

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU MAŠINSKOG FAKULTETA U NIŠU

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

Odlukom Nastavno-naučnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu broj 612-95-5/2010 od 26.01.2010. godine imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata *mr Andjele D. Lazarević*, pod nazivom:

„MODELIRANJE KORELACIJA IZMEĐU PARAMETARA PROCESA REZANJA PLAZMOM I ANALIZA TOPLOTNOG BILANSA METODAMA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE“

Nakon pregleda doktorske disertacije, saglasno Zakonu o visokom obrazovanju i Statutu Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija kandidata *mr Andjele D. Lazarević*, dipl. maš. inž. obuhvata 227 strana formata A4. Celokupna materija disertacije podeljena je u 12 poglavlja, 2 strane sadržaja, 3 strane ključne dokumentacione informacije – na srpskom i engleskom jeziku, i 7 strana citirane literature sa 138 bibliografskih jedinica. U radu je prikazano 219 numerisanih grafičkih priloga u vidu dijagrama i šema, kao i 25 tabela. Ceo rad je obrađen u tekst procesoru MS Word i ukoričen u tvrdi povez.

Naslovi poglavlja su sledeći:

1. Uvod
2. Teorijske osnove i razvoj procesa rezanja plazmom
3. Tehnološki proces rezanja plazmom
4. Komparativna analiza postojećih metoda modeliranja procesa rezanja plazmom
5. Tehnološki parametri procesa rezanja plazmom
6. Energetski bilans procesa rezanja plazmom
7. Eksperimentalno istraživanje procesa rezanja plazmom
8. Matematičko modeliranje procesa rezanja plazmom primenom statističkih metoda
9. Primena metoda veštačke inteligencije u proizvodnim sistemima
10. Primena veštačkih neuronskih mreža za modeliranje procesa rezanja plazmom
11. Upporedna analiza rezultata modeliranja procesa rezanja plazmom primenom regresione analize i neuronskih mreža
12. Zaključak

MAŠINSKI FAKULTET U NIŠU

| | | | |
|-----------|-------------|--------|----------|
| Primljeno | 16.02.2010. | | |
| Org. jed. | Broj | Prilog | Vrednost |
| 1 | 612- | 129/10 | |

U uvodnom delu dat je prikaz i struktura rada. Istaknut je i opisan problem koji je razmatran u okviru rada, kao i primenjene metode za eksperimentalna istraživanja, obradu rezultata i način prikaza i analize rezultata do kojih se došlo tokom istraživanja.

U drugom poglavlju su date teorijske osnove procesa rezanja plazmom, jednog kompleksnog procesa, čije teoretsko razmatranje podrazumeva određeni broj aproksimacija i pretpostavki. Kod procesa rezanja plazmom koristi se atmosferska, termalna plazma, a ovaj proces se primenjuje u nekoliko najvećih proizvodnih industrija: industriji automobila, aviona, brodogranji, papira, tekstila, telekomunikacija i upravljanja otpadom. Prikazan je i istorijski razvoj procesa rezanja plazmom, koji prati razvoj tehnologije generisanja plazma luka kroz različite tehnološke inovacije, kao i pregled razvoja uređaja za rezanje plazmom.

Treće poglavlje analizira praktičan aspekt tehnološkog procesa rezanja plazmom, gde su definisane osnovne komponente numerički upravljane mašine za rezanje plazmom, njihove funkcije i mogućnosti. Razmotreni su i pojedini aspekti rada mašine za rezanje plazmom, kao što su načini startovanja procesa, sa eventualnim problemima koji se mogu javiti u konkretnim uslovima primene. Pregled parametara procesa rezanja plazmom predstavljen je na takav način da omogućava da se uoči međusobna zavisnost brzine rezanja, debljine materijala i jačine struje.

