



### ENERGETSKI EFEKTI PRIMENE ALATA SA PREVLAKAMA

Fatima ŽIVIĆ, Mašinski fakultet Kragujevac, Srbija i Crna Gora

#### **Rezime:**

*U radu je posmatran energetska efekat primene tribološki naprednih alatnih materijala s aspekta količine energije (struje) koja je potrebna elektromotoru za pogon alatne mašine. Teorijski posmatrano, postoje razlike u jačini struje, merene na elektromotoru, u zavisnosti od materijala alata, režima obrade (dubine, koraka i brzine rezanja) i ostalih faktora.*

*Tribomehanički sistem alatne mašine je veoma kompleksne prirode i uključuje u razmatranje veliki broj različitih, međusobno zavisnih parametara. Eksperimentalnim ispitivanjem na strugu, kao reprezentu alatnih mašina, došlo se do zaključka, koji potvrđuje i analiza teorijskog modela, da kod većine, u metaloprerađivačkoj industriji prisutnih alatnih mašina, ne postoji značajniji energetska efekat primene prevlaka na alatima. U radu je dat veoma uprošćen teorijski model koji uzima u obzir samo nekoliko, s energetska aspekta, najznačajnijih promenljivih. Ovakav rezultat istraživanja može se objasniti predimenzionisanim pogonskim elektromotorima kod alatnih mašina, što ih čini neosetljivim na promene alatnog materijala, što nailazi na potvrdu i u brojnim literaturnim izvorima.*

**Ključne reči:** tribologija, TiN prevlaka, ušteda energije, elektromotor, alatna mašina

#### **1. UVOD**

Tribološka istraživanja usmerena štednji energije, upućuju na potrebu povezanosti međusobno veoma različitih oblasti, što samo odslikava multidisciplinarnu prirodu tribologije kao nauke i tehnologije. Značaj štednje energije svakako ne treba posebno naglašavati. Male uštede kod tribomehaničkih sistema koji su široko prisutni su veoma značajne, što u potpunosti opravdava široki spektar postojećih triboloških istraživanja u svetu.

Negativne posledice triboloških procesa (tribološki gubici) mogu se identifikovati na različitim nivoima. Generalno posmatrano, imaju dimenziju energije, odnosno materijala i uloženog rada. Bliže određivanje tipova gubitaka značajno je s aspekta mogućnosti realizacije ušteda upravo na tim mestima primenom novih triboloških saznanja.

Tribološki gubici se, generalno posmatrano, svrstavaju u direktne ili indirektno. Direktne gubici predstavljaju neposredan gubitak energije

usled trenja, gubitak materijala kontaktnih elemenata usled habanja, kao i gubitke vezane za aktivnosti održavanja sistema usmerenog ka smanjenju negativnih posledica trenja i habanja.

Direktni gubici energije usled trenja označavaju se kao primarni direktni gubici. Ovi gubici su najlakše uočljivi i pri površnom posmatranju poistovećuju se sa ukupnim gubicima tribološke prirode.

U ukupno "izgubljenoj" energiji u funkcionisanju tehničkih sistema veliki deo gubitaka odnosi se na trenje.

Sekundarni direktni gubici uglavnom se odnose na potrebu izrade i zamene pohabanih kritičnih elemenata tribomehaničkih sistema u cilju smanjenja intenziteta trenja i habanja. Pri tome treba imati u vidu da nije uvek prisutan zahtev za istovremenim smanjenjem i trenja i habanja, što je kompatibilno. Često je prisutan zahtev za povećanjem trenja i istovremenim smanjenjem habanja (točak/pruga, automobilske gume/put, kočnice, frikciono prenosnici, kaiševi i sl.).

Tercijalni direktni gubici, odnosno uštede, uglavnom se odnose na materijal za izradu pohabanih elemenata. Iznos gubitaka proporcionalan je energetsom ekvivalentu materijala i ceni. Svi direktni tribološki gubici se mogu energetske kvantifikovati.

Indirektni gubici/uštede nastaju kao posledica direktnih gubitaka bilo koje vrste.

