

COMET_a 2014

2nd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

2nd - 5th December 2014
Jahorina, B&H, Republic of Srpska



University of East Sarajevo
Faculty of Mechanical Engineering
Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

*Istočno Sarajevo – Jahorina, BiH, RS
2 - 5. Decembar 2014.*

*East Sarajevo – Jahorina, B&H, RS
2nd – 5th December 2014.*

ZBORNIK RADOVA SA 2. MEĐUNARODNE
NAUČNE KONFERENCIJE
"Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu"
COMETA2014, Istočno Sarajevo - Jahorina 2014.

PROCEEDINGS OF THE 2nd INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONFERENCE
"Conference on Mechanical Engineering
Technologies and Applications"
COMETA2014, East Sarajevo - Jahorina 2014.

<i>Organizator:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Organization:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Izdavač:</i>	Univerzitet u Istočnom Sarajevu Mašinski fakultet Istočno Sarajevo
<i>Publisher:</i>	University of East Sarajevo Faculty of Mechanical Engineering East Sarajevo
<i>Za izdavača:</i> <i>For publisher:</i>	Prof. dr Ranko Antunović
<i>Urednici:</i> <i>Editors:</i>	Prof. Dr Biljana Marković, Prof. Dr Ranko Antunović, Dr Milija Kraišnik, assistant professor
<i>Tehnička obrada i dizajn:</i> <i>Technical treatment and desing:</i>	Dr Miroslav Milutinović, assistant professor Mr Saša Prodanović, senior asisstant
<i>Izdanje:</i> <i>Printing:</i>	Prvo; optički disk (CD-ROM) 1 st ; optical disc (CD-ROM)
<i>Register:</i> <i>Register:</i>	ISBN 978-99976-623-2-3 COBISS.RS-ID4642840
<i>Tiraž:</i> <i>Circulation:</i>	100 primjeraka 100 copies
<i>Rukopis predat u štampu:</i> <i>Manuscript submitted for publication:</i>	20. Novembar 2014. November 20 th 2014
<i>Štampa:</i> <i>Printed by:</i>	KOPIKOMERC, Istočno Sarajevo KOPIKOMERC, East Sarajevo

REVIEWERS

Dr Milosav Ognjanović, full professor
Dr Vojislav Miltenović, full professor
Dr Leposava Šiđanin, professor emeritus
Dr Milan Zeljković, full professor
Dr Dragiša Vilotić, full professor
Dr Ljubodrag Tanović, full professor
Dr Dušan Golubović, full professor
Dr Milan Šljivić, full professor
Dr Dejan Ivezić, full professor
Dr Petar Gvero, associate professor
Dr Vojislav Filipović, associate professor
Dr Mihajlo Stojčić, associate professor
Dr Žarko Petrović, associate professor
Dr Murčo Obućina, assistant professor
Dr Mitar Jocanović, assistant professor
Dr Stojan Simić, associate professor
Dr Danijel Mijić, assistant professor
Dr Milija Kraišnik, assistant professor
Dr Miroslav Milutinović, assistant professor
Dr Slaviša Moljević, assistant professor
Dr Bogdan Marić, assistant professor
Dr Vlado Medaković, assistant professor
Dr Biljana Marković, associate professor
Dr Nebojša Radić, associate professor
Dr Ranko Antunović, associate professor

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. dr Biljana Marković, FME UES (B&H) - president

Dr.-Ing. Stefan Wagner, IFU, University of Stuttgart (Germany)
Prof. dr Athanasios Michailidis, Aristotle University of Thessaloniki (Greece)
Prof. Dr.-Ing. Albert Albers, University of Karlsruhe (Germany)
Prof. dr Dušan Golubović, FME UES (B&H)
Prof. dr Aleksandar Veg, FME Belgrade, (Serbia)
Prof. dr Ranko Antunović, FME UES (B&H)
Prof. dr Stevan Stankovski, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr Nebojša Radić, MF FME UES (B&H)
Prof. dr.-Ing. Sava Ianici, University Resita "Eftimie Murgu" (Romania)
Prof. dr Milosav Ognjanović, FME Belgrade, (Serbia)
Prof. dr Vojislav Miltenović, FME Niš (Serbia)
Prof. dr Radivoje Mitrović, FME Belgrade, (Serbia)
Prof. dr Slavko Arsovski, FE Kragujevac (Serbia)
Prof. dr Zoran Ljuboje, FEE UES (B&H)
Prof. dr Dragiša Vilotić, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr Ejub Džaferović, FME Sarajevo, (B&H)

