

TRIBODIJAGNOSTIKA STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KONTAKTNIH PAROVA OD DRVETA**TRIBODIAGNOSTICS OF THE STATIC FRICTION COEFFICIENT FOR WOOD FRICTION PAIRS**Nikola Đokić, Đorđe Vukelić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – PROIZVODNO MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu su prezentovani rezultati merenja statičkog koeficijenta trenja kontaktnih parova od drveta. Istraživanja su sprovedena na tribometru koji funkcioniše po principu kose ravni. Dobijene srednje vrednosti statičkog koeficijenta trenja za kontaktne parove od drveta se kreću u rasponu od 0,42 do 0,63. Veće vrednosti statičkog koeficijenta trenja su dobijene za kontaktne parove od drveta koje karakteriše veća tvrdoća i veći modul elastičnosti, i obrnuto.

Ključne reči: Tribometar, statički koeficijent trenja, drvo

Abstract – This paper presents the results of measuring the static friction coefficient for wood friction pairs. Research has been carried out on a tribometer that operates on the principle of an inclined plane. The obtained mean values of the static friction coefficient for wood contact pairs range from 0.42 to 0.63. The higher values of the static friction coefficient are obtained for wood friction pairs characterized by higher hardness and a higher modulus of elasticity, and vice versa.

Keywords: Tribometer, static friction coefficient, wood

1. UVOD

Drvo je prirodan materijal koji karakteriše niz pozitivnih svojstava, kao što su: lakoća obrade, prihvatljiva cena, niska toplotna provodljivost, itd. Da bi se izvršila predikcija ponašanje drveta u različitim uslovima eksploatacije, potrebno je poznavati njegove tehnološke, mehaničke i fizičke karakteristike. Poznavanje triboloških svojstava jedan je od preduslova za racionalnu eksploataciju kontaktnih parova napravljenih od drveta [1,2].

Trenje je složen fenomen koji nastaje pri kontaktu površina. Procesi trenja kontaktnih parova odvijaju se u složenim uslovima a istraživanja su pokazala da postoji funkcionalnu zavisnost trenja od velikog broja parametara, kao što su: materijali i geometrija kontakta, kontakti pritisci, temperatura, opterećenje, vlažnost, stanje kontaktne površine, itd. [3,4].

U većini slučajeva, u različitim sistemima trenje je nepoželjna i štetna pojava. Na savlađivanje sile trenja troši se određena količina energije a kao posledica trenja na površinama u kontaktu dolazi do trošenja i zagrevanja materijala.

Tribološke karakteristike elemenata sistema mogu se kvantifikovati intenzitetom sile trenja odnosno koeficijentom trenja [5]. Sila trenja je proporcionalna normalnoj sili koja deluje na površine koje su u kontaktu, što se može prikazati sledećim izrazom [6]:

$$F_t = \mu \cdot F_n \quad (1)$$

gde je: F_t sila trenja, μ koeficijent trenja a F_n normalna sila.

Veličina sile trenja ne zavisi od veličine kontaktne površine i ravnomerno je raspoređena po njoj. Sila trenja deluje tangencijalno u odnosu na kontaktnu površinu i ima smer dejstva suprotan smeru tendencije kretanja [6].

Objavljeno je nekoliko istraživanja o trenju kontaktnih parova od drveta. Blau [6] je predstavio koeficijente trenja za različite vrste drveta. Vrednosti statičkog koeficijenta trenja su se kretale u rasponu od 0,25 do 0,7, a kinematskog koeficijenta trenja u rasponu od 0,19 do 0,5. Glass i Zelinka [7] su merili koeficijente kinematskog koeficijenta trenja za različite vrste drveta. Koeficijenti trenja pri srednjem sadržaju vlage su bili u rasponu od 0,3 do 0,7. Pitenis i saradnici [8] su merili koeficijente trenja za drvo za različite mikroklimatske uslove. Vrednosti statičkog koeficijenta trenja su iznosile od 0,35 do 0,72. Aira i saradnici [9] su objavili rezultate statičkih i kinematskih koeficijenata trenja za meko drvo (crni bor). Xu i saradnici [10] merili su koeficijente trenja drveta sa različitim kvalitetom kontaktnih površina. Rezultati ukazuju da se koeficijenti trenja drveta linearno povećavaju sa srednjom aritmetičkim hrapavošću profila površine (R_a). Sathre i Gorman [11] su određivali statičke i kinematske koeficijente trenja kontaktnih parova od drveta javora bez prisustva maziva između kontaktnih površina. Koeficijent statičkog trenja imao je vrednost od oko 0,45, dok je koeficijent kinematskog trenja imao vrednost od oko 0,35.

