

Dr Janez Kopač, redovni profesor Fakulteta za strojništvo u Ljubljani
Dr Gordana Globočki Lakić, vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci
Dr Davorin Kramar, docent Fakulteta za strojništvo u Ljubljani
Dr Đorđe Čiča, docent Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci

NASTAVNO - NAUČNOM VIJEĆU MAŠINSKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BANJOJ LUCI

PREDMET: Izvještaj Komisije za pregled i ocjenu magistarskog rada kandidata Branislava Sredanovića dipl. inž. maš.

Odlukom Nastavno - naučnog vijeća Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci br. **16/3.582/12 od 15.05.2012.** godine imenovani smo u Komisiju za pregled i ocjenu magistarskog rada Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš. pod nazivom:

RAZVOJ MODELA ZA DEFINISANJE UNIVERZALNE OBRADIVOSTI NA OSNOVU PARAMETARA PROCESA REZANJA

Nakon pregleda i analize magistarskog rada Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš., Komisija podnosi Nastavno - naučnom vijeću Mašinskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci sljedeći

I Z V J E Š T A J

1. Biografski podaci

Branislav Sredanović rođen je 05.01.1984. godine u Jajcu. Osnovnu školu završio je u Tesliću. Srednju mješovitu školu „Nikola Tesla“ u Tesliću, smjer Mašinski tehničar, završio je sa odličnim uspjehom kao učenik generacije 2001/2002. Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, smjer Proizvodno mašinstvo upisao je 2002. godine, a diplomirao 2007. godine sa prosječnom ocjenom 9,00. Diplomski rad odbranio je na Katedri za tehnologiju obrade rezanjem i obradne sisteme Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci sa ocjenom deset (10). Dobitnik je Zlatne plakete Univerziteta u Banjoj Luci za 2007. godinu.

Od 2007. do 2009. godine bio je zaposlen u preduzeću Megastil d.o.o. Banja Luka, na radnom mjestu tehnologa - projektanta u Sektoru za projektovanje i razvoj, a bio je i član Tima za kvalitet koji je provodio standard ISO 9000:2008. Od 2009. godine radi na Mašinskom fakultetu

Univerziteta u Banjoj Luci kao asistent na predmetima: Tehnologija obrade rezanjem, Obradni sistemi za obradu rezanjem, Alati i pribori, Tribologija, Nekonvencionalne tehnologije, Programiranje numeričkih mašina, 3D CAD mašinsko konstruisanje.

U okviru TEMPUS projekta WBC-VM Net u periodu od 01.12. do 31.12.2011. i u periodu od 07.05. do 15.05.2012. godine boravio je na Fakultetu za strojništvo Univerziteta u Ljubljani, Katedra za odrezavanje, gdje je radio eksperimentalna istraživanja u oblasti primjene različitih tehnika dovodenja sredstava za hlađenje i podmazivanje u zonu rezanja (HPJA i MQL). U dosadašnjem radu je, kao student a kasnije kao asistent, aktivno učestvovao u realizaciji većeg broja naučno-istraživačkih projekata koji su realizovani na Katedri za tehnologiju obrade rezanjem i obradne sisteme Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci. Do sada je u svojstvu autora i koautora objavio 20 radova na domaćim i međunarodnim konferencijama i časopisima od čega 10 radova koji tretiraju problematiku magistarske teme. Značajnije konferencije i časopisi u kojima je objavio radove su: *International Scientific and Practical Conference „Research, Development and Application High Technologies in Industry“*, 2010., Saint Petersburg, Russi; *INTECH 2010 International Conference on Innovative Technologies in Design, Manufacturing and Production*, 2010., Prague, Czech Republic; *International Conference on Manufacturing Engineering, Aristoteles University of Thessaloniki – Mechanical Engineering Department, Laboratory for Machine Tools and Manufacturing Engineering*, 2011., Thessaloniki, Greece; *Journal „Tribology in Industry“*, YU ISSN 0354-8996, Volume 31, No. 1&2, May 2009.; *Journal of the Balkan Tribological Association*, ISSN 1310-4772, Volume 17, No. 4, December 2011., pages 510-512. i dr.