Prof. dr Ljubodrag Tanović, FME Belgrade, (Serbia)
Prof. dr. - Ing. Miroslav Vereš, SUT Bratislava (Slovakia)
Prof. dr Siniša Kuzmanović, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr.-Ing. Ljubomir Dimitrov, TU Sofija (Bulgaria)
Prof. dr Milan Zeljković, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr Novak Nedić, FMCE Kraljevo (Serbia)
Prof. dr Safet Brdarević, FME Zenica (B&H)
Prof. dr Milomir Gašić, FMCE Kraljevo (Serbia)
Prof. dr Sead Pašić, FME Mostar (B&H)
Prof. dr Ilija Ćosić, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr Petar Gvero, FME Banja Luka, (B&H)
Prof. dr Dragan Spasić, FTS Novi Sad, (Serbia)
Prof. dr Vojislav Novaković, NTNU Trondheim (Norway)
Prof. dr Milan Šljivić, FME Banja Luka, (B&H)
Prof. dr Dragoljub Živković, FME Niš (Serbia)
Prof. dr Slavko Krajcar, FER Zagreb (Croatia)
Prof. dr Petar Novak, VSTS Novo Mesto (Slovenia)
Prof. dr Slobodan Stojadinović, TF Zrenjanin (Serbia)
Dr.-Ing. Norbert Burkardt, University of Karlsruhe (Germany)
Prof. dr Miodrag Bulatović, FME Podgorica (MNE)
Prof. dr Ranko Božičković, FTTE UES (B&H)
Prof. dr Dragan Milčić, FME Niš (Serbia)
Prof. dr Darko Petković, FME Zenica (B&H)
Prof. dr Zdravko Krivokapić, FME Podgorica (MNE)
Prof. dr Milenko Obad, FME Mostar (B&H)
Prof. dr Obrad Spaić, PMF UES (B&H)
Prof. dr Vojislav Filipović, FMCE Kraljevo (Serbia)
Prof. dr Tale Geramičioski, UKLO Bitola (Macedonia)
Prof. dr Žarko Petrović, FME UES (B&H)
Prof. dr Stojan Simić, FME UES (B&H)
Doc. dr Slaviša Moljević, FME UES (B&H)
Doc. dr Bogdan Marić, FME UES (B&H)

ORGANIZING COMMITTEE

Prof.dr Ranko Antunović, FME UES – president

Doc. dr Miroslav Milutinović, FME UES

Mr Saša Prodanović, senior assistant, FME UES

Doc.dr Slaviša Moljević, FME UES

Doc.dr Bogdan Marić, FME UES

Doc. dr Vlado Medaković, FME UES

Doc. dr Milija Kraišnik, FME UES

Prof. dr Stojan Simić, FME UES

Mr Aleksandar Košarac, senior assistant, FME UES

Spasoje Trifković, senior assistant, FME UES

Sc.Srđan Vasković, senior assistant, FME UES

Mr Dejan Jeremić, senior assistant, FME UES

Mr Davor Milić, senior assistant, FME UES

GENERAL SPONSOR

Ministry of Science and Technology Republic of Srpska



SPONSORS



The conference has been supported by:



*International Federation for
the Promotion of Mechanism
and Machine Science*



*Association for Design,
Elements and Constructions*

PREFACE

Production in developed countries is based on the modernization and optimization of the production processes with the application of new technologies that are the result of scientific research. The application of new technology enables company's efficient production and competitiveness in the world market.

Faculty of Mechanical Engineering, University of East Sarajevo, organizes the Second international conference "COMETa2014 - Conference on Mechanical Engineering Technologies and Application", which has tasks: to increase economic competitiveness in the region and to give an contribution to creation of unique European Research Area.