## 2. NEKI REZULTATI ISTRAŽIVANJA O POTENCIJALNIM UŠTEDAMA ENERGIJE PRIMENOM SAVREMENIH ALATNIH MATERIJALA

U svetu je realizovano više strateških programa koji su za cilj imali utvrđivanje velikih triboloških ponora i iznalaženje načina realizacije potencijalnih ušteda, [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Značajno se, u poslednjih dvadesetak godina, povećao i broj konferencija posvećenih tribološkim problemima.

U prvom, detaljno realizovanom, strateškom Izveštaju posvećenom uštedi energije kroz primenu tribologije kao nauke i tehnologije (ECUT surveys, Septembar 1985, USA), posmatrani su energetske ponori kod najvećih potrošača energije u USA u oblasti industrije (rudarstvo, metalurgija, hemijska industrija, prehrambena i industrija prerade papira), poljoprivrede, transporta i električnih postrojenja (proizvodnja i snabdevanje strujom, gasom i vodom). Realizovano je šest odvojenih istraživanja u oblastima klasifikovanim kao veliki energetske potrošači, [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Rezultati tih istraživanja, dati u vidu izveštaja, poslužili su za realizaciju sličnih izveštaja u Kanadi [8], Nemačkoj [9] i Kini [10], uz davanje akcenta analize onim sektorima potrošača energije koji su značajni u tim zemljama. S aspekta inženjerskih problema posebno su značajna dva od prethodnih šest istraživanja, jedno u oblasti industrije [2] i drugo u oblasti transporta i električnih postrojenja [3].

Jedna od analiza u okviru ECUT studije, mogućih ušteda energije u oblasti metaloprerađivačkih industrija, bila je bazirana na dva podatka, vezano za broj mašina u primeni i njihovu instalisanu snagu (Tabela 1.). Posmatran je uticaj tehnologija površinskog modifikovanja na moguće tribološko ponašanje alatnih mašina.

Podaci iz Tabele 1. ukazuju na to da je u oblasti metaloprerađivačke industrije angažovan izuzetno veliki broj mašina (1 599 000), sa širokim rasponima instalisanih snaga (0,1 kW do 110 kW).

Ako podjemo od pretpostavke da mašina u toku jedne godine u proseku radi 4000 h/god i da je prosečna vrednost 1 nh (norma čas) mašine oko 20 \$ (podaci za USA, dok je kod nas vrednost 1nh prosečno oko 6 \$) mogu se dati neke grube procene. Pretpostavimo još da se primenom odgovarajućih triboloških znanja može uštedeti samo 1 nh, ili 0,025 % od ukupnog radnog vremena. To ekonomski kvantifikovano predstavlja uštedu od  $31,98 \cdot 10^6$  \$ ili od oko 32 miliona \$/god, u USA, za godinu, kada je i realizovano istraživanje.

**Tabela 1.** *Alatne mašine u obradi metala rezanjem i deformisanjem u USA, 1983. [5]*

Tip mašine		Broj angažovanih mašina	Raspon pogonskih snaga mašine (kW)
Alatne mašine za obradu metala rezanjem	<i>Strugovi</i>	366 000	3 - 110
	<i>Horizontalne bušilice</i>	45 000	6 - 90
	<i>Bušilice</i>	300 000	6 - 90
	<i>Glodalice</i>	234 000	2 - 22
	<i>Brusilice</i>	-	0,1 - 37
	<i>Mašine za odsecanje i sečenje</i>	170 000	0,1 - 110
	<i>Mašine za razvrtanje</i>	16 000	7 - 37
	<i>Mašine za završnu obradu</i>	-	0,1 - 7,5
Alatne mašine za obradu metala deformisanjem	<i>Mašine za prosecanje</i>	73 000	0,4 - 18,7
	<i>Mašine za sečenje, makaze</i>	38 000	11
	<i>Mašine za savijanje i oblikovanje</i>	77 000	-
	<i>Prese i čekići</i>	280 000	7,5 - 110
		<b>Σ 1 599 000</b>	

Dolazi se do zaključka da je moguće, u oblasti metaloprerađivačkih industrija, uz minimalnu primenu triboloških znanja, s obzirom na broj angažovanih mašina, realizovati ogromne uštede.

