

ORIGINALNI NAUČNI RAD

P. Kovač, D. Miličić\*

ZAVISNOST TERMONAPONA PRI ČEONOM GLODANJU OD  
REZIMA REZANJA

R e z i m e

*U ovom radu je prikazano određivanje termonapona pri čeonom glodanju, merna instrumentacija i korišćenje elektronskog računara pri obradi podataka. Rezultati ispitivanja promene termonapona kada su varirani brzina rezanja, pomak i dubina rezanja su takodje prikazani.*

PREDICTING EQUATION OF THERMO-ELECTRIC CURRENTS  
AND CUTTING CONDITIONS GENERATED IN FACE MILLING

S u m m a r y

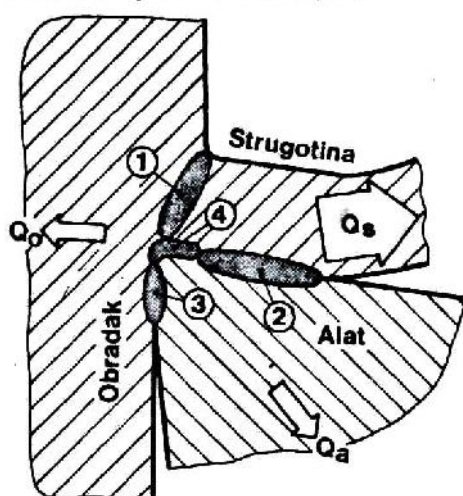
*This paper deals with the determination of thermo-electric currents, in, face milling, describes the measure equipment and computer use. Some results including the variation of thermo-electric currents with speed, feed and depth of cut are presented.*

1. U Y O D

Skoro celokupna dovedena mehanička energija transformiše se u zoni rezanja, putem elastične i plastične deformacije, trenja na kontaktnim površinama i unutrašnjeg trenja u materijalu, u toplotnu energiju. Pretvaranje mehaničke energije u toplotnu odvija se u četiri karakteristične zone. U zoni smicanja (1) i kočionom sloju (4) vrši se deformacija materijala obradka. Toplota trenja nastaje u zonama kontakta grudne površine alata i strugotine (2) i ledjne površine alata i obradka (3) kao i u kočionom sloju (4) zbog unutrašnjeg trenja slojeva ma-

\* Kovač mr Paveļ, dipl. ing., asistent; Miličić dr Dragoje, dipl. ing., docent Fakulteta tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

terijala i strugotine. Ove zone deformacije i trenja predstavljaju toplotne izvore pri rezanju.



Sl. 1.

Od navedenih toplotnih izvora toplota se odvodi preko strugotine, alata i obradka sl.1. Kao rezultat toplotnog bilansa obrazuje se u obradku, alatu i strugotini temperatursko polje, koje se menja dok se ne uspostavi ravnoteža između razvijene i odvedene količine toplote.

Proces čeonog glodanja se periodično ponavlja. Zubi ulaze u zahvat, zagrevaju se dok su u zahvatu, a kad izadju iz zahvata hlade se i tako naizmenično. Ovo naizmenično zagrevanje i hladjenje je vrlo nepovoljno za pločicu jer predstavlja svojvrstan proces termičke obrade, koja neprestano dovodi do pojave toplotnih napona u reznoj pločici i do njenog slabljenja.

Do danas je razvijen veliki broj različitih metoda za merenje temperatura pri obradi rezanjem. Sve ove metode u osnovi koriste različite fizikalne ili hemijske efekte vezane za toplotu odnosno temperaturu.

U radu je za merenje temperature korišćen tzv. termoelektrični efekt, tj. da pri zagrevanju spoja dva različita materijala (alat i obradak) nastaje električni napon, tzv. termonapon. Tako izmerena vrednost termonapona predstavlja srednju vrednost termonapona elementarnih površina na kontaktnim površinama alata i obradka, što odgovara srednjoj vrednosti temperature pri rezanju.

Raspored termonapona u granicama dodira strugotine i grudne površine alata, usled neravnomerne raspodele temperature dozvoljava posmatranje termonapona U pri rezanju, kao zbir beskonač-

nog broja paralelno vezanih termoparova:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1)$$

gde su:  $E_i$  - termonaponi na elementarnoj površini  $f_i$ .