Četvrto poglavlje obuhvata komparativnu analizu radova i naučnih dostignuća, koji se bave problematikom modeliranja procesa rezanja plazmom. Pregled radova i dosadašnjih istraživanja dat je za neke radove detaljnije, dok je za neke radove predstavljen samo osnovni pristup i dostignuće rada. Cilj analize radova je bio da se rezultati nekih od navedenih istraživanja iskoriste za pojašnjenje pojedinih fenomena i pojava koje se javljaju tokom procesa rezanja plazmom, kao i za projektovanje tehnoloških parametara procesa. Radovi su klasifikovani u tri grupe i to: razmatranja načina formiranja mlaza plazme (sa korelacijama između ulaznih parametara i određenih karakteristika mlaza plazme), razmatranja karakteristika mlaza plazme i razmatranja interakcije mlaza plazme i materijala obradka.

Peto poglavlje je posvećeno analizi parametara procesa rezanja plazmom, koji su sistematizovani i analizirani na način na koji su analizirani i radovi i naučna istraživanja o procesu rezanja plazmom: ulazni parametri (koji utiču na formiranje plazma luka), karakteristike mlaza plazme i izlazni parametri (interakcije mlaza plazme i materijala). Razmatranje druge grupe parametara je veoma teško i zahteva skupu aparaturu i eksperimente. Ističe se da ni jedna grupa naučnika i istraživača nije do sada uspela da istraži u potpunosti uticaj svih ulaznih parametara na karakteristike mlaza plazme, i dalje uticaj karakteristika mlaza plazme na kvalitet obrade, odnosno ne postoji kompletan model procesa rezanja plazmom koji je verifikovan. U ovoj disertaciji je akcent stavljen pre svega na istraživanje uticaja ulaznih parametara procesa na izlazne parametre procesa (kvalitet obrade) i optimizaciju procesa. Kvalitet obrade i greške površine reza razmatrani u skladu sa važećim standardima Zavoda za standardizaciju Republike Srbije. U drugom delu ovog poglavlja data je analiza uticajnosti pojedinih ulaznih parametara procesa rezanja plazmom na sam proces. Istraživanje uticajnosti (signifikantnosti) pojedinih ulaznih parametara procesa rezanja plazmom je izvršeno primenom software-ske aplikacije Expert Choice. Analiza je pokazala da su najznačajniji uticajni parametri procesa brzina rezanja, jačina struje i debljina materijala, dok ostali parametri imaju manju značajnost. Zbog toga su oni detaljno analizirani prilikom eksperimentalnih istraživanja i analize samog procesa.

Energetski bilans procesa rezanja plazmom je predstavljen u šestom poglavlju, gde je razmotrena unutrašnja energija plazme, termički procesi do kojih dolazi prilikom procesa rezanja plazmom, kao i raspodela komponenata snage koje učestvuju u procesu rezanja. Sagledavanje celokupnog energetskog bilansa toplotne energije procesa rezanja plazmom je značajno kako bi se identifikovale potencijalne neefikasnosti, čijim bi se otklanjanjem proces unapredio. U radu su predstavljeni generalizovani rezultati razmatranja drugih autora koji su, na osnovu izmerenih temperatura i ostalih relevantnih karakteristika, vršili procenu raspodele komponenata snage koje

učestvuju u procesu rezanja plazmom. Energetski bilans procesa prikazan je i Sankey-evim dijagramom.

Tokom istraživanja energetskog bilansa vršena su merenja temperature obradka nakon rezanja primenom infracrvene termografije. Razmatrana su temperaturna polja za različite debljine materijala, i to je prikazano na termogramima i temperaturnim profilima obradka, pri čemu su prikazane promene po dužini reza i upravno na površinu reza, neposredno nakon završetka procesa rezanja, kao i njegovo hlađenje u atmosferskim uslovima. Uočava se dobro slaganje eksperimentalnih razmatranja temperaturnih polja i toplotnog bilansa procesa, sa teorijskim razmatranjima i empirijskim relacijama datim u radu. Razmatranjem promena temperaturnih polja u obradku, pokazano je da se najveći deo gubitaka odnosi mlazom plazme sa donje strane obradka, s obzirom da temperature rešetke na kojoj se obradak nalazi tokom rezanja, ostaju znatno više u odnosu na temperature obradka. U tom smislu su u radu date smernice za dalje istraživanje procesa u cilju boljeg iskorišćenja energije prilikom rezanja plazmom, odnosno u cilju povećanja energetske efikasnosti samog procesa.