Strateški program uštede energije u metaloprerađivačkoj industriji u okviru ECUT studije baziran je na makroskopskom sagledavanju stanja i poznatoj činjenici, da je intenzitet triboloških gubitaka u direktnoj vezi sa koeficijentom trenja, pa su iz tog razloga procene ušteda energije bazirane na primeni novih tehnologija

modifikacije površina. Procene utrošene energije i procene mogućih ušteda primenom tehnologija modifikacije površina izloženih trenju i habanju (kontaktnih površina), vršene su za realne eksploatacione uslove, odnosno, na osnovu realnih eksperimentalnih podataka ili podataka preuzetih iz prakse koji se odnose na standardno primenjene postupke modifikacije površina. Uzeto je u obzir ukupno radno vreme mašina, pogonska snaga mašina, radni hod, parametri režima rezanja (dubina rezanja, brzine glavnog i pomoćnog kretanja) i slično.

U Tabeli 2. prikazana je jedna od dobijenih procena ušteda ostvarenih primenom alata sa modifikovanim površinama. Približno 50% posmatranih alatnih mašina su strugovi, kao najšire prisutne alatne mašine u industrijskoj praksi.

**Tabela 2.** Tribološki gubici i potencijali uštede energije primenom površinski modifikovanih alata u obradnim procesima ( $10^6$  \$/god), [5]

Vrsta obrade		Direktni tribološki gubici		Indirektni tribološki gubici	Ukupno
		Pogon	Alat		
Obrada metala rezanjem	Gubici	29.9	39.8	27.8	107.5
	Uštede	0	8.9	23.2	32.1
Obrada metala deformisanjem	Gubici	124.8	48.0	64.4	237.2
	Uštede	0	13.2	43.0	56.2
Ukupno (obrada metala rezanjem i deform.)	Gubici	154.7	87.8	92.2	334.7
	Uštede	0	22.1	66.2	88.3

Iznosi triboloških ušteda, kao što se vidi iz Tabele 2., dobijeni uz primenu samo jedne tribološki bazirane tehnologije, su reda veličine nekoliko stotina miliona dolara godišnje. Sve ove procene se, naravno, razlikuju od realnih iznosa, zbog malog broja relevantnih parametara uzetih u razmatranje pri datoj analizi. Činjenica je i da se svi realni uticaji nikako ne mogu uzeti u obzir pri jednom takvom globalnom posmatranju. Rezultati ukazuju na neophodnost, kao i opravdanost realizovanja sličnih analiza na nižim nivoima.

Prva obimnija istraživanja triboloških gubitaka vezana za područje naše zemlje realizovana su 70-tih godina od strane hrvatskih naučnika za područje bivše SFRJ [11], [12]. Objavljeno je više radova koji su nedvosmisleno ukazivali na opravdanost triboloških istraživanja s aspekta

mogućih ušteda. U okviru tih istraživanja obuhvaćena je i detaljna analiza triboloških ponora u jednoj metaloprerađivačkoj radnoj organizaciji [12]. Na osnovu zaključaka analize donešen je dugoročni program razvoja te metaloprerađivačke grane. Nažalost, zbog već poznate situacije na našim prostorima, nema podataka o tome da li su i kako zaživeli ti programi.

Na osnovu analize triboloških gubitaka u izabranoj, metaloprerađivačkoj industriji bivše SFRJ, za 1970. godinu, date su procene ukupnih triboloških gubitaka, prema sledećoj raspodeli, [12]:

- gubici u električnoj energiji, 3 544 039 din, ili 7,5%
- gubici u održavanju mašina, 24 900 000 din, ili 52,0%
- gubici na alatima i mašinama 19 184 300 din, ili 40,5%

što je ukupno predstavljalo gubitak od 47,6 miliona n. dinara, ili 4,1 miliona DM. Taj iznos je, prema tadašnjim ekonomskim pokazateljima, predstavljao oko 5% od vrednosti godišnje proizvodnje.