Korišćenje termoelektričnog efekta za merenje temperature pri rezanju izvodi se u tri varijante:

- prirodni
- poluveštački i
- veštački

Obrazovanje prirodnog termopara između raznorodnih materijala obradka i alata, omogućuje dobar kontakt u zoni rezanja, to je tzv. "vrući" spoj. Razlika između temperature ovog "vrućeg" spoja i "hladnog" spoja omogućuje proticanje elektromotorne sile, koja se meri milivoltmetrom. Da bi se izbeglo rasipanje elektromotorne sile mora se izolovati alat i obradak.

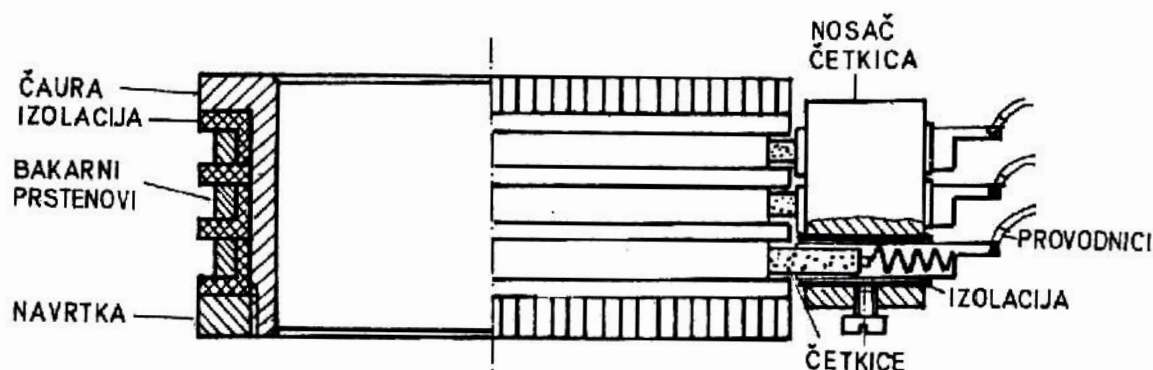
Kada je poznata srednja vrednost termonapona može se odrediti srednja temperatura rezanja ali se mora imati funkcionalna zavisnost između srednje temperature i termonapona  $\theta=f(U)$ . Ova zavisnost se određuje baždarenjem, pri tome se javljaju ozbiljne poteškoće. Neophodno je ostvariti iste uslove na mestu kontakta kao pri stvarnom rezanju, što nije sasvim moguće, pa prevodjenje termonapona u srednju temperaturu neminovno uzrokuje određenu grešku. Iz tih razloga u radu su date samo vrednosti termonapona.

U Institutu su pri obradi rezanjem izvedeni određeni eksperimenti baždarenja termonapona pri obradi na strugu /3/ pomoću gorionika za zavarivanje i zaključeno je da bi ostvarivanje temperature trebalo izvršiti sporije zagrevanje u peći.

## 2. MERENJE TERMONAPONA PRI ČEONOM GLODANJU

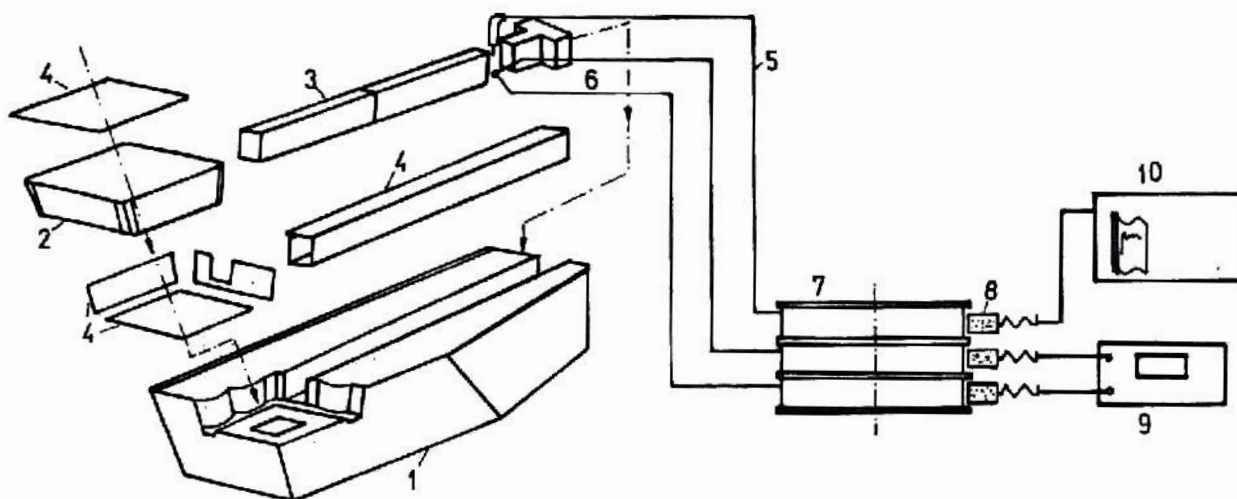
Pri čeonom glodanju javljaju se poteškoće pri odvođenju signala sa alata, jer ovde alat vrši rotaciono kretanje. Kod struganja obradak rotira, pa je tu potrebno rešiti kontakt što se obično radi pomoću živinog kupatila. Pri glodanju signal sa