Globally, we are witnessing a rapid development and a host of new technological solutions, which occur primarily in the multidisciplinary development (mechatronics) but also in development of completely new technologies, such as nanotechnology, biomaterials, bioengineering, new energy sources, intelligent machines and processes, micro-technique, etc. All of this puts researchers and engineers in the new challenges and creates opportunities for products and technologies that provide a precondition for economic recovery and creation of new jobs.

COMETa2014 conference program structure is consisted of the following thematic areas: Production technologies and advanced materials, Energy and environment, Applied mechanics and mechatronics, Development of products and mechanical systems, Quality and management and Organization and maintenance.

Participation in international conference COMETa2014 was achieved by: 229 authors from 11 countries, with a total of 102 papers, including 3 plenary lectures.

Inside of conference COMETa2014 has been planned organization of three working meeting and one round table discussion based on actual topics of conference. During the conference, it will be presented some of technical solutions produced in companies from our region.

The presence of a large number of participants from Bosnia and Herzegovina and abroad as well as the problems which are processed at the conference, coincide with the themes promoted by the European Union in its development programs.

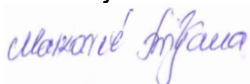
On the basis of previous exposure, a gathering of scientists and researchers at the international conference COMETa should be understood not only as an exchange of knowledge and achievements of the narrower set of scientists and researchers, but also as a constant and serious attempt to focus social consciousness and social life on activities that ensures progress and prosperity of any society, and that is productive work, creating new knowledge and economic development.

On behalf of the Organizing Committee and Scientific Committee of the Conference COMETa2014, we want to express our gratefulness to all authors, reviewers, as well as institutions, companies and individuals who contributed to realization of the Conference.

East Sarajevo, November 19th, 2014.

President of the Scientific Committee

Prof. dr Biljana Marković



President of the Organizing Committee

Prof. dr Ranko Antunović





SIMULACIJA PROCESA UREZIVANJA NAVOJA NA OSNOVU TESTOVA ORTOGONALNOG REZANJA

Mihajlo Popović¹, Ljubodrag Tanović²

Rezime: U radu je prikazana procedura za simulaciju sila i momenta urezivanja navoja, koja se zasniva na transformaciji rezultata koji su dobijeni ortogonalnim rezanjem u koso rezanje. Obradom rezultata dobijenih eksperimentima ortogonalnog rezanja na strugu, statističkom analizom, izvršena je identifikacija skupa parametara rezanja koji su primenjivi za konkretan par materijala alata i obratka na svaki proces obrade rezanjem. Relacije između uglova ureznika u ravnima statičke i kinematičke geometrije, dobijene su analizom reznog dela ureznika sa pravim žlebovima, preko odgovarajućih transformacionih matrica nad koordinatnim sistemima ureznika, koristeći konvencije za njihov opis i predstavljanje koje se koristi i u problemima modeliranja tela, tj. kompjuterskoj grafici. Položaj i dužina glavnih i pomoćnih sečiva reznog dela ureznika preuzeta je sa parametarski definisanog CAD modela. Rezultati simulacije urezivanja navoja M10, prikazani su uporedo sa eksperimentalnim rezultatima urezivanja pri istim uslovima obrade.

Ključne riječi: Urezivanje, transformacija ortogonalno-koso rezanje, simulacija, CAD

TAPPING PROCES SIMULATION BASED ON ORTHOGONAL CUTTING TESTS

Abstract: In this paper the procedure for the cutting forces and torque simulation in tapping is presented, which is based on the transformation of the results obtained by orthogonal to oblique cutting. Analyzing the results of orthogonal cutting experiments on lathe by statistical analysis, identification of a set of cutting parameters was made that is applicable for any machining process with a specific tool-workpiece material combination. Relations between the tap angles in tool-in-hand and the tool-in-use geometry, were obtained by analyzing the active part of straight fluted taps, through appropriate transformation matrix of the coordinate systems, using the conventions for their description and representation which are used in modeling problems of the body, ie. in computer graphics. The position and length of major and minor cutting edges was taken from the parametric defined CAD model. Simulation results for tapping with M10 tap are presented along with experimental results at the same conditions.