Našu metaloprerađivačku industriju karakteriše niz specifičnosti vezanih i za direktne i indirektno energetske gubitke. Razlike u potrošnji energije, posmatrane na nivou proizvodne operacije - obradnog procesa, pa time i na nivou proizvodnih sistema i industrija uopšte, jednim delom su, sigurno, posledice neadekvatne primene triboloških saznanja, novih tehnologija nanošenja prevlaka i savremenih alatnih materijala u obradnim procesima. Visoke cene naših proizvoda na domaćem i svetskom tržištu posledica su, u većini slučajeva, tehnološki i tribološki neadekvatno rešenih proizvodnih operacija.

Izbor vrste alata, kvaliteta alatnog materijala i geometrije alata ima direktan uticaj na količinu energije utrošene u toku obradnog procesa. Primena savremenih reznih alata sa višeslojnim prevlakama i alata novih geometrija u velikoj meri utiče na smanjenje otpora rezanja pa time i na disipaciju energije u samom obradnom procesu.

### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U okviru rada realizovan je eksperiment u kome je vršeno merenje komponentnih otpora rezanja pri obradi ugljeničnih i legiranih čelika, alatima sa i bez TiN prevlake. Eksperiment je izveden u cilju sagledavanja uticaja TiN prevlake alata na veličinu otpora rezanja pri obradi struganjem. U cilju ostvarenja identičnih uslova za

poređenje otpora rezanja, odnosno u cilju sagledavanje uticaja TiN prevlake, ispitivanje svih vrsta čelika je vršeno u uslovima identičnih parametara režima rezanja.

Obrada je vršena bez primene SHP-a, sa oštrim alatom ( $h = 0$  mm) i sa variranim parametrima režima obrade u sledećim intervalima:

- dubina rezanja:  $0,5 < \delta < 2,5$  mm
- korak  $0,1 < s < 0,4$  mm/o i
- brzina rezanja  $60 < v < 200$  m/min.

Ispitivanje je izvedeno na Univerzalnom strugu "Prvomajska" D - 480, nominalne snage  $P = 11$  kW. Alat je izmenjiva pločica TNMA 160408-K15 na nosaču pločice PTNGR 2525M16.

Za merenje je formiran odgovarajući merni lanac baziran na trokomponentnim dinamometrima KISTLER - tip 9441 - 1, sa odgovarajućim pojačavačem signala, za merenje signala komponentnih otpora rezanja  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$ . Signal se sa pojačavača odvodi na PC računar gde se pomoću savremenog softvera za akviziciju podataka vrši snimanje i analiza dobijenih podataka, odnosno niza vrednosti merenih veličina, koje se dalje mogu prikazivati u željenim formatima (grafički ili tabelarno). Aritmetičkim osrednjavanjem, u okviru

pripadajućeg softvera, i uvođenjem koeficijenata baždarenja dobijene su srednje vrednosti otpora rezanja za planirane kombinacije parametara režima rezanja.

U prvom delu eksperimenta obuhvaćena je uzdužna obrada struganjem čelika Č1221. Alat je izmenjiva pločica TNMA 160408-K15 sa i bez TiN prevlake. Poređenjem odgovarajućih otpora rezanja dobijene su vrednosti procentnog odstupanja otpora rezanja pri obradi alatima sa i bez prevlake koja su bila u granicama do +10% u korist TiN prevlake.

Drugi deo eksperimenta obuhvatio je obradu tri vrste čelika Č1212, Č7422 i Č5420, alatima sa i bez TiN prevlake. Analizom rezultata uočene su najveće razlike u otporima pri obradi čelika Č7422 (0.17%C, 0.36%Cr, 0.43%Ni, 0%Mo,  $R_m=57$  daN/mm<sup>2</sup>, 166HB, meko žaren), pa je za ovu vrstu obrađivanog materijala proširen eksperiment variranjem brzine rezanja, koraka i dubine rezanja u širem intervalu. Deo rezultata merenja, koji se odnose na Č7422 prikazani su u Tabeli 3.