Aktivno se služi engleskim jezikom. Nivo znanja rada na računaru: cjelokupan Microsoft Office paket primjenjuje u praksi, koristi programe za inženjersko projektovanje i proračun (SolidWorks, CATIA, AutoCAD, Ansys), program za proračun (MATLAB), kao i programe za objektno programiranje (Visual Basic, C++).

Postdiplomske studije upisao je školske 2008/2009 godine na Mašinskom fakultetu u Banjoj Luci, smjer Tehnologija fleksibilnih obradnih sistema za rezanje i obradni sistemi za obradu rezanjem. Uvidom u matične knjige Mašinskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, Komisija je konstatovala da je kandidat Branislav Sredanović položio sve ispite na posdiplomskom studiju sa prosječnom ocjenom: 9,83.

2. Tehnički opis obima rada

Magistarski rad kandidata Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš., pod naslovom „**RAZVOJ MODELA ZA DEFINISANJE UNIVERZALNE OBRADIVOSTI NA OSNOVU PARAMETARA PROCESA REZANJA**“ izložen je na 119 stranica formata A4, sa 117 grafičkih prezentacija u obliku slika i dijagrama i 28 tabela, a u popisu literature navedeno je 58 bibliografskih jedinica.

Na početku rada dat je predgovor, podaci za bibliografsku karticu, sadržaj, spisak slika, spisak tabela, spisak važnijih oznaka i simbola, te rezime na srpskom i engleskom jeziku.

3. Struktura i sadržaj rada

Magistarski rad je izložen kroz sljedećih deset poglavlja:

1. UVOD
2. OBRADIVOST MATERIJALA PRI OBRADI REZANJEM
3. PREGLED I OCJENA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA
4. RAZVOJ MODELA ZA DEFINISANJE UNIVERZALNE OBRADIVOSTI
5. POSTAVKA I REALIZACIJA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA
6. ANALIZA I OBRADA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA
7. ANALIZA I POREĐENJE MODELA ZA DEFINISANJE OBRADIVOSTI
8. RAZVOJ APLIKATIVNOG RAČUNARSKOG PROGRAMA
9. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA
10. LITERATURA

U **uvodnom poglavlju** prezentovana su osnovna razmatranja o trendovima razvoja mašinske industrije u regionu i svijetu. Dat je kratak osvrt na stanje u oblasti obrade metala rezanjem i moguće pravce razvoja, koji uključuju pručavanje i razvoj visokoproduktivnih, ekonomičnih, fleksibilnih i ekološki prihvatljivih tehnologija. Na osnovu zaključaka iz uvodnih razmatranja, definisan je problem istraživanja koji se odnosi na izučavanje obradivosti materijala pri rezanju s ciljem povećanja produktivnosti i ekonomičnosti obrade. Pri tome je akcenat stavljen na specijalne postupke dovođenja sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP) u zonu rezanja. Na kraju ovog poglavlja dat je i okvirni sadržaj rada.

U **drugom poglavlju** izložene su osnovne teoretske podloge koje se odnose na definiciju obradivosti i funkcije obradivosti. Date su osnove definisanja obradivosti na osnovu parametara obrade kao funkcija obradivosti (sile rezanja, habanje alata, oblik strugotine, kvalitet obrađene površine, itd.). Detaljno je razmatrana i analizirana problematika obradivosti materijala pri rezanju obzirom da je to vrlo složena kategorija zbog prisutva brojnih uticajnih faktora i njihovih međusobnih interakcija.

Treće poglavlje obuhvata pregled i ocjenu dosadašnjih istraživanja obradivosti u obradi rezanjem i izloženo je u dva dijela. Prvi dio se odnosi na pregled razvijenih modela i sistema za definisanje univerzalne ili globalne obradivosti, dok se drugi dio odnosi na pregled istraživanja u oblasti korišćenja različitih tehnika dovođenja i doziranja SHP-a sa ciljem povećanja obradivosti materijala. Dio poglavlja koji se odnosi na tehnike doziranja SHP-a, fokusiran je na istraživanja efekata primjene tehnike sa minimalnim doziranjem SHP u zonu obrade - *Minimal Quantity Lubrication* (MQL) i tehnike dovođenja mlaza SHP visokog pritiska u zonu obrade - *High Pressure Jet Assisted Machining* (HPJA).