Key words: Tapping, orthogonal-oblique transformation, simulation

¹ Mr Mihajlo Popović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, (CA), mpopovic@mas.bg.ac.rs

² Prof. dr Ljubodrag Tanović, Beograd, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, ltanovic@mas.bg.ac.rs

1. UVOD

Odgovor na sve složenije zahteve koje nameće savremena industrija u vidu kompleksnosti proizvoda i smanjenja vremena izrade proizvoda nameće istraživački pravac koji je poslednjih godina označen kao virtuelni proces obrade [1].

Sušтина virtuelnog procesa obrade je da se proces obrade pre svoje fizičke realizacije u realnom svetu, simulira što realističnije u virtuelnom svetu kroz računarsku simulaciju. Računarska simulacija ima kao prvi cilj da za projektovanu tehnologiju obrade dela, pruži uvid u efekte procesa obrade i njegove izlaze. U ovom radu je težište stavljeno na analizu sila rezanja duž putanje alata.

Sve operacije rezanja dele iste principe mehanike rezanja, ali njihova geometrija i kinematika se razlikuju. U radu se polazi od razmatranja relativno jednostavnog procesa ortogonalnog rezanja u kome je sečivo upravno na pravac relativnog kretanja, a deformacije se javljaju u ravni, da bi se rezultati analize dalje koristili kao osnova za razvoj mnogo opštijeg slučaja kosog rezanja u kome je sečivo pod uglom različitim od 90° u odnosu na pravac relativnog kretanja, i to na primeru procesa urezivanja navoja. Ureznici i operacije urezivanja se smatraju za najsloženije i najmanje shvaćene rezne alate i procese obrade koji se koriste u praksi. Ureznik je višesečni alat, čija su sečiva po žlebovima prekidna.

Uspostavljanje analitičkih modela za simulaciju sila i momenta urezivanja navoja koji se bazira na geometriji i akciji sečiva u procesu urezivanja navoja, a na bazi rezultata ortogonalnog rezanja istom kombinacijom materijala alata i obratka razmatrano je u radovima [2, 3, 4 i 5], stim što većina autora razmatra uticaj glavnih sečiva ureznika. U ovom radu uzet je u obzir i uticaj pomoćnih sečiva ureznika.

2. TESTOVI ORTOGONALNOG REZANJA

Kod analitičkog modeliranja procesa obrade rezanjem prvi korak je definisanje procesa kao funkcije materijala obratka, geometrije i materijala alata, debljine strugotine i brzine obrade. Na ovaj način se dolazi do identifikacije parametara rezanja koji se koriste za simulaciju sila rezanja, momenata, snage i granica stabilnosti za određenu kombinaciju geometrije alata i materijala alata i obratka. Parametri rezanja se mogu odrediti koristeći mehaniku ortogonalnog rezanja ili mehanističke modele [5, 6, 7].

Praćenje sila/otpورا u obradi rezanjem istraživači intenzivno koriste radi provere analitičkih modela procesa, otkrivanja otkaza alata i sl. U identifikaciji pokazatelja otpora rezanja (glavnog otpora i otpora prodiranja) izvršeno je ortogonalno rezanje cevastog pripremk od legiranog čelika za cementaciju Č4320 prečnika 85 mm i debljine zida 2,1mm uzdužnim kretanjem. Korišćeni su alati sa četiri različita grudna ugla (5° - 20°). Brzina obrade, v , varirana je u opsegu od 5 do 20 m/min čime je pokrivena većina zahvata obrade rezanjem korišćene grupe materijala i alatima od brzoreznog čelika prema tablicama preporučeni vrednosti [8]. Korak je variran od 0,01 do 0,15 mm/o, što pri ortogonalnom rezanju predstavlja i debljinu rezanog sloja h . Širina obrade jednaka je debljini zida pripremk: $b=2,1$ mm.