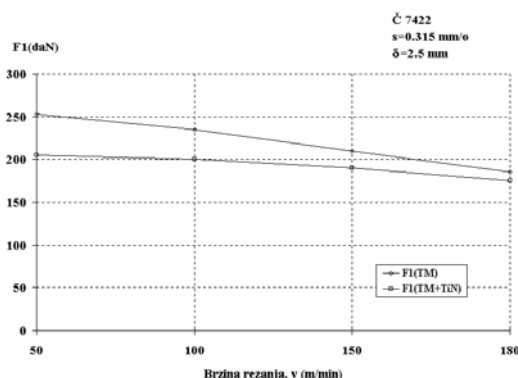
**Tabela 3.** Obrada struganjem Č7422 pločicom TNMA 160408-K15 sa i bez TiN prevlake

Režimi obrade			Alat sa prevlakom TiN				Alat bez prevlake TiN			
$\delta$ (mm)	s (mm/o)	v (m/min)	$F_1$ (daN)	$F_2$ (daN)	$F_3$ (daN)	Struja I (A)	$F_1$ (daN)	$F_2$ (daN)	$F_3$ (daN)	Struja I (A)
2.5	0.315	58	206.5	58.8	150.5	6,8	261.9	84.7	247.7	6,9
		72	200.0	56.7	143.7	-	252.2	69.2	212.2	-
		116	198.7	56.1	137.9	13,4	227.8	57.1	164.4	13,6
		144	172.2	44.4	102.8	-	211.2	52.1	145.2	-
		180	168.4	42.1	95.5	18,0	187.4	41.2	114.2	18,0
2.0	0.315	72	161.6	49.1	105.9	6,6	162.9	47.1	114.4	6,6
1.5			114.9	41.4	69.1	-	130.9	45.6	90.5	-
1.0			78.8	36.3	41.9	-	89.2	40.6	57.2	-
0.5			42.9	28.5	16.6	-	43.4	30.4	17.9	-
2.5	0.1	72	86.2	23.6	73.2	-	94.7	25.6	92.7	-
	0.16		119.3	32.0	96.9	-	137.3	40.7	138.7	-
	0.2		149.7	41.4	123.9	6,2	164.5	49.1	158.9	6,2
	0.315		227.4	69.5	186.8	-	216.8	66.7	185.8	-
	0.4		260.1	76.3	185.3	10,6	262.1	78.9	199.3	10,7

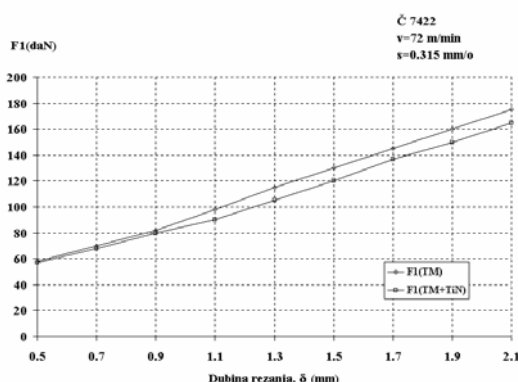
U Tabeli 4. prikazane su dobijene razlike vrednosti glavnog otpora rezanja  $F_1$  pri obradi struganjem Č7422 sa pločicom TNMA 160408-K15 sa i bez TiN prevlake pri promeni pojedinih parametara režima obrade, pri čemu je trend promene  $F_1$  u zavisnosti od pojedinih parametara prikazan na slikama 1. do 3.

**Tabela 4.** Razlike glavnog otpora rezanja  $F_1$  u eksperimentu

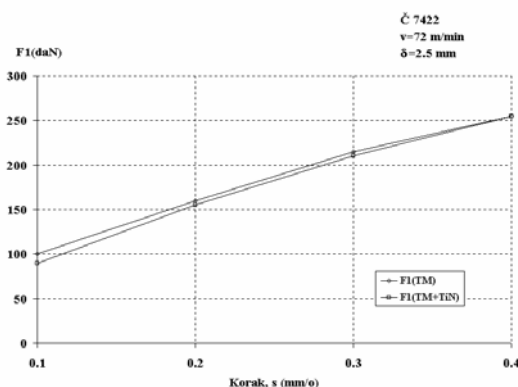
promenljivo v (m/min)	promenljivo s (mm/o)	promenljivo $\delta$ (mm)
$\Delta F_1$ (%)	$\Delta F_1$ (%)	$\Delta F_1$ (%)
od 10.1% do 20.8%	od 0.8% do 13.1%	od 0.8% do 12.2%