U sedmom poglavlju su predstavljeni rezultati eksperimentalnih istraživanja. Za modeliranje procesa rezanja plazmom, zavisno od metode modeliranja koja se koristi, izvršen je određen broj eksperimenata, na osnovu kojih se, merenjem izlaznih parametara za različite kombinacije ulaznih parametara, došlo do informacija potrebnih za razumevanje mehanizama procesa predstavljenog tkz. principom crne kutije.

Eksperimentalna istraživanja procesa rezanja plazmom su vršena na numerički upravljanoj mašini za rezanje plazmom tipa HPm Steel Max 6.25, koja se koristi u kombinaciji sa uređajem za rezanje plazmom tipa Hypertherm HPR130. Za istraživanje procesa izabran je nerđajući čelik oznake: X10CrNiMn-16-10-2 (EN 10025). Izvršeno je rezanje pet različitih debljina materijala: 4, 6, 8, 12 i 15 mm. Variranje ostalih ulaznih faktora je vršeno tako što su za određenu debljinu materijala razmatrane jačine struje (45, 80, i 130 A) koje se mogu koristiti za rezanje plazmom. Za svaku debljinu materijala, rezanje je vršeno primenom svih mogućih jačina struje, pri čemu su, na osnovu debljine materijala i izabrane jačine struje, prema preporukama proizvođača, birane i varirane brzine rezanja. Načinjen je veliki broj eksperimentalnih rezova variranjem nekih od ulaznih parametara procesa, ili prema preporukama proizvođača, ili prema utvrđenom planu eksperimenta, zavisno od njihove namene i izbora metode modeliranja procesa rezanja plazmom. Nakon rezanja izvršena su merenja osnovnih elemenata kvaliteta reza za svaki uzorak, na osnovu čega su dobijeni izlazni parametri procesa rezanja plazmom: širina reza (s_r), hrapavost površine reza (R_z) i odstupanje ugla reza (β). Izvršeno je oko 130 eksperimenata, pri čemu su rezultati merenja grupisani prema debljini materijala obradka koji je korišćen. Nakon prikupljanja podataka izvršena je njihova analiza uz pomoć software-ske aplikacije MatLab. Detaljno su prikazani svi rezultati eksperimenta, i to tabelarno i uz pomoć dijagrama. Posebno je detaljno na dijagramima prikazana zavisnost ulaznih i izlaznih parametara procesa pri različitim uslovima eksperimenata.

Modeliranje procesa rezanja plazmom je vršeno kroz dva odvojena modela procesa, jedan sa ciljem predikcije parametara procesa, a drugi sa ciljem njegove optimizacije, i to primenom dve različite metode modeliranja procesa: statističke metode i primenom metoda veštačke inteligencije

Predikcija je vršena u cilju određivanja elemenata kvaliteta reza: širine reza, hrapavosti površine reza i odstupanja ugla reza u funkciji identifikovanih najuticajnijih ulaznih parametara procesa: jačine struje, debljine materijala i brzine rezanja. Ovi modeli omogućavaju dobijanje određenih izlaznih veličina procesa za bilo koju kombinaciju ulaznih parametara procesa, uključujući i one vrednosti za koje ne postoje podaci dobijeni merenjem ili posmatranjem.

Optimizacija je vršena u cilju određivanja vrednosti ulaznog parametara brzine rezanja, koju bi trebalo koristiti u cilju dobijanja željenih izlaznih parametara procesa: širine reza ili odstupanja ugla reza.