alata je dovodjen na klizne prstenove, koji su izolovani od vretena mašine. Prstenovi su od bakra a izolacija je izvedena od pleksiglasa i pertinaksa. Konstruktivno rešenje kliznih prstenova je na slici 2. Bila su potrebna tri prstena. Jedan prsten je služio za signal prirodnog termopara a druga dva za signal sa veštačkog termopara CrNi-Ni, kojim je merena temperatura u "hladnom" spoju prirodnog termopara na alatu.



S1. 2.

Da bi se kod termoelementa na alatu ostvario "hladan" spoj izvan zone zagrevanja, sa rezne pločice od TM je dalje izveden pomoću pločica od TM iste vrste. Rezna pločica od nosača pločice je izolovana pomoću liskuna, koji je dobar izolator a izdržava i visoke temperature, sl.3.



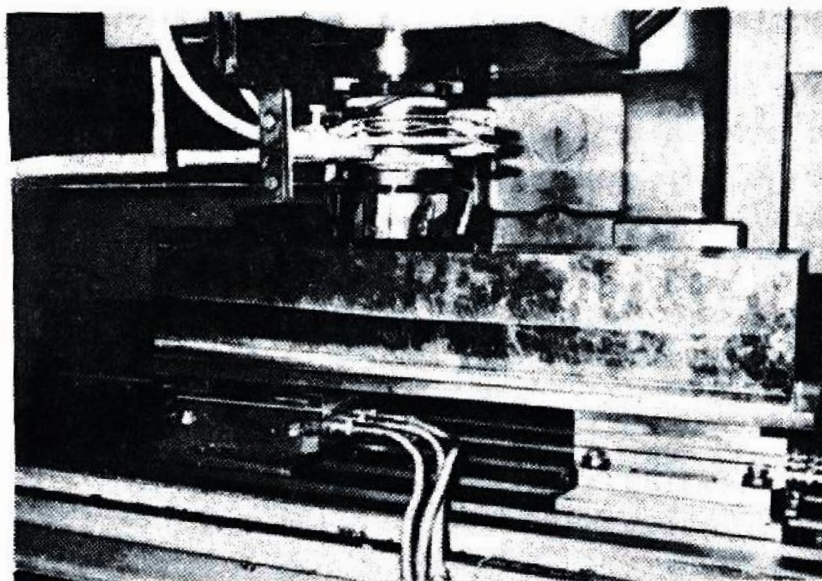
1-Nosač pločice, 2-pločica od TM, 3-štapići od TM, 4-izolacija, 5-bakarni provodnik, 6-veštački termopar, 7-bakarni prstenovi, 8-grafitne četkice, 9-termometar, 10-svetlosni pisac

S1. 3.

Prenos signala sa kliznih kolutova ostvaren je grafitnim četkicama, koje su vezane sa oprugama što ostvaruje stabilan kontakt i kompenzuje eventualnu ekscentričnost kliznih kolutova. Da bi greška prenosa signala bila što manja, prenos je sa svakog prstena izvršen pomoću dve četkice. Dalje se signal prenosi preko bakarnih žica, sl.2.

Signal veštačkog termopara prenosi se na merni instrument, odnosno Digital Multithermometar. Vrednost se očitava digitalno u  $^{\circ}\text{C}$ . Merenje temperature u "hladnom" spoju na alatu vršeno je u cilju kompenzacija eventualne razlike u temperaturi oba hladna spoja. Pri ovom eksperimentu temperatura oba "hladna" spoja je bila jednaka i stalno je kontrolisana pomoću opisanog veštačkog termopara. Eksperimenti merenja termonapona kratko traju tako da temperatura u oblasti "hladnog" spoja ne stigne da se poveća. Osim toga, ako je temperatura "hladnog" spoja na alatu počela da se povećava, eksperiment je prekidan i nastavljen kad su se temperature izjednačile.

