

**INFLUENȚA RECIPROCĂ CALITATIVĂ-CANTITATIVĂ A
PARAMETRILOR DE INTRARE ȘI IESIRE PENTRU CONTACTUL
LINIAR USCAT ÎNTRE OȚEL ȘI POLIMERII COMPOZIȚI ARMAȚI
CU FIBRE DE STICLĂ**

**THE MUTUAL QUALITATIVE-QUANTITATIVE INFLUENCE OF INPUT AND
OUTPUT PARAMETERS FOR THE DRY LINEAR CONTACT BETWEEN STEEL
AND GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

Dorin RUS¹

¹Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania
e-mail: rusdorin@gmail.com

Rezumat: Am încercat o prezentare a corelației cantitativă-calitativă bazată pe experimentări între valorile și evoluția coeficientului de frecare, uzarea suprafeței metalice și temperatura de contact pentru contactul liniar uscat pentru materialele termoplastice compozite armate cu fibre de sticlă pe suprafețe metalice diferite și influența parametrilor de intrare și de ieșire ale tribosistemului. Astfel parametrii de intrare se modifică în mod continuu respectiv coeficientul de frecare, uzarea, temperatura de contact depind de încărcare și de diferitele materiale termoplastice și contactul cu diferite suprafețe metalice. Pe baza studiilor în extenso am putut realiza o imagine grafică a evoluției fenomenului. Am găsit experimental o conexiune teoretică între determinările experimentale și cunoscuta relație Archard pentru uzarea adezivă.

Cuvinte cheie: Snec de injecție; Injecție de plastic; Materiale compozite armate cu fibre de sticlă;

Abstract: I have tried to present the quantitative-qualitative correlation based on experiments between the values and the evolution of the friction coefficient, the wear of the metal surface and the contact temperature for the dry linear contact for composite thermoplastic materials with glass fibers on different metal surfaces as well as the influence of the input and output parameters of the tribosystem. Thus, the input parameters: friction coefficient, wear, contact temperature are constantly changing and depend on the load, the different thermoplastic material and the contact with different metal surfaces. Based on comprehensive studies, I could create a graphical representation of the phenomenon's evolution. I have found a theoretical link between the experimental tests and Archard's relationship for adhesive wear.

Keywords: Injection auger; Plastic injection; Composite materials reinforced with glass fibers;

1. INTRODUCERE

Materialele compozite termoplastice sunt materiale bifazice și sunt constituite dintr-o masă de material polimeric și elemente de ranforsare care măresc parametrii de rezistență, respectiv parametrii fizico-chimici. Rolul de bază al polimerului este în primul rând mecanic și are rolul de a transmite eforturile prin intermediul fibrelor armate. Pentru asigurarea adeziunii este nevoie de atingerea parametrilor chimici specifici pentru fiecare material în parte.

Bowdon și Tabor [1] descoperă experimental valoarea coeficientului de frecare al metalului „curat” pe plastic. Jacobi [2] prezintă pentru poliamidele armate cu fibre de sticlă, valori ale coeficientului de frecare între 0.04 și 0.5. Bilik [3] determină coeficientul de frecare poliamidă/oțel peste 0.2. Clerico [4] studiind frecarea cuplei poliamidă/metal descoperă că acest coeficient de frecare are valori mai mari pentru perioadele scurte decât pentru cele lungi. Hrusciiov și Babicev [5, 6] arată creșterea microfisurilor concomitant cu creșterea cantității de polimer. Bely [7], Bartenev și Laventiev [8] au descoperit că acest coeficient de frecare crește dacă fibrele de sticlă au altă orientare decât aceea a polimerului de bază. Watanabe și al [9] au explicat influența temperaturii și valoarea coeficientului de frecare prin intensificarea transferului de material plastic pe suprafața de oțel. Lancaster [10] a descoperit scăderea coeficientului de frecare concomitent cu micșorarea rugozității. Barlow [11] a descoperit coeficientul de frecare între 0.1 și 0.28 pentru cupla oțel/poliamidă cu lubrifiant. West [12] a descoperit la cupla polietilenă/oțel micșorarea coeficientului de frecare de la 1.24 la 0.78, când are loc o creștere a sarcinii normale de la 10 la 5000. N. Bartenev, Lavrentiev și al [13] au stabilit că avem o creștere a frecării logaritmice, concomitent cu mărirea alunecării. Bowden și Tabor [14] au pus în evidență importanța contactului. Jost [15] a arătat că adeziunea este preponderentă la contactul uscat poliamidă/oțel. Lancaster și Evans [16] au remarcat scăderea ratei de uzare concomitent cu creșterea ungerii hidrodinamice. Shen și Dumbleton [17] au propus calcularea uzării cu o relație liniară la polietilena de înaltă densitate (UHMWPE). Myshkin [18] a constatat că pentru polimerii compoziți componenta abrazivă este mai mare decât componenta adezivă. De Chang și al [29] au investigat tribologic două tipuri de compozite la temperatură ridicată respectiv polietheretherketone (PEEK) și polietherimida (PEI), ranforsate cu fibre de carbon. Kukureka și al [30] au studiat trei tipuri de compozite: aramid, carbon și sticlă. Wang și al [31], au studiat Nylon 1010 compozit cu MoS₂ cu fibre scurte de carbon ca și întăritură. Cho și Bahadur [32] au preparat epruvete CuO-pline cu (PPS) ranforsate cu fibre, formate prin compresie (Kevlar). Guo și al [33] au preparat compozite pe bază de epoxy pline cu particule hibride de nano-SiO₂ și bucăți scurte de fibre de carbon [11].