U osmom poglavlju izvršen je izbor statističke metode za matematičko modeliranje procesa. Kod statističkog modeliranja, nezavisno od izabrane metode, osnovni koraci su: izbor modela, podešavanje (fitovanje) i verifikacija modela. Izbor statističke metode za matematičko modeliranje procesa, pa time i izbor matematičkog modela, zavisi pre svega od ciljeva analize i prirode samih podataka, ali i od subjektivnih okolnosti vezanih za ekspertizu stručnjaka koji vrše modeliranje procesa. Nakon analize različitih statističkih metoda za modeliranje procesa, zaključeno je da je najpogodnije koristiti statistički metod linearne regresije. Za matematički model je, međutim, izabrana složena stepena funkcija uticajnih faktora, koja je logaritmovanjem svedena na linearni oblik. Razmatrani uticajni parametri procesa prethodno su identifikovani primenom software-ske aplikacije ExpertChoice, koja je pokazala da su tri najuticajnija parametra procesa, u odnosu na identifikovane ciljeve procesa jačina struje, debljina materijala i brzina rezanja. Za potrebe određivanja obsega variranja brzine rezanja, eksperimentalnim putem su određene granične brzine rezanja za sve moguće jačine struje, a za različite debljine materijala.

Regresiona analiza izvršena je primenom Model Browser-a MBC panela software-ske aplikacije MatLab, ali je napravljen i program u software-skoj aplikaciji Excel, koji automatski generiše vrednosti parametara prethodno postavljenog matematičkog modela. Kako se vrši linearna regresija kodiranog modela, ovaj program automatski izračunava nepoznate parametre složene stepene funkcije tj. modela procesa rezanja plazmom. Program takođe proverava jednorodnost disperzije odnosno reprodukciju opita, izračunava disperziju eksperimenta, vrši ocenu signifikantnosti parametra modela i proverava adekvatnost dobijenog matematičkog modela. Ovaj program olakšava i verifikaciju eksperimenta, generisanjem izlaznih parametara za bilo koju kombinaciju ulaznih parametara, koji se nakon toga mogu uporediti sa rezultatima merenja. Nakon izvršene linearne regresije, u okviru rada je data i 3-D grafička interpretacija rezultata sprovedenih istraživanja, primenom alata software-ske aplikacije MathLab, koja pruža mnoge korisne informacije o procesu.

U devetom poglavlju su razmotrene metode veštačke inteligencije koje se najčešće primenjuju kod proizvodnih sistema: ekspertni sistemi, veštačke neuronske mreže, evoluciono računarstvo, grupna inteligencija, fazi sistemi i modeli zasnovani na znanju. Proces rezanja plazmom predstavlja veoma kompleksan proces koji još uvek nije dovoljno istražen i tokom koga dolazi do pojave visokih temperatura i takvih ostalih karakteristika koje je teško ili nemoguće meriti i posmatrati konvencionalnim metodama. Zbog prednosti analiziranih metoda veštačke inteligencije, naročito u slučajevima kada nije definisana putanja iznalaženja nekog rešenja, a sam proces se karakteriše mnogim neizvesnostima, izabrana je primena veštačkih neuronskih mreža za modeliranje i analizu procesa rezanja plazmom.

Deseto poglavlje predstavlja primenu veštačkih neuronskih mreža za modeliranje procesa rezanja plazmom, pri čemu su uspostavljena dva odvojena sistema: sistem za predikciju parametara procesa rezanja plazmom i sistem za njegovu optimizaciju.

Za slučaj predikcije parametara procesa, kao rezultat primene veštačkih neuronskih mreža dobijne su tri obučene neuronske mreže sa jednim ulaznim nivoom sa 3 neurona (za tri ulazne veličine: jačinu struje, brzinu rezanja i debljinu materijala) i jednim izlaznim nivoom sa po jednom izlaznom veličinom za svaku izabranu izlaznu veličinu čija se predikcija vrši. Broj skrivenih nivoa neuronske mreže, a naročito broj neurona u njima, se razlikuje od mreže do mreže. Dobijene su sledeće obučene neuronske mreže: veštačka neuronska mreža za predikciju širine reza (ANN-S_r), veštačka neuronska mreža za predikciju hrapavosti površine reza (ANN-R_z) i veštačka neuronska mreža za predikciju odstupanja ugla reza (ANN-β).

