



PRODUKTIVNOST I TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJSKIM SISTEMIMA

Prof. dr Branko IVKOVIĆ, dipl. ing,

Jugoslovensko društvo za tribologiju, 34000 Kragujevac, S. Janjić 6, R.Srbija

Summary

Economic growth in a country or a sector can be linked either to increased employment or to more effective work of those who are employed, the latter of which can be captured in the measurement of labour productivity.

The level of industrial productivity depends in great deal of the level of tribological knowledge that applied in products design, in technological projects, in production processes control and maintain of production and other equipments.

Key words: *Productivity, Tribology, Industrial system, Wear, Friction*

1. UVOD

Produktivnost rada (*labour productivity*) definiše se kao odnos ostvarene dodatne vrednosti i broja zaposlenih u zemlji, sektoru privrede, industrijskom sistemu ili nekoj manjoj proizvodnoj jedinici. Ova definicija produktivnosti rada izvedena je na osnovu opšte definicije produktivnosti po kojoj je produktivnost odnos između izlazne i ulazne veličine sistema.

$$P = \frac{OUTPUT}{INPUT}$$

Kao izlazna veličina koristi se dodatna vrednost (value added) odnosno društveni proizvod (GDP-Gross Domestic Product) koji predstavlja razliku između ostvarenog ukupnog prihoda i materijalnih troškova

Za merenje produktivnosti rada kao izlazna veličina iz sistema nikada se ne koriste fizičke veličine kao što su broj proizvedenih artikala (vozila, mašina i sl) ili količina izražena u tonama, zapreminskim i površinskim jedinicama (tonama čelika, kubnim metrima drveta, kvadratnim metrima stanbenog prostora i sl).

Za merenje produktivnosti rada broj zaposlenih angažovanih na stvaranju dodatne vrednosti (realizaciji proizvodnje) u posmatranom vremenskom periodu i broj časova rada ako do njega može da se dodje koriste se kao ulazne veličine.

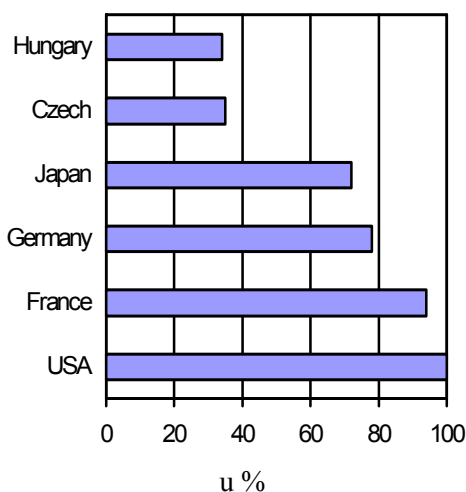
Jedinični troškovi rada (unit labour cost) predstavljaju odnos između bruto plata (ukupne nadoknade za ostvareni rad) i realne veličine ostvarene dodatne vrednosti Jedinični troškovi rada su druga mera produktivnosti koja se danas u svetu koristi.

Problemi merenja produktivnosti na nivou zemlje svode se u osnovi na problem realnog određivanja dodatne vrednosti (društvenog proizvoda) i na realno određivanje broja zaposlenih odnosno broja časova rada utrošenih na stvaranje dodane vrednosti u posmatranom periodu. Ovi problemi prisutni su u svim zemljama manje ili više jer postoje izvori grešaka u prikupljanju podataka kako o veličini ukupne dodatne vrednosti tako i u broju zaposlenih odnosno broju utrošenih časova rada. Jedan od izvora mogućih grešaka odnosi se na prisustvo "sive ekonomije" u svim zemljama u većoj ili manjoj meri. U zemljama u razvoju učešće "sive ekonomije" u stvaranju dodatne vrednosti je mnogo veće nego u razvijenim zemljama, na primer u Evropskoj uniji i Americi.

Veličina dodatne vrednosti po zaposlenom razlikuje se u zavisnosti od vrste industrije. Na primer, u prehrambenoj industriji dodatna vrednost po zaposlenom u industrijski razvijenim zemljama manja je za 30-405 od dodatne vrednosti koja se po jenom zaposlenom ostvaruje u metaloprerađivačkoj industriji.