U **četvrtom poglavlju** detaljno je prikazan novi pristup u razvoju modela za definisanje univerzalne obradivosti materijala. Razvijeni model je baziran na vektorskoj analizi. Poglavlje obuhvata dvije cijeline: prva se odnosi na definisanje vektora obradivosti materijala, dok druga cjelina detaljno obrađuje princip ocjene obradivosti putem vektora obradivosti. Model je zasnovan na nekoliko funkcija obradivosti (otpori rezanja, intezitet habanja alata, hrapavost obrađene površine) koje se na ose koordinatnog sistema, pri čemu je izbjegnuta subjektivna ocjena njihove važnosti. U ovom poglavlju je prikazana i vizualizacija vektora obradivosti.

U **petom poglavlju** magistarskog rada opisana je postavka eksperimentalnih istraživanja, kroz pregled primjenjenih postupaka obrade i režima obrade, te dat pregled korišćene mjerne opreme. Pored opisa mašine alatke na kojoj su realizovana eksperimentalna mjerenja, ukratko su opisana i postrojenja za MQL i HPJA tehnike doziranja sredstva za hlađenje i podmazivanje. Takođe, u okviru ovog poglavlja detaljno su razrađene procedure eksperimentalnih istraživanja koje su podijeljene u dva dijela u zavisnosti od mjerenih parametara. U prvom dijelu mjerene su sile i otpori rezanja i vršeno je snimanje oblika strugotine za različite kombinacije ulaznih parametara. U drugoj fazi istraživanja mjerene su vrijednosti habanja alata, hrapavosti obrađene površine usljed habanja alata.

U **šestom poglavlju** prikazan brojni rezultati eksperimentalnih istraživanja koji se odnose na vrijednosti parametara obradivosti i to: otpore rezanja, oblik strugotine, habanje alata i hrapavost površine. Dobijeni rezultati su analizirani i predstavljeni u odgovarajućem obliku (tabelarno i grafički) radi donošenja zaključaka o procesu obrade rezanjem. Modeliranje je izvršeno korišćenjem regresione analize i primjenom vještačke inteligencije - vještačkih neuronskih mreža. Izmjerene, obrađene i modelirane vrijednosti su uvedene u modele kojim se opisuje ponašanje parametara obrade, kao funkcija obradivosti. Izlazi iz razvijenog modela su analizirani i upoređeni sa drugim modelima radi ocjene njihove tačnosti i adekvatnosti.

U **sedmom poglavlju** su u razvijeni vektorski model za definisanje univerzalne obradivosti uvedeni modelirani parametri procesa obrade i izvršena je analiza efikasnosti i univerzalnosti razvijenog modela. Pri ovoj analizi vršeno je poređenje razvijenog modela sa drugim modelima za ocjenu obradivosti materijala. Pored toga izvršena je i analiza izlaznih rezultata vektorskog modela univerzalne obradivosti za različite kombinacije ulaznih podataka. Radi analize fleksibilnosti modela, kao ulazni parametri korišćeni su različiti parametri obrade kao funkcije obradivosti.

U **osmom poglavlju** je opisan razvoj aplikativnog računarskog programa za monitoring procesa rezanja i analizu obradivosti. Aplikacija u osnovnom podprogramu omogućava automatsku obradu rezultata i ocjenu obradivosti prema razvijenom vektorskom modelu. Razvijeni aplikativni računarski program ima nekoliko povezanih programskih modula, koji pored pomenute analize obradivosti, nude mogućnost izbora odgovarajućih režima obrade. U prvom slučaju, izbor režima se vrši na osnovu početnih uslova obrade i zasniva na ocjenama obradivosti, dok se u drugom slučaju izbor režima vrši na osnovu trenutnih uslova obrade. Aplikacija se zasniva na eksperimentalnim mjerenjima i razvijenim modelima kojima se opisuje ponašanje parametara i funkcija obradivosti. Iskorišćeni su modeli za predikciju sila rezanja odnosno energetskog bilansa obrade, modeli za predikciju habanja alata i modeli za predikciju parametara hrapavosti obrađene površine. Razvijena aplikacija ima mogućnost nadogradnje i predstavlja značajan doprinos procesu proučavanja obradivosti koji obuhvata i prikupljanje, obradu i primjenu znanja o obradivosti.