Kao rezultat primene veštačkih neuronskih mreža za optimizaciju procesa rezanja plazmom, dobijne su dve obučene neuronske mreže sa jednim ulaznim nivoom sa 3 neurona (za tri veličine: jačinu struje, debljinu materijala i širinu reza ili odstupanje ugla reza) i jednim izlaznim nivoom sa jednom neuronom za brzinu rezanja. Broj skrivenih nivoa neuronske mreže, a naročito broj neurona u njima, se razlikuje od mreže do mreže. Dobijene su sledeće obučene neuronske mreže: veštačka

neuronska mreža za određivanje brzine rezanja na osnovu širine reza ($ANN-V_{Sr}$) i veštačka neuronska mreža za određivanje brzine rezanja na osnovu odstupanja ugla reza ($ANN-V_{\beta}$). Ove veštačke neuronske mreže se mogu primeniti za bilo koji skup novih ulaznih veličina (koje nisu korišćene za njihovo obučavanje).

U jedanaestom poglavlju izvršena je uporedna analiza modela koji su dobijeni primenom linearne regresije i veštačkih neuronskih mreža, kao i njihovo poređenje sa eksperimentalnim rezultatima. Iako obe metode pokazuju dobro slaganje sa eksperimentalnim rezultatima, analizom rezultata modeliranja procesa se može zaključiti da podaci dobijeni primenom veštačkih neuronskih mreža bolje odgovaraju eksperimentalnim rezultatima za iste uslove, za svaki od sistema dobijenih modeliranjem, i kod predikcije parametara procesa i kod njegove optimizacije.

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 rezanja plazmom. Posebno su istaknute razvijene metodologije koje predstavljaju vredan naučno-stručni doprinos u ovoj oblasti.

ZAKLJUČAK I PREDLOG

Sumirajući sve prethodno izloženo i posmatrajući rad u celini, može se uočiti da se rad sastoji od nekoliko segmenata istraživanja, pri čemu se svaki od njih može dalje razrađivati i unapređivati. Istraživanjem u okviru ovoga rada ispunjen je osnovni cilj, a to je komparativni prikaz mogućnosti statističkih metoda i metoda veštačke inteligencije u praksi, i njihova primena za potrebe modeliranja korelacija između parametara procesa rezanja plazmom, pri čemu su izrađeni originalni modeli procesa primenom ove dve metode. Do sada nije poznato da se neko u svojim istraživanjima bavio upoređivanjem primene statističke metode i neke od metoda veštačke inteligencije za modeliranje procesa rezanja plazmom. Za potrebe istraživanja sprovedenog u ovom radu, izvršeno je preko 130 eksperimenata u različitim uslovima realnog industrijskog pogona. Pri tome su neki eksperimenti korišćeni za određivanje graničnih brzina, a neki za potrebe različitih modeliranja.

U radu je dat sveobuhvatan prikaz procesa rezanja plazmom, gde su detaljno analizirani fizički procesi i fenomeni koji se tokom procesa javljaju, pojedinačni delovi procesa i proces u celini, različiti parametri procesa i trenutna dostignuća istraživanja u ovoj oblasti.

Pristup korišćen u ovom radu se lako može replicirati, odnosno primeniti na različite uređaje za rezanje plazmom, bilo kog stepena automatizacije i tačnosti, primenom identične metodologije. Time se otvara mogućnost primene razvijene metodologije na bilo koji proces rezanja plazmom u stvarnim uslovima nekog industrijskog pogona. Ova metodologija se takođe može primeniti i na srodne procese obrade materijala, naročito na proces sečenja abrazivnim vodenim mlazom ili laserom.

Pošto su i statistička metoda i metoda veštačkih neuronskih mreža pokazale dobro slaganje sa eksperimentalnim rezultatima, bitno je istaći da odluka o tome koja bi se od ovih metoda mogla koristiti u konkretnim uslovima nekog industrijskog pogona zavisi od uređaja za rezanje plazmom čiji se proces razmatra i od samog cilja modeliranja procesa. U koliko se radi o uređaju za rezanje plazmom koji nije automatizovan, i ne postoje nikakve smernice za njegovo podešavanje, već se sva podešavanja zasnivaju na preporukama proizvođača uređaja i iskustvu operatera, primena statističke metode linearne regresije je veoma moćan alat.