Obradak je takodje bio izolovan od mašine i pomoću bakarnog provodnika je ostvarena veza sa mernim instrumentom, odnosno svetlosnim pisačem. Na sl.4. je prikazan obradak i klizni kontakti na mašini.



Sl.4.

Baždarenje zapisa sa svetlosnog pisača vršeno je pomoću instrumenta TERMOKONTROL, koji daje tačnu vrednost napona,

koja se beleži na pisaču.

### 3. DEFINISANJE MATEMATIČKOG MODELA

Razni istraživači [1,2,7] zaključili su da pored materijala obradka i alata, na termonapon utiču i elementi preseka režućeg sloja geometrije alata i drugo.

Pri planiranju i izvodjenju eksperimenta korišćena je metodologija višefaktornog plana eksperimenta, a kao ulazni parametri su izabrani elementi režima rezanja:

- brzina rezanja  $v$  kao faktor  $F_1$
- pomak po zubu  $s_1$  kao faktor  $F_2$
- dubina rezanja  $\delta$  kao faktor  $F_3$

Izlazni parametar je bio termonapon pri rezanju.

Nekontrolisane veličine (poremećaji) i konstante su bili:

- geometrija alata
- habanje alata
- dinamički sistem: mašina-alat-obradak
- sredstvo za podmazivanje i hladjenje.

#### 3.1. Odredjivanje konstanti u matematičkom modelu

Izabrani faktori eksperimenta su varirani u pet nivoa vrednosti. Na taj način površina odziva je u ispitivanom intervalu u svakoj ravni odredjena sa po pet eksperimentalnih tačaka.

Ovaj način planiranja eksperimenta omogućuje da se ispita širi interval, matematički model je pouzdaniji a neznatno se produžava izvodjenje i troškovi eksperimenta.

Pretpostavljena je funkcionalna zavisnost izmedju odabranih nezavisno promenljivih  $F_i$  i zavisno promenljive  $R$  u obliku:

$$R = C \cdot F_1^{p_1} \cdot F_2^{p_2} \cdot F_3^{p_3} \quad (2)$$

ili u obliku modela drugog reda:

$$R = C \cdot F_1^{P_1} \cdot F_2^{P_2} \cdot F_3^{P_3} \cdot \exp \left[ \sum_{i=1}^k p_{ij} (\ln F_i)^2 + \sum_{i < j}^k \ln F_i \cdot \ln F_j \right] \quad (3)$$

Regresiona analiza, kodiranje i izbor parametara eksperimenta, dekodiranje modela, disperziona analiza i ocena tačnosti matematičkog modela izvršena je kao u radu /4/.

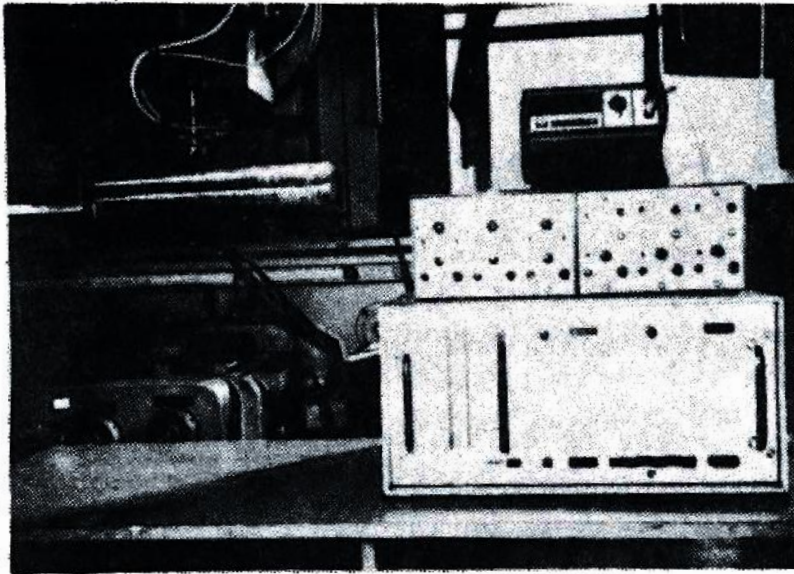
### 3.2. Uslovi pri eksperimentalnom ispitivanju

Merenja su vršena na čeliku za poboljšanje Č.1730, koji je bio pripremljen u obliku paralelopipeda 100x100x600 mm. Zatezna čvrstoća materijala je  $90 \cdot 10^7$  Pa.