U **devetom poglavlju** data su zaključna razmatranja i pravci budućih istraživanja. Zaključci su izvedeni na osnovu razvijenog modela za definisanje univerzalne obradivosti baziranog na vektorskoj analizi i eksperimentalnih istraživanja. Pravci budućih istraživanja se odnose na razvoj ekspertnih sistema za analizu procesa obrade rezanjem koji koriste znanje o obradivosti.

4. Naučna analiza i doprinos rada

Magistarski rad kandidata Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš., sistematično obrađuje vrlo složenu i kompleksnu temu definisanja univerzalne obradivosti materijala. Kandidat je uložio značajan trud da prouči dosadašnja istraživanja i pristupe iz ove oblasti i da njihovu sveobuhvatnu analizu sa prednostima i nedostacima, što se vidi iz popisa korišćene literature.

Proučavanje obradivosti je vrlo aktuelna i kompleksna oblast koja zahtijeva izvođenje brojnih eksperimentalnih istraživanja, poznavanje tehnika modeliranja procesa i pojava u obradi rezanjem, primjenu velikog broja različitih procedura mjerenja sa visokosofisticiranom mjernom opremom podržanom različitim softverskim rješenjima, što u velikoj mjeri usložnjava definisanje univerzalne obradivosti.

Rad je podijeljen u dvije međusobno povezane cijeline. Prvi dio rada odnosi se na proučavanje uticaja različitih tehnika dovođenja i doziranja SHP-a (standardna tehnika oblijevanja, MQL i HPJA) na obradivost pri obradi teškoobradivih materijala kroz analizu eksperimentalnih rezultata i uspostavljenih modela ponašanja parametara procesa. Pri ovim istraživanjima posebna pažnja je posvećena MQL i HPJA tehnikama doziranja SHP sa radnim pritiscima od 50 MPa i brzinama rezanja 200 – 400 m/min, što u poređenju sa dosadašnjim uslovima ispitivanja (brzine rezanja 100 – 150 m/min i pritisci 1 - 10 MPa) ukazuje na veliki značaj i doprinos rezultata istraživanja realizovanih u ovom magistraskom radu na povećanje produktivnosti procesa obrade.

Drugi dio rada odnosi se na razmatranje i analizu dosadašnjih istraživanja i pristupa u oblasti modeliranja parametara procesa rezanja. Pri tome su analizirani analitički, empirijski, mehanistički, numerički i modeli zasnovani na vještačkoj inteligenciji. Pri ovoj analizi je uočeno da ne postoje opšteprihvaćene metode za ocjenu obradivosti i da mnoge od njih sadrže određene koeficijente kojima korisnik modela subjektivno utiče na definiciju obradivosti. U ovom dijelu rada kandidat je prezentovao novi model za definisanje univerzalne obradivosti zasnovan na vektorskoj analizi parametara i funkcija obradivosti. Kandidat je, kroz realizaciju velikog broja eksperimentalnih istraživanja, uspostavio analogiju između pojedinih parametara procesa međusobno za ispitivanu oblast režima rezanja (kvalitet obrade – habanja alata - vrste i načina primjene SHP – oblik strugotine – sile rezanja) i na osnovu definisanih parametara procesa rezanja, razvio je model za definisanje univerzalne obradivosti materijala na bazi vektorske analize, uvažavajući istovremeno više kriterijuma. Osnovna prednost novorazvijenog modela je u tome što omogućava definisanje univerzalne obradivosti prema dva ili tri kriterijuma istovremeno (habanje alata, kvalitet obrađene površine i sile rezanja), što predstavlja značajan napredak u razvoju novih modela za definisanje univerzalne obradivosti kao najvažnije tehnološke kategorije.

Radi provjere pouzdanosti razvijenog modela, dio eksperimentalnih podataka modeliran je pomoću vještačkih neuronskih mreža i pokazano je da se predikcija parametara obrade uspješno može izvršiti pomoću empirijskih modela i modela zasnovanih na vještačkoj inteligenciji. U poređenju sa drugim modelima razvijeni vektorski model univerzalne obradivosti je pokazao mnoge prednosti u analizi procesa obrade i analizi obradivosti materijala korišćenjem raznih kombinacija režima obrade i tehnika doziranja SHP-a. Još jedna prednost ovog modela je u njegovoj fleksibilnosti jer nudi mogućnost korišćenja i drugih funkcija obradivosti, odnosno veći broj ulaza u model.