Za merenje otpora rezanja korišćen je dvokomponentni dinamometar (konstruisan i izrađen u Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta), merni pojačivači KWS 3082-A firme HBM, akvizicioni sistem kompanije NI - *National Instruments* koji se sastoji iz NI CompactDAQ USB cDAQ-9174 sa modulom NI 9215 za analogni ulaz napona $\pm 10V$, 16-o bitni sa 4 kanala i 100 kS/s/ch i laptop računar sa *Windows 7* operativnim sistemom i instaliranim softverom za akviziciju podataka *LabVIEW*. Na slici 1 prikazani su obradni i merno-akvizicioni sistem za merenje otpora

rezanja pri ortogonalnom rezanju na obradnom sistemu KNU revolver struga.



Slika 1. Prikaz obradnog i merno-akvizicionog sistema KNU struga

Prilikom izvođenja eksperimenata, uzimani su uzorci strugotine (slika 2), koja je numerisana i odlagana da bi se odredila njena debljina i na taj način odredio koeficijent sabijanja strugotine r_s .



Slika 2. Uzorci strugotine

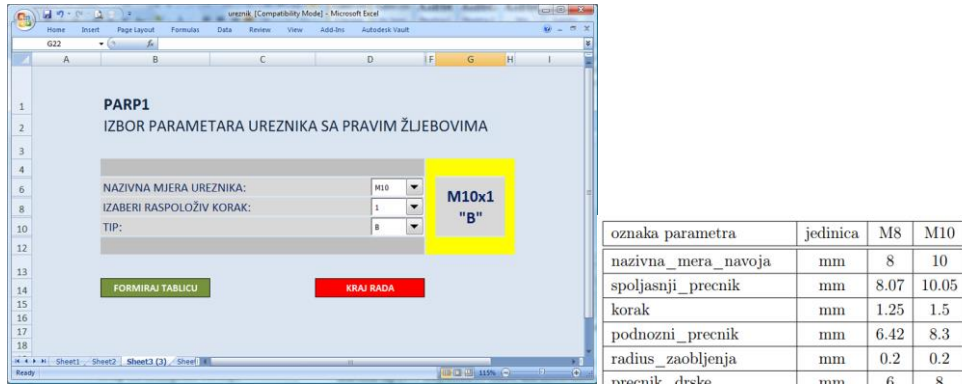
Na osnovu izmerenih sila i debljina strugotine, dolazi se do parametara potrebnih za analitički opis sila [7]:

- Osrednjena vrednost napona smicanja, $\tau_s = 558 \text{ N/mm}^2$.
- Ugao trenja $\rho = 35.18 + 0.627\gamma$, gde je γ grudni ugao.
- Koeficijent sabijanja strugotine $r_s = C_0 h^{C_1}$, gde je $C_0 = 0.942 - 0.012\gamma$, a $C_1 = 0.391 - 0.01\gamma$.
- Srednje vrednosti koeficijenata ivičnih sila $K_{1e} = 28.8 \text{ N/mm}$ i $K_{2e} = 21.5 \text{ N/mm}$.

3. MODELIRANJE UREZNIKA

Familija ureznika sa pravim žlebovima je modelirana u programskom okruženju CAD aplikacije *Autodesk Inventor 11* koristeći tehniku parametarskog modeliranja. Na ovaj način, ulaz u program je skup parametara koji opisuju ureznik konkretnih dimenzija, dok je model definisan jednom, koristeći usvojene parametre, a na osnovu redosleda iz operacionih lista izrade ureznika. Parametri se mogu zadavati u

standardizovanom .xml formatu (eXtensible Markup Language, jezik za označavanje tekstualnih dokumenata) ili u formatu programa za tabelarne proračune (.xls). Za izbor parametara za konkretan alat, formirana je baza podataka familije ureznika sa pravim žlebovima iz koje se kroz jednostavan dijalog u programu za izbor (slika 3), na osnovu zadatih ulaznih veličina: nazivne mere ureznika, njegovog koraka i tipa ulaznog dela automatski dobija skup konkretnih vrednosti parametara koje prepoznaje formirani model ureznika.