Odnos izmedju ostvarene produktivnosti u industriji nekoliko zemalja u 2000.godini prikazan je na slici 1

Neophodno je napomenuti da je do pada produktivnosti u industriji Nemačke došlo posle ujedinjenja ove zemlje početkom devedesetih godina. Pre toga nivo produktivnosti u industriji Zapadne nemačke bio je na nivou Francuske.



Slika 1. Odnos ostvarene produktivnosti u industriji u 2000.

2. TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJSKIM SISTEMIMA

Jedna od opštih definicija tribologije definiše je kao nauku i tehnologiju o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima sa posebnim naglaskom na probleme trenja, habanja i podmazivanja.

U industrijskim sistemima pod pojmom "mehanički sistem" podrazumevaju se sve vrste obradnih procesa, proizvodna, transportna i druga oprema. Obrada rezanjem odvija se, na primer, u mehaničkom sistemu koji čine alat i predmet obrade u relativnom kretanju.

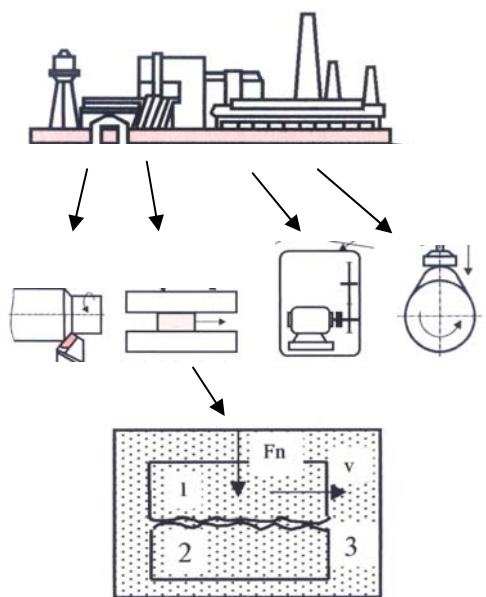
Pod pojmom "tribo-mehanički sistem" podrazumevaju se oni mehanički sistemi čije funkcionisanje zavisi u velikoj meri od veličine trenja i intenziteta habanja u zonama kontakta njihovih elemenata

Broj tribo-mehaničkih sistema u industrijskim sistemima srednje veličine iznosi, po pravilu, nekoliko desetina hiljada. U njima se za vreme trajanja proizvodnih procesa pojavljuje trenje u zonama kontakta koje treba savladati i habanje kritičnih elemenata koje dovodi do zastoja proizvodnje zbog zamene pohabanih elemenata novim.

Bez obzira na ogroman broj tribo-mehaničkih sistema oni se mogu svrstati u četiri osnovne grupe. To su tribo-mehanički sistemi u kojima se:

- ostvaruju obradni procesi,
- vođenje elementa
- prenos snage i kretanja i
- prenos informacija.

Svaka od ovih grupa ima više podgrupa. Medjutim, bez obzira na vrstu tribo-mehaničkih sistema procesi trenja i habanja razvijaju se u osnovno tribo-mehaničkom sistemu koji čine dva čvrsta elementa u relativnom kretanju i mazivo (Slika 2).



Slika 2. Tribo-mehanički sistemi

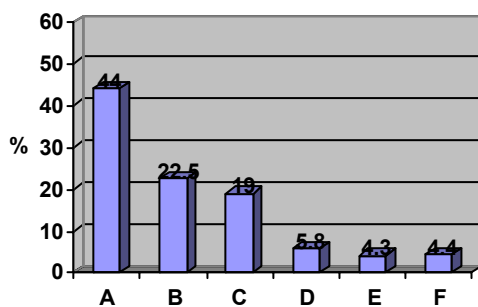
Rešavanjem problema u zonama kontakta osnovnih tribo-mehaničkih sistema koji se odnose na smanjenje trenja i usporavanje procesa habanja smanjuju se u značajnoj meri troškovi u proizvodnim i transportnim sistemima.

Prema istraživanjima obavljenim u industrijski razvijenim zemljama primenom savremenih triboloških znanja na rešavanju problema trenja i habanja u osnovnim tribo-mehaničkim sistemima moguće je smanjiti:

- Troškove održavanja i zamene pohabanih delova novim (A) za 44,0%

- Troškove proizvodnje koji nastaju zbog zastoja proizvodnih procesa izazvanih habanjem elemenata proizvodne i druge opreme (B) za 22,5%
- Troškove investicija u novu opremu zbog povećanja veka trajanja postojeće (C) za 19%
- Troškove energije zbog smanjenja trenja (D) za 5,8%
- Troškove podmazivanja (E) za 4,3% i
- Troškove radne snage (F) za 4,4%

Struktura mogućih ušteda u industriji i transportu, koju je moguće ostvariti, primenom savremenih triboloških znanja prikazana je na slici 3.