Kandidat je u okviru rada razvio i poseban aplikativni računarski program koji doprinosi automatizaciji procesa definisanja obradivosti i odabira preporučenih režima obrade. Razvijena aplikacija omogućava obradu, proračune i analizu obradivosti na osnovu ulaznih podataka iz širokog spektra režima obrade, materijala, alata, tehnika doziranja SHP-a. Grafičkom analizom moguće je brzo i efektno doći do zaključaka o najboljim uslovima obrade za odabrane materijale čime je dat značajan doprinos u razvoju monitoring sistema za ocjenu stanja obradnog procesa. U aplikaciji su razvijeni podprogramski moduli koji omogućavaju automatski izbor preporučenih režima obrade: na osnovu polaznih uslova obrade i na osnovu ocjene oblika, odnosno klase strugotine što predstavlja doprinos u razvoju specijalizovanih baza podataka.

Ovim magistarskom radom kandidat Branislav Sredanović, dipl. maš. inž, dao je značajan doprinos razvoju naučne oblasti kojom se bavi, razvojem novog modela za definisanje univerzalne obradivosti baziranog na vektorskoj analizi kao i razvojem aplikativnog računarskog programa koji doprinosi automatizaciji procesa definisanja obradivosti i odabiru preporučenih režima obrade. Razvijeni model i aplikacija su verifikovani u konkretnim proizvodnim uslovima.

Na osnovu izloženog Komisija je slobodna da iskaže svoj

ZAKLJUČAK

Magistarski rad kandidata Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš., predstavlja originalni pristup u oblasti modeliranja obradnih procesa kao podloge za razvoj monitoring sistema zasnovanog na ispitivanju obradivosti materijala.

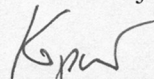
Naučni doprinos ovog magistarskog rada ogleda se u sljedećem:

- formiranju baza podataka ispitivanih čelika koja je primjenjiva u realnim proizvodnim uslovima obrade,
- formiranje baza znanja o obradivosti materijala na osnovu uspostavljenih korelativnih veza između pojedinih parametara procesa,
- razvoju novog modela za definisanje univerzalne obradivosti materijala zasnovanog na vektorskoj analizi i vještačkim neuronskim mrežama,
- razvoju računarskog programa koji omogućava testiranje više razvijenih modela,
- razvoju modela za monitoring procesa obrade zasnovanog na ispitivanju obradivosti materijala,
- optimalnom vođenju obradnog procesa modeliranjem pokazatelja procesa rezanja i
- stvaranju uslova za postizanje visoke produktivnosti procesa obrade izborom povišenih režima rezanja i odgovarajućeg načina dovođenja SHP-a u zonu rezanja.

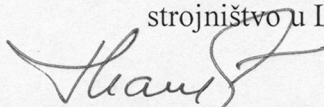
Na osnovu navedenih zaključaka Komisija sa zadovoljstvom predlaže Nastavno - naučnom vijeću Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci da magistarski rad kandidata Branislava Sredanovića, dipl. inž. maš., pod naslovom „RAZVOJ MODELA ZA DEFINISANJE UNIVERZALNE OBRADIVOSTI NA OSNOVU PARAMETRA PROCESA REZANJA“, prihvati i pokrene postupak za javnu odbranu.

U Banjoj Luci, 01. 06. 2012. godine

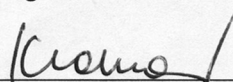
Članovi komisije:



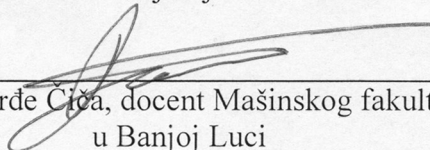
Dr Janez Kopač, redovni profesor Fakulteta za
strojništvo u Ljubljani



Dr Gordana Globočki Lakić, vanredni profesor
Mašinskog fakulteta u Banjoj Luci



Dr Davorin Kramar, docent Fakulteta za strojništvo
u Ljubljani



Dr Đorđe Čiča, docent Mašinskog fakulteta
u Banjoj Luci