2. MATERIALE ȘI METODE

A fost folosită o instalație experimentală cu o cuplă de fricțiune de tipul Timken care are contactul liniar, cu o plajă largă de încărcări și de viteze, cu multe posibilități de modificare a parametrilor de funcționare, respectiv: presiunea de contact, temperatura și viteza de alunecare. Astfel se realizează o bună caracterizare a comportamentului tribologic al cuplei material plastic compozit/oțel. Aceasta poate ajunge la presiuni foarte ridicate de contact. Testarea propriu zisă a fost prezentată în altă parte [34].

Influența reciprocă calitativă-cantitativă a parametrilor de intrare și ieșire pentru contactul linear uscat între oțel și polimerii compoziți armați cu fibre de sticlă

Scopul pentru care au fost efectuate testele este determinarea principalilor factori care influențează frecarea în cazul cuplelor de materiale termoplastice compozite armate cu fibre de sticlă/oțel. Este cunoscută legea lui Coulomb că forța de frecare F_f este direct proporțională cu forța normală N :

$$F_f = \mu N \quad (1)$$

Alte studii făcute mai târziu au arătat că, coeficientul de frecare nu este dependent numai de forța normală. Relațiile pentru variațiile coeficientului de frecare depind de sarcinile aplicate:

$$F_f = aN + bN^n \quad (2)$$

Sau mai simplu:

$$F_f = a + bN \quad (3)$$

sau:

$$F_f = a + bN^n \quad (4)$$

Relația ultimă duce la concluzia că dacă forța normală este egală cu 0, forța de frecare are altă valoare decât 0 ($F_f = a$). Aceasta ar putea explica prezența forței de adeziune remanentă a două suprafețe chiar și după îndepărtarea forței normale. Considerăm relația:

$$F_f = kN^n \quad (5)$$

unde n este subunitar. Coeficientul de frecare după legea lui Coulomb are $\mu = F_f / N$. Putem exprima coeficientul de frecare pentru material plastic compozit astfel:

$$\mu = \tau_f / p_c \quad (6)$$

unde τ_f reprezintă efortul de rezistență al materialului și p_c reprezintă presiunea de curgere a aceluiași material. Dar $p_c = HB / 3$, rezultă:

$$\mu = 3\tau_f / HB \quad (7)$$

unde HB este duritatea Brinell

Ecuția (7) este în concordanță cu rezultatele preliminare.

Este cunoscut [13] că, o caracteristică a ratei de uzare poate fi făcută cu ajutorul factorului k definit în relația:

$$V_u = kNvt \quad (8)$$

unde V_u reprezintă volumul de material îndepărtat în timpul uzării; N este sarcina normală; v este viteza relativă de alunecare; t este durata de funcționare; k este un factor de uzare.

Divizăm ambele relații cu aria normală de contact A , obținem relația:

$$V_u / A = kNvt / A \quad (9)$$

Care este:

$$h_u = kpv t \quad (10)$$

unde: h_u este adâncimea unui strat de material; p este presiunea de contact normală la suprafață.