Slika 1. Trend promene glavnog otpora rezanja u zavisnosti od brzine rezanja alatom sa i bez TiN prevlake



Slika 2. Trend promene glavnog otpora rezanja u zavisnosti od dubine rezanja alatom sa i bez TiN prevlake



Slika 3. Trend promene otpora rezanja u zavisnosti od koraka rezanja alatom sa i bez TiN prevlake

Za čelik Č7422 izvršeno je i merenje jačine struje koju elektromotor "vuče" iz mreže. Elektromotor je nominalne snage  $P = 11$  kW. Rezultati su dati u Tabeli 3.

Analizom rezultata izvedenog eksperimenta uočava se prednost primene TiN prevlake kod pojedinih alatnih materijala (Č7422), s aspekta veličine otpora, što nailazi i na odgovarajuću potvrdu u literaturi. Međutim, primena TiN prevlake s aspekta jačine struje koju pogonski

elektromotor uzima iz mreže, odnosno s aspekta globalnog smanjenja energije potrebne tribomehaničkom sistemu alatna mašina, u ovom konkretnom slučaju nema efekta, što se jasno uočava poređenjem vrednosti jačina struje datih u Tabeli 3. Potrebno je, svakako, naći objašnjenje ovog fenomena, na koji prethodno sagledavanje problema nije upućivalo. S tim ciljem, u radu je i teorijski razmatran problem "neosetljivosti" elektromotora na promenu alatnog materijala, odnosno otpora rezanja.

#### 4. ANALIZA UTROŠKA ENERGIJE U OPERACIJAMA OBRADJE METALA REZANJEM

Posmatraju se dve proizvodne operacije, operacija "A" i operacija "B". Operacija "A" se izvodi alatom sa alatnim materijalom  $M_a$  dok se operacija "B" izvodi sa alatnim materijalom  $M_b$ . Pretpostavimo da je alatni materijal  $M_b$  boljih triboloških svojstava i da se pri obradi sa njim javljaju manji otpori rezanja u odnosu na obradu sa alatnim materijalom  $M_a$ .

Potrebna, efektivna snaga koja je, s aspekta fizičke realizacije procesa, neophodna može se izraziti kao:

$$P_{Aef} = F_A \cdot v$$

$$P_{Bef} = F_B \cdot v = (F_A - \Delta F) \cdot v$$

gde je:

$P_{Aef}$  – efektivna snaga potrebna za realizaciju proizvodne operacije "A",

$P_{Bef}$  – efektivna snaga potrebna za realizaciju proizvodne operacije "B",

$F_A$  – tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju operacije "A" (otpor u pravcu brzine rezanja),

$F_B$  – tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju operacije "B" (otpor u pravcu brzine rezanja),

$\Delta F$  – razlika otpora rezanja u operacijama "A" i "B" (pretpostavlja se da je tangencijalni otpor rezanja pri izvođenju proizvodne operacije "B" manji) i

$v$  – brzina rezanja koja je ista za obe proizvodne operacije.

Stvarna angažovana snaga motora potrebna za izvođenje navedenih operacija je:

$$P_{AS} = \frac{P_{Aef}}{\eta_A} = \frac{F_A \cdot v}{\eta_A}$$

$$P_{BS} = \frac{P_{Bef}}{\eta_B} = \frac{F_B \cdot v}{\eta_B} = \frac{(F_A - \Delta F) \cdot v}{(\eta_A - \Delta\eta)}$$

gde je:

$P_{AS}$  - stvarno angažovana snaga pri izvođenju operacije "A",

$P_{BS}$  - stvarno angažovana snaga pri izvođenju operacije "B",

$\eta_A$  - stepen iskorišćenja snage motora pri izvođenju operacije "A",

$\eta_B$  - stepen iskorišćenja motora pri izvođenju operacije "B" i

$\Delta\eta$  - razlika stepena iskorišćenja motora u proizvodnim operacijama "A" i "B".