Slika 3. Ulazni podaci programa za formiranje skupa parametara

Model ureznika prepoznaje preko 20 parametara od kojih su najbitniji oni za formiranje reznog dela ureznika: spoljašnji prečnik, korak, dužina reznog dela, ugao konusa, početni prečnik, grudni ugao i broj žlebova. Na slici 4 je prikazan model ureznika M10 sa tri prava žleba sa uvećanim reznim delom na jednom od žlebova. Modeli ureznika su prvenstveno korišćeni za identifikaciju položaja i dužine pojedinačnih glavnih i pomoćnih sečiva ureznika, potrebnih za simulaciju procesa urezivanja navoja.



Slika 4. Parametarski definisan mašinski ureznik sa pravim žlebovima

4. SIMULACIJA PROCESA UREZIVANJA

Simulacija procesa urezivanja navoja na osnovu analize ortogonalnog rezanja i eksperimentalnih rezultata za kombinaciju materijala obratka i alata izvedena je pod sledećim pretpostavkama: napon smicanja i koeficijent trenja su isti kod kosog i ortogonalnog rezanja; ugao smicanja i grudni ugao kod ortogonalnog rezanja poistovećuju se sa uglom smicanja i grudnim uglom u ravni P_n (upravnoj na sečivo); ugao odvođenja strugotine jednak je uglu između sečiva i pravca brzine rezanja. Za identifikaciju ostalih geometrijskih veličina izvršena je analiza reznog dela ureznika sa pravim žlebovima u proizvoljnoj tački sečiva. Uspostavljene su relacije između uglova ureznika u ravnima statičke i kinematičke geometrije [9], preko odgovarajućih transformacionih matrica nad koordinatnim sistemima ureznika, koristeći konvencije za njihov opis i predstavljanje koje se koristi i u problemima modeliranja tela, tj. kompjuterskoj grafici.

Da bi se izvršila simulacija, usvojen je metod za modeliranje procesa urezivanja navoja u kojem se vrši diskretizacija, pa se svako sečivo ureznika deli na veći broj elementarnih klasičnih pojedinačnih kosih sečiva. Sile na svakom elementu se nalaze iz Ernst-Merčantove analize izmenjene da uključuju i ivične sile [1, 5]. Svaka od ovih elementarnih sila se pretpostavlja da je koncentrisana u sredini elementarnog sečiva. Na ovaj način, definisane su sledeće elementarne sile: glavna sila, F_t , radijalna F_r i aksijalna sila F_a , kao:

$$\begin{aligned} dF_t &= K_{tc}bh + K_{te}b, \\ dF_r &= K_{rc}bh + K_{re}b, \\ dF_a &= K_{ac}bh + K_{ae}b. \end{aligned} \quad (1)$$

Usvojeni model sile rezanja u jednačini 1, čine komponenta koja se javlja usled smicanja, proporcionalna preseku strugotine koja se prikazuje kao proizvod širine rezanja, b , i debljine rezanog sloja, h u zoni smicanja, i komponenta ivične sile, proporcionalna širini rezanja.

Specifični otpori rezanja, (K_{ic}) se izražavaju u funkciji napona smicanja, grudnog ugla, materijala obratka i osrednjenog koeficijenta trenja između strugotine i grudne površine alata. Koeficijenti ivičnih sila (K_{ie}) su identifikovani eksperimentima ortogonalnog rezanja u tački 2, ekstrapolacijom izmerenih sila za nultu dubinu rezanja.