Ecuția (10) este expresia legii generale a dependenței uzării în acord cu presiunea între cele două corpuri în contact(p) și distanța de frecare, deci $L_f = vt$.

Deci putem scrie:

$$k = h_u / pvt = h_u / pL_f \quad (11)$$

respectiv:

$$k^* = V_u / nvt = V_u / NL_f \quad (12)$$

Testele de uzare au drept scop determinarea volumelor de material îndepărtate prin uzare, adâncimea straturilor îndepărtate, ratele volumetrice și liniare ale uzării pentru diferite condiții de testare.

Testele au fost făcute pentru șase viteze de alunecare, 18.56, 27.85, 37.13, 46.41, 55.70 și 111.4 cm/s.[35].

3. REZULTATE ȘI CONCLUZII

În lucrare am arătat [37] complexitatea proceselor de frecare și uzare pentru contactul oțel pe polimer armat cu fibre scurte de sticlă, pe care am încercat să-l prezint clar din punct de vedere calitativ-cantitativ. Aceste determinări pot să fie schematizate ca o sumă de factori de intrare - ieșire și influența în continuă evoluție a întregului proces tribologic (figura 1) [36],[37].

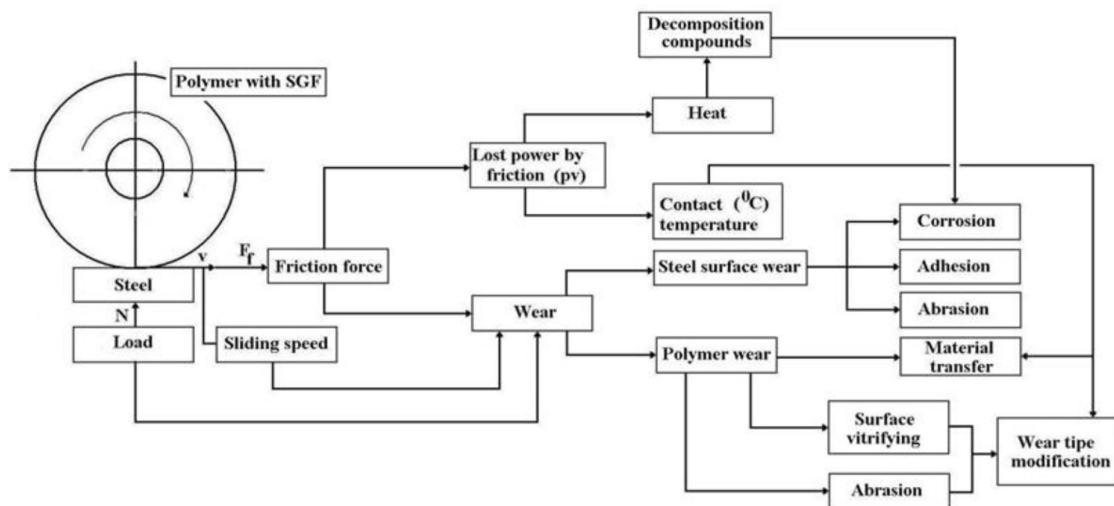


Figura 1. Complexitatea evoluției tribosistemului în cazul contactului liniar polimer armat cu fibre de sticlă-oțel

Influența reciprocă calitativă-cantitativă a parametrilor de intrare și ieșire pentru contactul linear uscat între oțel și polimerii compoziți armați cu fibre de sticlă

Tabelul 1.

Funcția de regresie între (T) , (μ) , (V_u) , (h_u) și sarcina normală (N)

Friction couple	v (cm/s)	Regression function	Correlation factor
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$T = 0.003 N^3 - 0.365 N^2 + 15.75 N$	$R^2 = 1$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$\mu = 61.548 \ln(N) - 73.884$	$R^2 = 0.9831$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$V_u = 0.0005 N^2 + 0.012 N$	$R^2 = 0.9991$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$h_u = 0.0007 N^2 + 0.1099 N$	$R^2 = 0.9977$

Putem face corelații între volumul de uzură (V_u), adâncimea de uzare (h_u), sarcina normală (N), coeficientul de frecare (μ), temperatura de contact (T).

$$T = \sum_{i=0}^2 a_i N^i; V_u = \sum_{i=0}^2 b_i N^i; h_u = \sum_{i=0}^2 c_i N^i \quad (13)$$

Ecuția dintre coeficientul de frecare μ și sarcina normală N este

$$\mu = A \ln N + B \quad (14)$$

unde a_i , b_i , c_i și A , B sunt determinați din funcțiile de regresie.