Obrada rezanjem je vršena na vertikalnoj glodalici "PRYO-MAJSKA" PS-GVK-3, snage pogonskog elektromotora 14,5 kW. Pri izvodjenju eksperimenta korišćena je glava za glodanje proizvodnje "Jugolat" JAL G-750 Ø125 mm sa umetnutim zubima od pločica sa tvrdim metalom kvaliteta P25 oznake SPAN 12 03 ER proizvodnje "Pryi Partizan". Rezanje je vršeno samo sa jednim zubom. Glava je bila pripremljena za merenje termonapona kako je to prikazano na sl.3.

Signali termonapona vodjeni su direktno na jedan od kanala svetlosnog oscilografa "August Fisher" KG tip AF-8UV-6. Ovo direktno priključenje bez pojačanja, bilo je moguće primenom vrlo osetljivog galvanometra sa elektromagnetnim prigušenjem tip GA 1,1/8H. Da bi se veličine registrovanih otklona na hartiji prevele u napon vršeno je baždarenje. Ono je ostvareno pomoću kompenzacionog instrumenta "Therocontrol" tip YHK, kojim se može vrlo precizno ostvarivati jednosmerni napon od 0 do 100 mV. Baždarenje je izvršeno tako što je na ulazni kanal za termonapon, priključen kompenzacioni instrument, pomoću kojeg se varira stepenasto napon u potrebnim granicama.

Na slici 5. je prikazana merna aparatura i rešenje kliznog kontakta.



Sl. 5.

#### 4. MERENJE I OBRADA IZMERENIH VREDNOSTI

Prema planu eksperimenta i na opisanoj aparaturi izvršeno je merenje termonapona. Rezanje je vršeno nekoliko sekundi dok se zapis na pisaču nije ustalio.

Ispitiivanja koja su izvršena u tom ciklusu su pokazala da se vrednosti termonapona ne menjaju i ako se duže reže. Izvršeno je rezanje sve do zatupljenja alata /5/ za to vreme se pokazalo da se termonapon ne menja sa vremenom rezanja tj. ne zavisi od habanja. Ovo bi se moglo objasniti time da kako se povećava habanje povećava se i temperatura, ali se povećava i površina kontakta alata sa obratkom pa prema jednačini (1) iznos termonapona, a time i srednje temperature rezanja se ne menja.

Obrada eksperimentalnih podataka je izvršena na elektronskom računaru prema postupku opisanom u radu /4/. Rezultati obrade podataka su prikazani u tabeli I. Ovde su prikazane i izmerene vrednosti, računске vrednosti za oba modela prema jednačinama (2) i (3), a takodje i vrednosti pojedinih faktora. Faktori su varirani u pet nivoa vrednosti, pri čemu je koeficijent  $\alpha=2$ .



Jednačine dobijene obradom podataka su sledeće:

- model prema jednačini (2)

$$U = 5,0325 \cdot v^{0,222} \cdot s_1^{0,127} \cdot \delta^{0,079} \quad (\text{mV}) \quad (4)$$

- model drugog reda jednačina (3)

$$U = 1,0486 \cdot v^{0,690} \cdot s_1^{0,690} \cdot \delta^{0,110} \exp[-0,042(\ln v)^2 - 0,132(\ln s_1)^2 + 0,030(\ln \delta)^2 + 0,016 \cdot \ln v \cdot \ln s_1 - 0,013 \ln v \cdot \ln \delta - 0,006 \ln s_1 \cdot \ln \delta] \quad (\text{mV})$$

#### 4.1. Analiza rezultata obrade izmerenih vrednosti

Analiza rezultata merenja pokazuje da je metoda merenja termonapona kada je u pitanju alat od tvrdog metala uspešna i pri čeonom glodanju, da nema parazitnih termonapona, koji se javljaju ako se u kolu nadje još neki prirodni termopar.

Trebalo bi i narednim istraživanjima izvršiti baždarenje termonapona da bi se dobile vrednosti srednje temperature rezanja.