Naime, poznata je činjenica da stepen iskorišćenja motora opada sa smanjenjem angažovane snage [16].

Stepen iskorišćenja motora je složena funkcija odnosa angažovane i instalisane snage motora, što se može napisati u obliku:

$$\eta = f\left(\frac{P_{ef}}{P}\right)$$

gde je:

$P_{ef}$  - efektivno potrebna snaga motora i

$P$  - instalisana, projektovana snaga motora.

Promena stepena iskorišćenja je, kako je rečeno, vrlo složena funkcija. Međutim, poznato je da pri većim odnosima  $P_{ef}/P$  stepen iskorišćenja snage motora,  $\eta$ , ima trend rasta. Stepenski iskorišćenja motora pri izvođenju operacije "B" bio bi definisan uopšteno kao:

$$\eta_B = \eta_A - \Delta\eta$$

jer je, po polaznoj pretpostavci, odnos angažovane i projektovane snage u ovom slučaju manji, pa je i stepen iskorišćenja motora manji.

Ako se uvede u razmatranje odnos stvarno angažovanih snaga u operacijama "A" i "B" (promenljiva  $\zeta$  u jednačini), dobija se izraz:

$$\zeta = \frac{P_{AS}}{P_{BS}} = \frac{I_A \cdot U}{I_B \cdot U} = \frac{F_A (\eta_A - \Delta\eta)}{\eta_A (F_A - \Delta F)}$$

gde su:

$I_A, I_B$  - odgovarajuće struje kojima motor pri izvođenju eksperimenata "A" i "B" opterećuje mrežu.

Analizirajući prethodni izraz mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Teorijski je apsolutno moguće, naročito pri malim vrednostima  $\Delta F$ , da koeficijent  $\zeta$  ima vrednost veoma blisku jedinici.
- U tom slučaju vrednosti struja  $I_A$  i  $I_B$  takođe su veoma bliske, čak se može desiti da struja, koju

motor vuče iz mreže, pri izvođenju eksperimenta "A" bude manja od struje, koju motor vuče, pri izvođenju eksperimenta "B".

- Posebno se velike vrednosti  $\Delta\eta$  dobijaju pri radu sa motorima koji su, s obzirom na projektovanu snagu, malo opterećeni [16].

## 5. ZAKLJUČAK

Mnogobrojna tribološka istraživanja usmerena na štednju energije s aspekta pojedinih elemenata tribomehaničkog sistema upućuju na mogućnost njihovog unapređenja, a time i postizanja globalnog cilja smanjenja energetske potrošnje.

U radu je posmatran jedan aspekt primene triboloških prevlaka na alatima i njihova prednost u odnosu na alate bez prevlaka. Za konkretan slučaj TiN prevlake i izabranih materijala predmeta obrade rezultati realizovanog eksperimenta ukazuju da primenom TiN prevlake ne postoje značajne energetske uštede, s aspekta direktnih troškova. Polazeći od tog zaključka došlo se do zaključka da su motori kod alatnih mašina prisutnih u industrijskoj praksi, predimenzionisani. Veća potrošnja električne energije od realno potrebne kod elektromotora, kao najšire prisutnog pogonskog elementa u industriji, dovodi do izuzetno velikih gubitaka energije u industriji, globalno posmatrano. Rezultati, takođe pokazuju da su vrednosti razlika otpora rezanja kod alata sa i bez TiN prevlake, veoma male i izuzev u pojedinim intervalima parametara režima rezanja gotovo da i ne postoje, što upućuje na neophodnost racionalne primene skupih alata sa tribološkim prevlakama.