Din relația (13) obținem:

$$V_u = \frac{b_2}{a_2} T + \left(b_1 - \frac{b_2}{a_2} a_1 \right) N + c_0 - \frac{b_2}{a_2} a_0, \quad (15)$$

sau după substituirea lui N din (14) și înlocuirea în (15) avem

$$V_u = \frac{b_2}{a_2} T + \left(b_1 - \frac{b_2}{a_2} a_1 \right) \exp[(\mu - B)/A] + c_0 - \frac{b_2}{a_2} a_0, \quad (16)$$

Similar pentru h_u

$$h_u = \frac{c_2}{a_2} T + \left(c_1 - \frac{c_2}{a_2} a_1 \right) N + c_0 - \frac{c_2}{a_2} a_0, \quad (17)$$

$$V_u = \frac{c_2}{a_2} T + \left(c_1 - \frac{c_2}{a_2} a_1 \right) \exp[(\mu - B)/A] + c_0 - \frac{b_2}{a_2} a_0, \quad (18)$$

Putem exprima temperatura de contact în funcție de coeficientul de frecare μ :

$$T = \sum_{i=0}^2 a_i \exp[(\mu - B)i / A] \quad (19)$$

Se poate face și o interpretare grafică a rezultatelor experimentale figura 2[37].

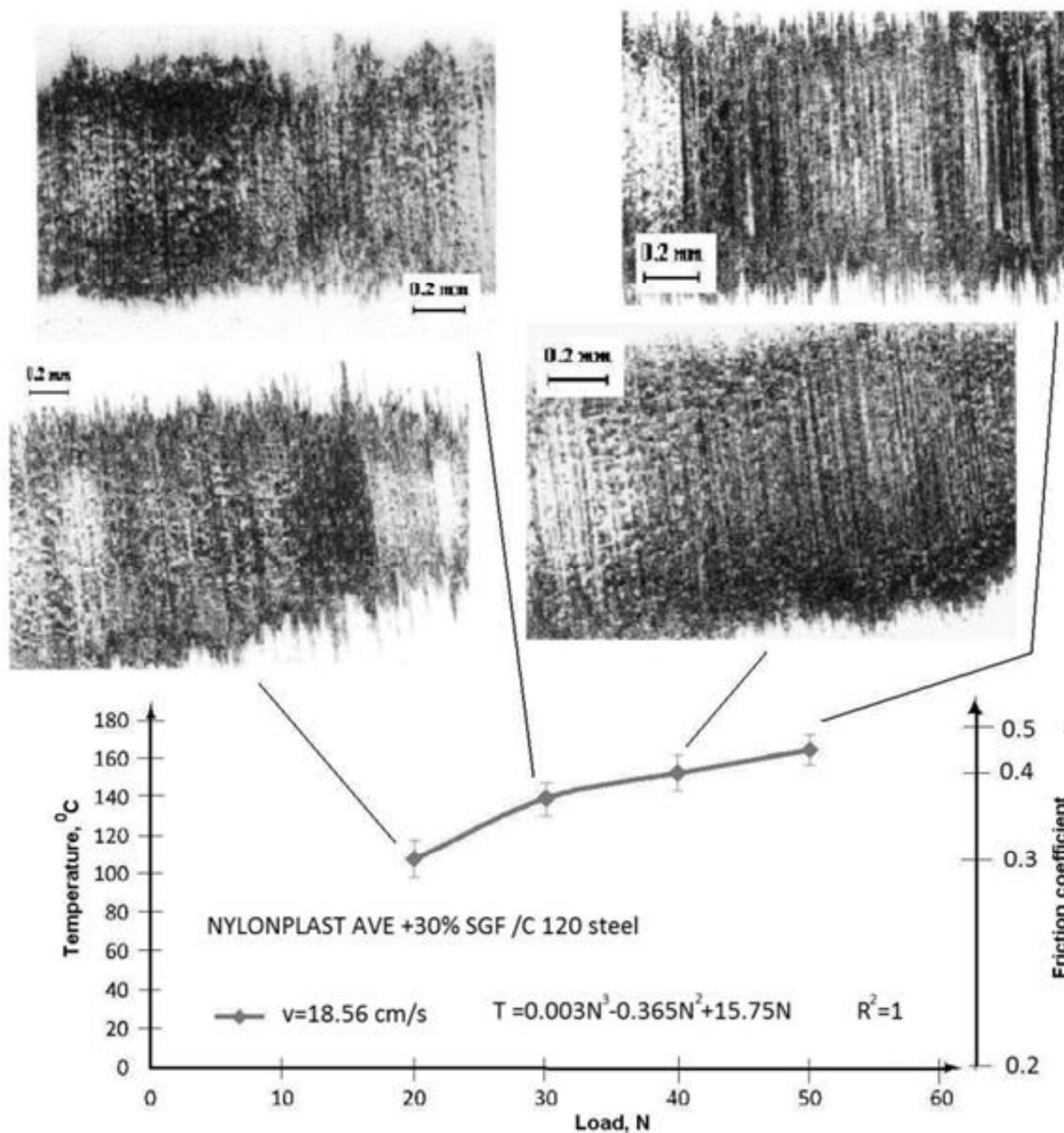


Figura 2. Evoluția uzării ca un fenomen în desfășurare continuă făcut pentru viteza de alunecare de 18.56 cm/s pentru Nylonplast AVE Polyamide + 30% SGF / C120 oțel.

Acest lucru se poate realiza pentru fiecare material termoplastic în parte [38].

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bowden F.P., Tabor D.:** *Friction and Lubrication*. Methuen & Co. London, 1967.
Jacobi H.R. *Neue Erkenntnisse über Gleitenshaften von Polyamiden, Kunststoffe*, 47 (5): 234-239 (1957).

Influența reciprocă calitativă-cantitativă a parametrilor de intrare și ieșire pentru contactul linear uscat între oțel și polimerii compoziți armați cu fibre de sticlă

- [2] **Bilik M.** *Parî trenia metal-plastmassa v mașinah i mehanizmah*, Izd. Mașinostroenie, Moskva, 1965.
- [3] **Clerico M.** *A Study of the Friction Wear of Nylon against Metal*, *Wear*, 13 (3): 183-197 (1969).
- [4] **Hruscirov M.M.** *Resistance of Metals to Wear by Abrasion, as related to Hardness*, *Proc. Conference on Lubrication and Wear*, Inst. Mech. Eng., London, 1957: 979-986.
- [5] **Hruscirov M.M., Babicev M.A.** *Resistance to Abrasive Wear of structurally Inhomogeneous Materials. Friction and Wear in Machinery*, part 2, ASME, New York, 1958, pp.5-23.