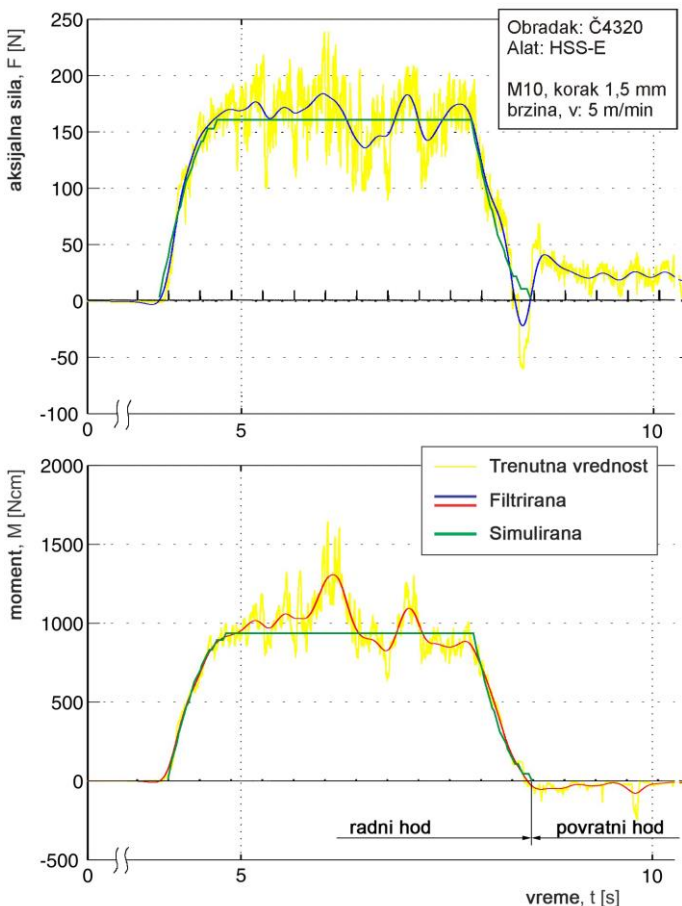
Ukupna aksijalna sila i obrtni moment sada se dobijaju na sledeći način:

$$F_a = \sum_i dF_{a_i}, \quad M = \sum_i dF_{t_i} \cdot r_i. \quad (2)$$

Simulacija sila i momenta urezivanja navoja prema usvojenom analitičkom modelu izvršena je na osnovu ulaznih podataka koje su vezani za obradak (prečnik i dubina rupe/otvora, materijal) i alat (prečnik ureznika, broj žlebova, ugao konusa reznog dela-napadni ugao, korak navoja, grudni ugao i minimalni prečnik reznog dela). Na osnovu kombinacije materijala obratka i alata i uslova obrade određeni su parametri obrade. U tački 2 ovi parametri su dati za kombinaciju materijala alata i obratka Č9780/Č4320. Na osnovu podataka vezanih za alat sledi formiranje skupa tačaka koji čine sečiva ureznika na osnovu formiranog parametarskog CAD modela koji je prikazan u tački 3. Proračun elementarnih sila vrši se na svakom elementarnom sečivu koje je u zahvatu, a po žlebovima ureznika. Na osnovu početnih i krajnjih koordinata elementarnog sečiva proračunava se prečnik i ugaoni položaj reprezentativne tačke sečiva da bi se došlo do aksijalne sile, kao i glavne sile koja

pravi moment. Kao rezultat simulacije na izlazu dobijamo vrednosti sile F_a i momenta M u funkciji vremena obrade.

Na slici 5 prikazane su simulirane vrednosti aksijalne sile i momenta u vremenu, uporedo sa eksperimentalnim rezultatima (trenutna i filtrirana vrednost), za urezivanje navoja kroz otvor, ureznikom sa tri prava žleba M10 standardnog koraka 1.5. Materijal ureznika je brzorezni čelik Č9780 (HSS-E), materijal obratka Č4320. Na slici je prikazan deo dijagrama koji se odnosi na radni hod.



Slika 5. Uporedni prikaz eksperimentalno dobijenih i simuliranih vrednosti aksijalne sile i momenta

Simulacija se takođe izvodi samo u radnom hodu ureznika, i to kada su sečiva ureznika u zahvatu sa obratkom. Aksijalna sila i moment rastu dok konusni (reznii) deo ureznika ulazi u otvor. Kada su sva sečiva reznog dela ušla u zahvat, izlazne vrednosti ostaju konstantne, jer dejstvo sečiva na kalibrišućem delu ureznika u ovom trenutku nisu uzeta u obzir. Kada ureznik počne da izlazi iz otvora, tako sila i moment počinju da opadaju do trenutka kad konusni, reznii deo ureznika potpuno ne izađe iz otvora i kada se vrši samo pročišćavanje navoja kalibrišućim delom ureznika. Na dijagramu se primećuju zone sa konstantnim vrednostima izlaznih veličina i dok je reznii deo u

zahvatu, što je u korelaciji sa položajem ureznika, tj. postoje poprečne zone, u kojima zbog toga što su sečiva isprekidana duž žleba, nema dejstva nijednog sečiva.