Kod sofisticiranijih uređaja za rezanje plazmom, koji su integrisani u okviru automatizovanih sistema, može se izvršiti unapređivanje i dorada software-a kojim se upravlja određenim procesom, rezultatima dobijenim primenom veštačkih neuronskih mreža. Primena

veštačkih neuronskih mreža podrazumeva obučavanje neuronske mreže velikim brojem adekvatno izabranih podataka, pa je potrebno izvršiti veliki broj eksperimenata. U radu je metoda veštačkih neuronskih mreža dala dobre rezultate modeliranja procesa rezanja plazmom, pri čemu se dobijene neuronske mreže mogu još dodatno obučiti primenom dodatnih skupova ulazno – izlaznih parametara, tj. proširenjem baze znanja.

U konkretnom slučaju, ovakvi rezultati modeliranja procesa se mogu integrisati u već postojeći software mašine za rezanje plazmom, ili se može napraviti potpuno nezavisni software za predikciju i optimizaciju parametara procesa. Takođe, integrisanje rezultata modeliranja procesa primenom veštačkih neuronskih mreža se može ugraditi u sistem ne samo uz pomoć software-a, već i dodavanjem određenih hardware-skih komponenti, kao npr. kreiranjem inteligentnog procesora, kojim bi se vršilo generisanje i nadgledanje parametara procesa.

Imajući u vidu da različita preduzeća i kompanije nisu u mogućnosti da u svom pogonu imaju mašine za rezanje plazmom, ali povremeno imaju potrebu za obradom rezanjem plazmom, moguće je razviti korporacijsku ili regionalnu tehnološku bazu znanja uz mogućnost predikcije i optimizacije tehnoloških parametara procesa rezanja plazmom.

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 tehnika veštačke inteligencije, kao i njihove implementacije u rešavanju praktičnih problema,
- da kandidat uspešno koristi savremene software-ske 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 rezanja plazmom pogodan za eksperimentalna istraživanja i obradu podataka sa stanovišta primene statističkih metoda i tehnika veštačke inteligencije, i na osnovu njega ustanovljene korelacije među uticajnim faktorima,
 - da su koncipirani i realizovani originalni i praktično primenljivi sistemi za predikciju tehnoloških parametara procesa rezanja plazmom na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka,
 - da su koncipirani i realizovani originalni i praktično primenljivi sistemi za optimizaciju procesa rezanja plazmom na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka,
 - da rezultati istraživanja imaju zadovoljavajuću tačnost i izvestan stepen opštosti, tako da se primenjeni koncept i metodologija istraživanja mogu 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 REZANJA
PLAZMOM I ANALIZA TOPLOTNOG BILANSA METODAMA VEŠTAČKE
INTELIGENCIJE“**

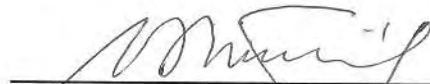
prihvati kao doktorsku disertaciju i da kandidatu *mr Andjeli D. Lazarević*, dipl. maš. inž. odobri usmenu odbranu.

10.02.2010. god
u Nišu i Beogradu

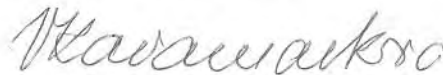
Članovi komisije:



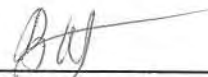
dr Miodrag Manić, red. prof.
Mašinskog fakulteta u Nišu



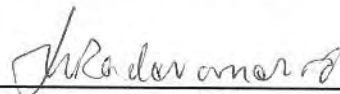
dr Velibor Marinković, red. prof.
Mašinskog fakulteta u Nišu



dr Vladan Karamarković, red. prof.
Mašinskog fakulteta u Kraljevu



dr Vlastimir Nikolić, red. prof.
Mašinskog fakulteta u Nišu



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