- [6] **Bely V.A., Sviridenok A.I. et.al.** *Friction and Wear in Polymer based Materials*, Pergamon Press, 1982.
- [7] **Bartenev G.M., Lavrentiev V.V.** *Trenie i iznos polimerov*, Izd. Himia, Leningrad, 1972.
- [8] **Watanabe M., Korusawa M.**, \
- [9] **Marsubara K.** *The Frictional Properties of Nylon*, *Wear* 32 (3): 185-191 (1968).
- [10] **Lancaster J.K.** *Lubrication of Carbon Fibre reinforced Polymers*, *Wear* 28(3): 315-352 (1972).
- [11] **Barlow D.A.** *Some Observations of the Friction Properties of Vinyl*, *Wear* 20(2): 151-157 (1972).
- [12] **West G.H., Senior J.M.** *Frictional Properties of Polyethylene*, *Wear* 19(1): 37-52 (1973).
- [13] **Bartenev G.M., Lavrentiev V.V., Konstantinova N.A.** *The actual Area and friction Properties of Elastomers under Frictional Contact with Solid Surfaces*, *Wear* 18(6): 439-448 (1971).
- [14] **Bowden F.P., Tabor D.** *The Friction and Lubrication of Solids*, part I-II, Clarendon Press, Oxford, 1964.
- [15] **Jost H.** *Zum Verschleissverhalten von Polyamid, Plaste und Kautschuk* 17(4): 266-270 (1970).
- [16] **Lancaster J.K., Evans D.C.** *Wear of Polymers in Treatise on Mat. Sci. And Technology*, Academic Press, 1979. 13-86.
- [17] **Shen C., Dumbleton J.H.** *The Friction and Wear Behavior of Polyoximethylene in Convection with Joint Replacement*, *Wear* 38(2): 291-303 (1978).
- [18] **N.K. Myshkin, M.I. Petrokovets, A.V. Kovalev**, *Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer*, *Tribology International* 38 (2005) 910-921.
- [19] **B.J. Briscoe**, *Friction and Wear of Polymer Composites*, Elsevier, Amsterdam, 1986, p. 25.
- [20] **K.L. Johnson, K. Kendall, A.D. Roberts**, *Surface energy and the contact of elastic solids*, *Proc. Roy. Soc. A* 324 (1971) 301.
- [21] **K.L. Johnson**, *Contacts Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, 468 pp.
- [22] **B.V. Deryagin, V.M. Muller, Yu.P. Toporov**, *Adhesive contact deformation of a single microelastic sphere*. *J. Colloid Interface Sci.* 53 (1975) 314
- [23] **K.L. Jonson, J.A. Greenwood**, *An adhesion map for the contact of elastic spheres*, *J. Colloid Interf. Sci.* 192 (1997) 326.