Eksperimentalni zapis sa slike 5, dobijen je na obradnom sistemu horizontalnog obradnog centra LOLA HMC500, koristeći mernu opremu za merenje sile i momenta: dvokomponentni piezoelektrični dinamometar Kistler 9271, pojačivači Kistler 5007 i ranije pomenuta akvizicija NI CompactDAQ 9174 sa modulom NI 9215 u okruženju aplikacije *LabVIEW*.

Odstupanja simuliranih vrednosti od eksperimentalnih u situaciji kada su sečiva ureznika u zahvatu su veća za aksijalnu silu nego za moment i nalaze se u okviru zadovoljavajućih 10%.

5. ZAKLJUČCI

Sile rezanja i njeni momenti koji deluju na rezni alat imaju veliki značaj u teoriji obrade metala. Parametri koji su identifikovani kroz tačku 2, za konkretnu kombinaciju materijala alata i obratka, i koji su ovde iskorišćeni za simulaciju procesa urezivanja navoja, mogu se koristiti u analizi bilo kog drugog procesa obrade. U tom slučaju, potrebno je samo izvršiti novu analizu geometrije reznog dela korišćenog alata.

Istraživanja procesa urezivanja su izuzetno korisna kako bi se izbegao lom alata i loš kvalitet navoja koji mogu imati ekstremno skupe posledice, a posebno u odnosu na vrednost koja se proizvodu dodaje operacijom urezivanja. Bolje razumevanje procesa urezivanja i sistema sila u urezivanju je korisno i za proizvođače alata, kao i za definisanje režima obrade sa ciljem povećanja produktivnosti.

NOMENKLATURA

b širina rezanja, mm

C_0, C_1 koeficijenti

F_b, F_r, F_a glavna, radijalna i aksijalna sila, N

h debljina rezanog sloja, mm

K_{tc}, K_{rc}, K_{ac} specifični otpori rezanja, N/mm^2

K_{te}, K_{re}, K_{ae} koeficijent ivične sile, N/mm

M moment, Nm

P_n ravan upravna na sečivo

r_i rastojanje elementarnog sečiva od ose, mm

r_s koeficijent sabijanja strugotine

v brzina obrade, m/s

Grčki alfabet

γ grudni ugao, °

ρ ugao trenja, °

τ_s napon smicanja, N/mm^2

Subskripti

c sile smicanja

e ivične sile

i brojač

LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S. (2005). Virtual Machine Tool, *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 2, pp. 115-138
- [2] Armarego, E.J.A. (2000). The Unified-Generalized Mechanics Of Cutting Approach – A Step Towards A House Of Predictive Performance Models For Machining Operations, *Machining Science and Technology*, 4:3, 319-362
- [3] Puzovic, R., Kokotovic, B. (2006). „Prediction of thrust force and torque in tapping operations using computer simulation”, *FME Transactions* , Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, v34 No 1, 1-5
- [4] Chen, N.M., Smith, A.J.R. (2010). "Modelling of Machine Tapping with Straight Flute Taps", Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, pp. 189-192
- [5] Altintas, Y. (2012). *Manufacturing Automation*, Cambridge University Press, UK
- [6] Cao, T., Sutherland J.W. (2002). Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, pp. 1527-1538
- [7] Popović, M., Tanović, Lj., Mladenović, G. (2014). “Orthogonal turning experiments for predicting the cutting forces”, XII International conference Maintenance and production engineering “KODIP – 2014”, Proceedings, pp.247-253
- [8] Kalajdžić, M., i ostali, (2012). *Tehnologija obrade rezanjem - Priručnik*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd
- [9] ISO 3002/1, (1982). “Geometry of the Active part of Cutting Tools. Part I: General Terms, Reference Systems, Tool and Working Angles, Chip Breakers.”