su, detaljnije analizirani.

U prvoj fazi izvršena je mašinska obrada struganjem priprema koji nije termički tretiran, pri čemu su, pri različitim ulaznim promenljivim veličinama, odnosno režimima rezanja, praćene vrednosti odgovarajuće maksimalne temperature rezanja, komponente sile rezanja i pokazatelji hrapavosti obrađene površine. Kandidat detaljno opisuje proces akvizicije podataka, kao i osnovne prednosti i mane korišćenih metoda. Nakon toga izvršena je sistematizacija i analiza dobijenih podataka, i uspostavljeni su odgovarajući zaključci o međusobnim odnosima i trendovima promena praćenih parametara.

U sedmom poglavlju dobijeni podaci o temperaturi rezanja, silama rezanja i kvalitetu obrađene površine modeliraju se korišćenjem veštačkih neuronskih mreža. Pri modeliranju pomoću veštačkih neuronskih mreža kandidat posebnu pažnju posvećuje pravilnom odabiru parametara mreže, kao što su: broj skrivenih nivoa i broj neurona u njima, algoritam obučavanja itd... Posebnim analitičkim razmatranjem određeni su optimalni parametri korišćene neuronske mreže. Takođe, predstavljen je i osnovni koncept generalisane veštačke neuronske mreže, koja može za zadate vrednosti režima rezanja da proračuna vrednosti temperature, sile rezanja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila.

U osmom poglavlju eksperimentalno dobijeni podaci iz sistema za akviziciju podataka: temperatura, sila rezanja i srednje aritmetičko odstupanje profila, koriste se za modeliranje pomoću adaptivnih neuro-fazi sistema. Na računarskom sistemu za obradu podataka instaliran je programski paket Matlab, koji ima modul za obradu podataka koristeći neuro-fazi tehnologije. Na bazi ovog sistema kreirana je odgovarajuća aplikacija (NF – NeuroFuzzy), koja pruža mogućnost

postprocesiranja podataka o temperaturi rezanja, rezultujućoj sili rezanja i srednjem aritmetičkom odstupanju profila obrađene površine, koristeći eksperimentalno dobijene podatke. I u ovom slučaju kandidat je posebnu pažnju posvetio pravilnom izboru parametara sistema, kao što su: broj i tip funkcija pripadnosti, broj ciklusa obučavanja itd. sa ciljem dobijanja optimalnog rešenja.

Nakon izvršenog modeliranja, u devetom poglavlju, rezultati rada kreiranih sistema porede se sa izmerenim vrednostima, i na taj način se utvrđuje greška svakog od sistema. Upoređivanjem ovih grešaka dolazi se do zaključka koji od sistema pokazuje najbolje karakteristike, pa se takav sistem koristi pri narednim modeliranjima. Uporednom grafičkom analizom, primećuje se značajno poklapanje rezultata dobijenih modeliranjem različitim tehnikama veštačke inteligencije i izmerenih vrednosti.

Radi uopštavanja problema, potrebno je obuhvatiti što veći broj parametara, kao i veći broj nivoa po kojima se oni menjaju. U tom smislu kandidat je izvršio proširenje baze znanja, pri čemu je izvršena obrada još tri, u ovom slučaju termički tretirana, uzorka sa različitim tvrdoćama. Dobijeni podaci su predstavljeni i analizirani u desetom poglavlju. U ovom poglavlju prikazane su i zavisnosti pojedinih ulaznih i izlaznih parametara, kao i tendencije promene svake od praćenih veličina.

Pomenuti podaci su takođe iskorišćeni za obučavanje adaptivnih neuro-fazi sistema koji proračunavaju odgovarajuće temperature rezanja, sile rezanja ili srednje aritmetičko odstupanje profila, u jedanaestom poglavlju. I u ovom slučaju jedan broj podataka bio je iskorišćen za obučavanje sistema, dok su ostali podaci iskorišćeni za testiranje i proveru rada kreiranog sistema. Nakon toga dat je uporedni prikaz izmerenih i proračunatih vrednosti. Ovako dobijeni sistemi se mogu koristiti kao samostalni sistemi, ili kao podsistemi nekog globalnog sistema. U ovom poglavlju kandidat je predstavio neka od mogućih varijantnih rešenja jednog globalnog sistema za predikciju stanja alata, čiji bi podsistemi mogli biti kreirani, adaptivni neuro-fazi sistemi za proračun temperature rezanja, sile rezanja i kvaliteta obrađene površine.

U zaključku kao dvanaestom poglavlju, na sistematičan način su istaknuta najbitnija saznanja do kojih se došlo teorijskim i eksperimentalnim istraživanjem. Prikazane su prednosti, ali i nedostaci, koji se javljaju pri ovakvoj vrsti modeliranja. Pored toga, kandidat u ovom poglavlju daje i smernice za dalja istraživanja i rad u oblasti primene tehnika veštačke inteligencije u procesu mašinske obrade rezanjem. Posebno su istaknute razvijene metodologije koje predstavljaju vredan naučno-stručni doprinos u ovoj oblasti.