- [24] **L. Chang, K. Friedrich**, *Enhancement effect of nanoparticles on the sliding wear of the sliding wear of short fiber-reinforced polymer composites: A critical discussion of wear mechanisms*, *Tribology International* 43 (2010) 2355-2364.
- [25] **A.M. Hager, M. Davies**, *Advances in Composites Tribology: Short-fiber reinforced, high-temperature resistant polymers for a wide field of tribological applicants*, Elsevier Science Publishers, BV, 1993, pp. 104-157.
- [26] **H. Voss, K. Friedrich**, *On the wear behavior of short-fiber-reinforced PEEK composites*, *Wear* 116 (1987) 1-18.
- [27] **U.S. Tewari, J. Bijwe**, *Advances in Composites Tribology, Recent development in tribology of fiber reinforced composites with thermoplastic and thermosetting matrices*, Elsevier Science Publishers, BV, 1993, pp. 159-207.
- [28] **L. Chang, Z. Zhang**, Tribological properties of epoxy-nanocomposites: 2. *A combinative effect of short carbon fiber and nano-TiO₂*, *Wear* 206 (2006) 869-878.
- [29] **L. Chang, Z. Zhang, H. Zhang, A.K. Schlarb**, *On the Sliding wear of nanoparticles filled polyamide 66*, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 3188-3198.
- [30] **S.N. Kukureka, C.J. Hooke, M. Rao, P. Liao, Y.K. Chen**, *The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling-sliding contact*. *Tribology International* 32 (1999) 107-116.
- [31] **J. Wang, M. G. Bai Songhao, G. Shirong**, *Investigation of the influence of MoS₂ filler on the tribological properties of carbon fiber reinforced nylon 1010 composites*. *Wear* 255 (2003) 774-779.
- [32] **S. Bahadur**, *The development of transfer layers and their role in polymer tribology*. *Wear* 245 (2000) 92-99.
- [33] **Q.B. Guo, M.Z. Rong, G.L. Jia, K.T. Lau, M.Q. Zang**, *Sliding wear performance of nano SiO₂ / short carbon fibre / epoxy hybrid composites*. *Wear* 266 (2009) 658-665.
- [34] **Dorin Rus, L. Capitanu**, *Wear of polished steel surfaces in dry friction linear contact on polymer composites with glass fibres*. Proceedings of Serbiatrib'13, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May, 2013, pp. 58-64, ISBN 978-86-86663-98-6.
- [35] **RUS D., CAPITANU L., BADITA L.L.** *A qualitative correlation steel friction coefficient - wear in linear friction dry sliding contact to polymers with glass fibre*. *Friction*, Open Access Journal in Springer, Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s40544- 014-0038-2
- [36] **Dorin Rus, Lucian Capitanu** *Wear and Contact Temperature on Steel Surface in Linear Dry Friction Contact with Polymers with SGF*, *Journal of Mechanics Engineering and Automation* 5 (2015) 554-566 doi: 10.17265/2159-5275/2015.10.00437
- [37] **Rus Dorin, Lucian Capitanu, Liliana-Laura Badita** *Quantitative Correlation between Friction Coefficient and Steel Surface Wear in the Case of Linear Friction Dry Contact with Reinforced Polymers with Glass Fibres*, *Journal of Materials Science and Engineering A* 4 (5) (2014) 135-145
- [38] **Rus Dorin** *Tribological implication of linear dry contact GFR polymers*. ISBN-13: 978-3-639-76352-2 Scholar Press 2015-04-14.