Nadalje, Coulombo je izmerio koeficijente statičkog trenja klizanja u rasponu od 0,43 do 0,67 za različite uzorke neobrađenog drva. Ukoliko se vrši podmazivanje kontaktnih površina lojem vrednosti koeficijenta trenja se smanjuju na nivo 0,1-0,2. Za klizanje drveta po čeliku, Bovden i Tabor su izmerili statički koeficijent trenja od 0,6, a Rabinovicz u rasponu od 0,45 do 0,5 [5,12].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Vukelić, vanredni profesor.

Za razliku od predhodnih, cilj ovog istraživanja jeste da se izmere statički koeficijenti trenja klizanja uzoraka od različitih vrsti drveta.

2. METODOLOGIJA

Tribometar (slika 1) upotrebljen u eksperimentalnim istraživanjima koristi se za ispitivanje statičkog koeficijenta trenja različitih vrsta materijala.



Slika 1. Tribometar

Uređaj funkcioniše po principu kose ravni. Meri se ugao nagiba kose ravni pri kome dolazi do kretanja jednog bloka u odnosu na drugi. Uređaj poseduje dve skale. Na jednoj skali je baždaren ugao nagiba kose ravni (α) a na drugoj su baždarene vrednosti statičkog koeficijenta trenja (μ).

Statički koeficijent trenja (μ) je bezdimenziona karakteristika trenja. Po definiciji jednak je količniku sile trenja (F_t) i normalne sile (F_n). Merenje statičkog koeficijenta trenja, po principu kose ravni, zasniva na gravitacionoj sili ($m \cdot g$) koja deluje na telo mase (m) koje je kosoj ravni koja je nagnutu u odnosu na horizontalu za određeni ugao (α). U graničnom slučaju trenja klizanja važe jednačine:

$$\mu = F_t / F_n \quad (2)$$

$$F_t = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$F_n = m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

$$\mu = m \cdot g \cdot \sin \alpha / m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

$$\mu = \sin \alpha / \cos \alpha \quad (6)$$

$$\mu = \tan \alpha \quad (7)$$

To znači da je statički koeficijent trenja jednak tangensu ugla nagiba kose ravni pri kome dolazi do relativnog kretanja elemenata u kontaktu.

Pre merenja vrši se priprema blokova - elemenata kontaktnog para. Blokove je potrebno očistiti (alkoholom i suvom krpom) kako bi se sa njih otklonile nečistoće. Takođe je neophodno izvršiti nivelaciju uređaja dovođenjem diska u nulti položaj.

U telo tribometra se postavi prvi blok. Zakretanjem diska tribometra blok se dovodi u nulti položaj. Ugao nagiba kose ravni je 0. Potom se na prvi blok postavi drugi blok i na taj način se formira kontaktni par. Površina kontaktnih parova je 18 x 50 mm.

Nakon toga se vrši zakretanje diska tribometra sve dok se ne uoči početak kretanja jednog bloka u odnosu na drugi. U tom momentu se vrši očitavanje ugla nagiba pri kome je došlo do relativnog kretanja jednog bloka u odnosu na drugi. Istovremeno se na gornjoj skali očitava vrednost statičkog koeficijenta trenja (slika 2).



Slika 2. Postupak merenja.

3. REZULTATI

Kontaktne elemente sa kojima je izvršeno merenje statičkog koeficijenta trenja izrađeni su od sledećih vrsti drveta: jela, bor, hrast i jasen.

Pre početka istraživanja uzorci drvenih kontaktnih elemenata su sušeni u peći do sadržaja vlage <5% i brušeni na približno istu vrednost srednje aritmetičke vrednosti hrapavosti (R_a). Vrednosti fizičkih i mehaničkih karakteristika blokova upotrebljenih u eksperimentalnim istraživanjima su prikazane u tabeli 1.

Merenje ugla nagiba kose ravni izvršeno je za sledeće kombinacije materijala kontaktnih elemenata: jela - jela, bor - bor, hrast - hrast, jasen - jasen, jela - bor, jela - hrast, jela - jasen, bor - hrast, bor - jasen, i hrast - jasen.

Za svaki kontakti par izvršeno je 30 merenja ugla nagiba kose ravni i statičkog koeficijenta trenja. Dobijeni rezultati su prikazani na slikama 3 i 4. Srednje aritmetičke vrednosti statičkog koeficijenta trenja, maksimalne vrednosti, minimalne vrednosti i standardna odstupanja su prikazani su u tabeli 2.

Za različite kontaktne elemente od drveta izračunate su različite vrednosti statičkih koeficijenata trenja, i to za kontaktni par:

- jela-jela vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,38-0,47;
- bor-bor vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,40-0,49;
- hrast-hrast vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,53-0,60;
- jasen-jasen vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,60-0,67;
- jela-bor vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,43-0,47;
- jela-hrast vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,47-0,51;
- jela-jasen vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,51-0,55;
- bor-hrast vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,49-0,53;
- bor-jasen vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,53-0,58;
- hrast-jasen vrednosti kinematskog koeficijenta trenja se kreću u rasponu od 0,58-0,64.