Kreirani sistemi u radu su, nakon faze obuke, sposobni da, sa prilično dobrom preciznošću, proračunaju nepoznate parametre obrade i na taj način omoguće značajnu uštedu u vremenu. Oni se mogu koristiti, ili kao samostalni sistemi, ili kao podsistemi jednog globalnog, sveobuhvatnijeg sistema, koji koristi podatke dobijene od svojih podsistema, i koji može da posluži za procenu trenutnog stanja reznog alata i proračunavanje pravog vremena njegove zamene, ili za automatsko korigovanje režima rezanja. Ovakav sistem predstavljao bi neku vrstu neuro-fazi kontrolera kod obradnih sistema sa aktivnim sensorima. Znanje ovakvog sistema može se uvek proširiti novim, željenim podacima. Sa praktične strane gledišta ovo znači da sistem ima mogućnost da, po potrebi, menja svoje parametre, odnosno da uči. Generalisani model, čije su osnove u ovom radu postavljene, može za zadate vrednosti režima rezanja (brzine, koraka i dubine rezanja) da proračuna vrednosti temperature, sile rezanja i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila. Međutim, koristeći već postojeće znanje ovog modela u vidu težinskih koeficijenata, moguće je rešiti i inverzni problem, odn. pronaći režim rezanja pri kome bi se pojavili nepovoljni pokazatelji procesa. Ovo bi moglo da bude iskorišćeno u fazi projektovanja za proizvodnju sa ciljem izbegavanja nepovoljnih režima rezanja. Uspešno izvršenim modeliranjem podataka i postavljanjem osnova jednog sveobuhvatnog sistema za predikciju parametara procesa ostvaren je i naučni doprinos ovog rada u primeni sistema koji koriste tehnike veštačke inteligencije na polju mašinske obrade rezanjem.

## ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu pregleda doktorske disertacije i analize postignutih rezultata, članovi Komisije konstatuju:

- da podneti rad u potpunosti odgovara temi prihvaćenoj od strane Nastavno - naučnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu.
- da je kandidat rezultatima dobijenim u radu pokazao da poseduje potrebna znanja iz oblasti proizvodnih tehnologija, teorije planiranja i realizacije eksperimenta i iz tehnika veštačke inteligencije, kao i njihove implementacije u rešavanju praktičnih problema u mašinskoj obradi rezanjem.
- da kandidat uspešno koristi savremene softverske alate i da je ispoljio visok nivo poznavanja na znanju zasnovanih tehnologija i njihove implementacije u proizvodnim sistemima.
- da je kandidat pokazao visok nivo samostalnosti i sistematičnosti u istraživanjima i ispoljio sposobnost analize naučnih znanja iz zadate oblasti, kao i samostalnost i originalnost u osmišljavanju i kreiranju određenih rešenja.
- da doktorska disertacija predstavlja vredan, i u našoj i svetskoj literaturi, originalni doprinos integraciji i objedinjavanju znanja iz tehnika veštačke inteligencije i njihove implementacije u realnoj industrijskoj praksi, gde se posebno ističe:
  - da je postavljen originalni model procesa obrade rezanjem pogodan za eksperimentalna istraživanja i obradu podataka sa stanovišta primene tehnika veštačke inteligencije, i na osnovu njega ustanovljene korelacije među uticajnim faktorima,
  - da su koncipirani i realizovani originalni i praktično primenljivi sistemi, bazirani na veštačkoj inteligenciji, za predikciju tehnoloških parametara procesa obrade rezanjem na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka,
  - da rezultati istraživanja imaju zadovoljavajuću tačnost i izvestan stepen opštosti, tako da se koncept primene tehnika veštačke inteligencije može uspešno primeniti u svakodnevnom radu tehnologa prilikom projektovanja tehnoloških postupaka obrade, a i samih mašinskih sistema u obliku inteligentnih senzora mašine.
- da je rad kvalitetno tehnički obrađen na visokom nivou.

Na osnovu svega napred izloženog članovi Komisije konstatuju da podneta doktorska disertacija predstavlja vredan doprinos razvoju i primeni tehnologija zasnovanih na znanju radi postizanja efikasnijeg projektovanja tehnoloških postupaka i projektovanja za proizvodnju, i nudi kvalitetne rezultate za razvoj ovakvih sistema. Imajući u vidu sve prethodno izloženo, kao i aktuelnost i složenost izložene problematike, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Mašinskog fakulteta u Nišu da rad pod nazivom:

### **„MODELIRANJE KORELACIJA IZMEĐU PARAMETARA PROCESA OBRADE REZANJEM PRIMENOM ADAPTIVNIH NEURO-FAZI SISTEMA“**

prihvati kao doktorsku disertaciju i da kandidatu *mr Dejanu I. Tanikiću*, dipl. maš. inž. odobri usmenu odbranu.

19.07.2009. god  
u Nišu i Kragujevcu

Članovi komisije:



dr Miodrag Manić, red. prof.  
Mašinskog fakulteta u Nišu



dr Velibor Marinković, red. prof.  
Mašinskog fakulteta u Nišu



dr Miroslav Trajanović, red. prof.  
Mašinskog fakulteta u Nišu



dr Goran Devedžić, van. prof.  
Mašinskog fakulteta u Kragujevcu



dr Žarko Čojbašić, vanr. prof.  
Mašinskog fakulteta u Nišu