Analiza adekvatnosti, signifikantnosti i tačnosti matematičkog modela pokazuje:

- da su predloženi modeli adekvatni,
- da matematički model (1) zadovoljava u pogledu adekvatnosti, jednostavniji je za primenu, a model drugog reda složeniji, ali bolji u pogledu adekvatnosti
- izabrani parametri režima značajno utiču na termonapon pri rezanju i
- da tačnost matematičkih modela za zadata verovatnoću zadovoljava

#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- predloženo rešenje merenja srednjeg termonapona pri čeonom glodanju u potpunosti zadovoljava

(3)

(2)

TABELA I

NO	F1	F2	F3	RM	RR	RR
1	0.139E+03	0.178E+00	0.100E+01	0.12100E+02	0.120827E+02	0.120937E+02
2	0.220E+03	0.178E+00	0.100E+01	0.13400E+02	0.133886E+02	0.133920E+02
3	0.139E+03	0.280E+00	0.100E+01	0.12750E+02	0.127911E+02	0.128095E+02
4	0.220E+03	0.280E+00	0.100E+01	0.14230E+02	0.142211E+02	0.141846E+02
5	0.139E+03	0.178E+00	0.225E+01	0.12690E+02	0.129284E+02	0.128752E+02
6	0.220E+03	0.178E+00	0.225E+01	0.14050E+02	0.142590E+02	0.142794E+02
7	0.139E+03	0.280E+00	0.225E+01	0.13400E+02	0.136549E+02	0.136583E+02
8	0.220E+03	0.280E+00	0.225E+01	0.14820E+02	0.151107E+02	0.151245E+02
9	0.177E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.13570E+02	0.136154E+02	0.135589E+02
10	0.177E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.13640E+02	0.136154E+02	0.135589E+02
11	0.177E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.13660E+02	0.136154E+02	0.135589E+02
12	0.177E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.13700E+02	0.136154E+02	0.135589E+02
13	0.110E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.12220E+02	0.121093E+02	0.121997E+02
14	0.279E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.14930E+02	0.149243E+02	0.150008E+02
15	0.177E+03	0.142E+00	0.150E+01	0.12580E+02	0.125127E+02	0.123006E+02
16	0.177E+03	0.351E+00	0.150E+01	0.14110E+02	0.140381E+02	0.143625E+02
17	0.177E+03	0.223E+00	0.670E+00	0.12930E+02	0.130235E+02	0.127213E+02
18	0.177E+03	0.223E+00	0.337E+01	0.14990E+02	0.147982E+02	0.144553E+02
19	0.110E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.12220E+02	0.121393E+02	0.121977E+02
20	0.279E+03	0.223E+00	0.150E+01	0.14990E+02	0.149243E+02	0.150008E+02
21	0.177E+03	0.142E+00	0.150E+01	0.12460E+02	0.125127E+02	0.128095E+02
22	0.177E+03	0.351E+00	0.150E+01	0.14050E+02	0.140381E+02	0.143625E+02
23	0.177E+03	0.223E+00	0.670E+00	0.12930E+02	0.130235E+02	0.127213E+02
24	0.177E+03	0.223E+00	0.337E+01	0.14940E+02	0.147982E+02	0.144553E+02

k

- predloženi matematički modeli za termonapon zadovoljavaju u pogledu adekvatnosti i tačnosti;
- svi parametri i interakcije su uticajne za nivo značajnosti  $\alpha=0,05$  i
- predložena metodologija za obradu i ocenu izmerenih vrednosti pokazala se vrlo pogodnom sa stanovišta ekonomičnosti i pouzdanosti rezultata.

## 6. LITERATURA

- [ 1 ] Alpek, F.: Temperature Measurement in industry and Science, 1st Symposium of IMEKO, Prag 1981.
- [ 2 ] Lowack, H.: Temperaturen An Hartmetalldehwerkzeugen Bei der Stahlzerspannung, Doktorska disertacija, Aachen, 1967.
- [ 3 ] Gostimirović, M.: Odredjivanje izraza za srednju temperaturu rezanja pri obradi na strugu alatima od TM, Diplomski rad, FTN, Novi Sad, 1981.
- [ 4 ] Kovač, P.: Odredjivanje površine odziva za otpore rezanja pri čeonom glodanju, Zbornik radova IPM, br.1., Novi Sad, 1984.
- [ 5 ] Kovač, P., Milikić, D.: Zavisnost promene termonapona od habanja alata, rad u pripremi
- [ 6 ] Milikić, D.: Nova metoda za merenje temperature pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primene, Doktorska disertacija, Novi Sad, 1980.
- [ 7 ] Wu, S.M., Meyer, R.N.: Cutting-Tool Temperature - Predicting Equation by Response-Surface Methodology, Trans.of the ASME, Jof. Ing. for Ind. May 1964.
- [ 8 ] Sekulić S.: Odredjivanje termonapona u zavisnosti od preseka vitkosti i faktora sabijanja strugotine, Zbornik radova MMA '79, Novi Sad, 1979.
- [ 9 ] Sekulić, S.: Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja. Doktorska disertacija, Novi Sad, 1977.