4. ZAKLJUČCI

Dobijeni rezultati merenja statičkog koeficijenta trenja klizanja za različite drvene materijale su u saglasnosti sa literaturnim podacima.

Srednje vrednosti statičkog koeficijenta trenja za kontaktne parove od drveta se kreću u rasponu od 0,42 do 0,63. Statički koeficijent trenja je imao najveće vrednosti za kontaktni par jasen-jasen a najmanje vrednosti za kontaktni par jela-jela.

Veće vrednosti statičkog koeficijenta trenja su dobijene za kontaktne parove od drveta koje karakteriše veća tvrdoća i veći modul elastičnosti, i obrnuto.

Trenje u nekim slučajevima može biti negativna, a u nekim slučajevima i pozitivna pojava. Stoga, na osnovu esperimentalni istraživanja, se može zaključiti sledeće:

- ako je funkcija cilja optimizacije tribomehaničkog sistema minimum trenja kao elemente kontaktnih parova od drveta treba koristiti jelu, bor ili njihovu kombinaciju;
- ako je funkcija cilja optimizacije tribomehaničkog sistema maksimum trenja kao elemente kontaktnih parova od drveta treba koristiti hrast, jasen ili njihovu kombinaciju.

Buduća istraživanja biće usmerena na merenje statičkog koeficijenta trenja kontaktnih elemenata napravljenih od drugih vrsta drveta, sa različitim mehaničkim i fizičkim karakteristikama i pod različitim eksperimentalnim uslovima.

5. LITERATURA

- [1] B. Luo, L. Li, M. Xu, H. Liu, F. Xing: Analysis of Static Friction Coefficient Between Work-piece and Rubber Belt in Sanding Wood-Based Panel, *Bioresources*, Vol. 9, No. 4, pp. 7372-7381, 2014.
- [2] W. Yin, Z. Liu, P. Tian, D. Tao, Y. Meng, Z. Han, Y. Tian: Tribological properties of wood as a cellular fiber - reinforced composite, *Biotribology*, Vol. 5, pp. 67-73, 2016.
- [3] P. Beer: In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood, *Tribology Letters*, Vol. 18, No. 3, pp. 373-376, 2005.
- [4] R. Bendikiene, G. Keturakis: The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance, *Journal of Wood Science*, Vol. 63, No. 6, pp. 606-614, 2017.
- [5] I.M. Hutchings: Leonardo da Vinci's studies of friction, *Wear*, Vol. 360-361, pp. 51-66, 2016.
- [6] P.J. Blau: The significance and use of the friction coefficient, *Tribology International*, Vol. 34, No. 9, pp. 585-591, 2001.
- [7] V. S. Glass, L. S. Zelinka: Moisture Relations and Physical Properties of Wood, in R. J. Ross (Ed.), *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, Madison, Wisconsin, pp. 1-19, 2010.
- [8] A.A. Pitenis, D. Dowson, G.W. Sawyer: Leonardo da Vinci's Friction Experiments: An Old Story Acknowledged and Repeated, *Tribology Letters*, Vol. 56, No. 3, pp. 509-515, 2014.
- [9] J.R. Aira, F. Arriaga, G. Iniguez-Gonzalez, J. Crespo: Static and kinetic friction coefficients of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), parallel and perpendicular to grain direction, *Materiales de Construcción*, Vol. 64, No. 315, pp. e030, 2014.
- [10] M. Xu, L. Li, M. Wang, B. Luo: Effects of Surface Roughness and Wood Grain on the Friction Coefficient of Wooden Materials for Wood-Wood Frictional Pair, *Tribology Transactions*, Vol. 57, No. 5, pp. 871-878, 2014.
- [11] R. Sathre, T. Gorman: Improving the performance of wooden journal, *Forest Products Journal*, Vol. 55, No. 11, pp. 41-47, 2005.
- [12] D. Vukelic, Z. Santosi, M. Sokac, I. Budak, T. Saric, G. Simunovic, B. Tadic: Evaluation of the kinetic friction coefficient by using „disc-block“ friction pair of different wooden samples, 16. International Conference on Tribology, Kragujevac: Faculty of Engineering, 15-17 May, 2019, pp. 287-292.

Kratka biografija:



Nikola Đokić rođen je u Vrbasu 1990. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinskog inženjerstva odbranio je 2019.god. kontakt: nikola.dj90@yahoo.com



Đorđe Vukelić rođen je u Novom Sadu 1974. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2010. Od 2015. je zvanju vanrednog profesora.