Slika 3. Struktura mogućih ušteda u industriji primenom triboloških znanja

Da bi se ostvarilo smanjenje troškova proizvodnje i transporta neophodno je poznavanje triboloških karakteristika sva tri elementa osnovnih tribo-mehaničkih sistema.

Upravljanje troškovima proizvodnje i transporta nije takodje moguće bez poznavanje triboloških karakteristika sva tri elementa brojnih tribo-mehaničkih sistema sadržanih u proizvodnoj opremi i transportnim sredstvima.

3. PRODUKTIVNOST I TRIBOLOGIJA

Produktivnost industrijskih sistema defininisana je opštim izrazom :

$$P = \frac{\text{Dodana} \cdot \text{vrednost}}{\text{Energija} + \text{Materijal} + \text{Rad} + \text{Ostalo}}$$

Dodatna vrednost predstavlja razliku između ukupnog prihoda i materijalnih troškova.

$$DV = UP - (E+M+PO+A+SHP+OST)$$

PO- troškovi proizvodne opreme

SHP- Sredstva za hlađenje i podmazivanje

A- Troškovi alata

OST - Ostali materijalni troškovi

Veliki deo materijalnih troškova (energija, materijali, alati i dr) zavisi od triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema. Da bi se ostvarila veća produktivnost u industriji, koja se meri veličinom dodatne vrednosti ostvarene u jednoj godini po jednom zaposlenom neophodno je poznavanje, kontrola i neperkidno povećavanje triboloških karakteristika svih elemenata tribo-mehaničkih sistema.

Tribološke karakteristike čvrstih materijala (elementa tribo-mehaničkih sistema) i maziva određene su:

- *Veličinom sile trnja odnosno koeficijenta trenja u zoni kontakta elemenata sistema i*
- *Veličinom odnosno intenzitetom habanja kritičnog elementa sistema*

U industrijskim procesima na savladjivanje sila trenja koje se javljaju u brojnim tribo-mehaničkim sistemima troši se oko 60% ukupne utrošene energije. U transportnim procesima taj procenat je i znatno veći.

Smanjenje utroška energije u industriji i transportu, nije moguće bez značajnijeg smanjenja sila trenja u osnovnim tribo-mehaničkim sistemima kojih u jednom industrijskom sistemu srednje veličine ima na desetine hiljada.

Proces habanja kritičnih elemenata tribo-mehaničkih sistema nije moguće zaustaviti ali ga je moguće usporiti u većoj ili manjoj meri u zavisnosti od primenjenih triboloških znanja.

U ukupnom veku trajanja proizvodne opreme, na primer, mnogi elementi dolaze više puta do kritične pohabanosti. Njihova regeneracija ili zamenom novim elementima učestvuje sa velikim iznosom u ukupnim troškovima održavanja. Usporavanjem procesa habanja produžava se vek trajanja proizvodne opreme i smanjuju ukupni troškovi njihove eksploatacije

Do smanjenja sila trenja, pa prema tome i do utroška energije u industrijskim sistemima ima i do usporavanja procesa habanja na kritičnim elementima sistema moguće je doći:

- Izborom odgovarajućih materijala i tehnologije obrade kontaktnih površina čvrstih elemenata sistema.
- Primenom savremenih tehnologija poboljšanja triboloških karakteristika kontaktnih slojeva (prevlake, fizičko-hemiski postupci i dr)
- Korišćenjem maziva sa dobrim tribološkim karakteristikama i odgovarajućeg režima podmazivanja

Izbor materijala i tehnologije obrade kontaktnih površina, izbor tehnologija za poboljšanje triboloških svojstava kontaktnih slojeva i izbor maziva vrši se isključivo na bazi merenja sila trenja i intenziteta odnosno veličine habanja kritičnog elementa u osnovnom tribo-mehaničkom sistemu.