Na osnovu izvršene, maksimalno uprošćene, ali realne teorijske analize, kao i na osnovu rezultata eksperimentalnih ispitivanja mogu se doneti neki uopšteni zaključci:

- elektromotori su u našoj metaloprerađivačkoj industriji višestruko predimenzionisani,
- realno manja opterećenja motora, nastala primenom savremenih alatnih materijala, ne daju, sa aspekta potrošnje električne energije očekivane željene efekte i
- buduća istraživanja, u cilju ušteda energije, treba usmeriti na optimizaciju izbora motora sa tribološkog i mnogih drugih aspekata ("elektro" aspekt, statistički aspekt vezan za raspodele opterećenja motora tokom njegovog radnog veka i dr.).

Navedeni zaključci nailaze, velikim delom, na podršku savremenih literaturnih izvora, [13], [14], [15]. Jasno je, međutim, da u ovoj oblasti postoji ogroman prostor za teorijska i eksperi-

mentalna, multidisciplinarna istraživanja koja u krajnjem ishodu mogu dati veoma značajne ekonomske efekte.

Analiza podataka iz literature, [17], [18], ukazuje, takođe, da ogroman deo od ukupno utrošene elektroenergije u industriji (čak oko 70%) potroše elektromotori, kao najšire prisutni elementi sistema u svim oblastima industrije. Naravno, mesta najveće potrošnje energije predstavljaju istovremeno i mesta najvećih potencijalnih ušteda, što upućuje na opravdanost istraživanja usmerenih u pravcu smanjenja potrošnje električne energije, upravo s aspekta elektromotora.

Aktuelnost problematike izbora elektromotora s aspekta pojedinih karakteristika sistema u kome se primenjuje je evidentna. Generalno posmatrano, izbor elektromotora je veoma kompleksno pitanje, ali s aspekta nivoa postizanja mogućih ušteda, istraživanja u ovoj oblasti su u potpunosti opravdana i s obzirom na multidisciplinarni karakter predstavljaju poseban izazov.

## 6. LITERATURA

- [1] Jost H.P., Schofield J., Energy Saving Through Tribology: A techno-economic study, Proceedings 1981., vol.195, no.16
- [2] Imhoff C.H., et al, A Review of Tribological Sinks in Six Major Industries, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, September 1985.
- [3] Pinkus and Wilcock, Reduction in Tribological Energy Losses in the Transportation and Electric Utilities Sectors, Mechanical Technology Incorporated, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, September 1985.
- [4] Fehrenbacher, Identification of Tribological Research and Development Needs for Lubrication of Advanced Heat Engines, Technology Assessment and Transfer, Inc., PNL-5537, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington
- [5] Le H.K., at el, Energy Conservation Potential of Surface Modification Technologies, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, September, 1985.
- [6] Peterson, Assesment of Government Tribology Programs, Wear Sciences Corporation, PNL-5539, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington
- [7] Sibley, Zlotnick, Assesment of Industrial Attitudes Toward Generic Research Needs in Tribology, Tribology Consultants Incorporated, PNL-5540, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington
- [8] A Strategy for Tribology in Canada, National Research Council Canada, 1986.
- [9] Bartz W.J., Energieeinsparung durch tribologische Maßnahmen, Expert Verlag, 1988.
- [10] Prof. Wen Shizhu, An Investigation on the Industrial Applications of Tribology in China, Tribology conference, Beijing, China, 1986.
- [11] Zgaga R., Ekonomski aspekti tribologije, Tribologija u industriji, god I, br. 3., 1979.
- [12] Fijan Z., Zgaga R., Analiza triboloških gubitaka i tribološkog nivoa proizvoda u metaloprerađivačkoj industriji, Strojarstvo, vol.19, br.4., 1977.
- [13] Replacing an oversized and underloaded electric motor, fact sheet, <http://www.motor.doe.gov>, 2003.
- [14] Replacing Oversized, CIPCO Energy Library, <http://cipco.apogee.net/>, 2003.
- [15] Bhattacharjee K., Tyagi A., Industrial energy conservation: issues for improving industrial operations, TERI Newswire 7(17), 2001.
- [16] Teodorović V., Električne pogonske mašine I, Naučna knjiga, Beograd, 1967.
- [17] Statistički godišnjak Jugoslavije, 1997, Savezni zavod za statistiku
- [18] Web sajt Elektroprivrede Srbije; <http://www.eps.co.yu>