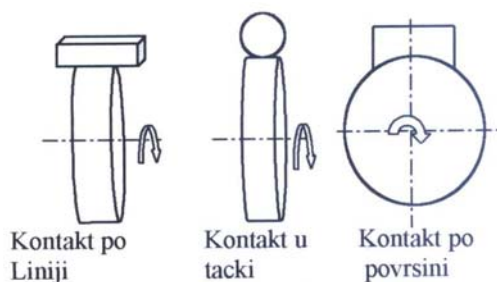
Kako je merenje sila trenja u realnim uslovima na , na primer transportnim sredstvima veoma teško a često i nemoguće ostaje samo mogućnost da se kroz simulaciju realne kontaktne situacije na tribometrima odgovarajuće vrste izvrši određivanje triboloških karakteristika merena sa aspekta trenja i sa aspekta habanja.

4. MERENJE TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ELEMENTA TRIBOSISTEMA

Savremene metode merenja triboloških karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema zasnivaju se na korišćenju tribometara na kojima je moguće ostvariti geometriju kontakta u tački, po liniji i po površini. Poznati najčešće korišćeni tribometri su:

- Tribometar sa četiri kugle (*Four ball*)
- Tribometar *Block on Disk*
- Tribometar *Pin on Disk*

Na tribometru sa četiri kugle moguće je ostvariti samo kontakt u tački dok se druga dva tribometra mogu koristiti i za ostvarivanje kontakta po liniji i površini. Na slici 4 prikazana je mogućnost ostvarivanja sve tri vrste geometrije kontakta na tribometru *Block on Disk*.

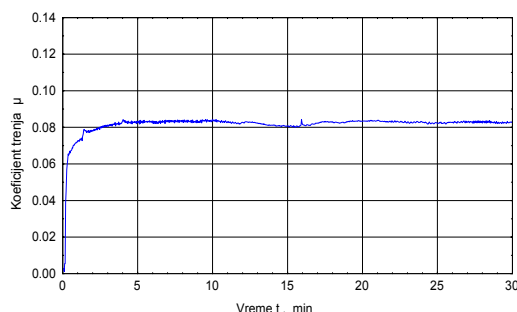


Slika 4. Moguća geometrija kontakta

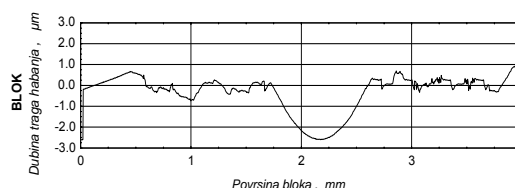
U velikom broju tribo-mehaničkih sistema kontakt između čvrstih elemenata ostvaruje se po liniji (prenosnici skoro svih vrsta), u manjem broju u tački (kontroljajni ležajevi sa kuglicama) a u relativno malom broju tribo-mehaničkih sistema kontakt između čvrstih elemenata ostvaruje se po površini.

Na slikama 5 i 6 prikazani su funkcija $\mu = f(t)$ koja reprezentuje tribološku karakteristiku jednog maziva dobijenu na tribometru *Block on Disk* i trag habanja na bloku izmeren na mernom sistemu

Talisurf No6 na kraju eksperimenta. Veličina traga habanja određuje tribološku karakteristiku maziva sa gledišta trenja.



Slika 5. Eksperimentalna funkcija $\mu=f(t)$



Slika 6. Trag habanja na kontaktnoj površini bloka

Neophodno je napomenuti da bez ova dva eksperimentalna zapisa nije moguće odrediti tribološke karakteristike elemenata tribo-mehaničkih sistema.

5. ZAKLJUČAK

Rast produktivnosti u industrijskim sistemima moguće je obezbediti samo povećanjem dodatne vrednosti po zaposlenom odnosno smanjenjem troškova proizvodnje kroz primenu savrmenih triboloških znanja.

6. REFERENCE

- [1] Ivkovic, B., Manufacturing Process Productivity Through Tribology, J., *Robotic & Computer - Integrated Manufacturing*, Vol.4, No1/2, pp.135-138, 1988
- [2] Ivkovic, B. Modern Approaches to Determination of Tribological Properties of Solid material and Lubricant, 2th world Tribology Congress, Wiena September 2001.
- [3] Allison-Grenier, A. F., "Test Methods in Tribology", The First World Tribology Congress, 1997, London.