

# DETERMINATION AND MEASUREMENT OF FRICTION COEFFICIENT ON COMPOSITE SLIDE BEARING

## ODREĐIVANJE I MJERENJE FAKTORA TRENJA KOD KOMPOZITNIH KLIZNIH LEŽAJEVA

KATANA, Branko; ALIĆ-KOSTEŠIĆ, Vesna & RAKIĆ, Hrvoje

**Abstract:** This work analyses the determination of friction coefficient between slide bearing and a stainless-steel shaft without lubrication. Nowadays a lot of machines use dry slide bearings with integrated lubrication such as PTFE (poly tetra flour ethylene). The key reasons that have contributed to the higher usage of dry slide bearings are that there is no need for added lubrication during the whole lifetime of the bearing, no need for servicing the bearing and no need for additional lubricants that could contribute to the environmental pollution. In this paper we will first explain the key elements in the construction of dry slide bearings.

**Key words:** wear, composite slide bearing, friction, lubrication

**Sažetak:** Ovaj rad analizira određivanje koeficijenta trenja između kliznog ležaja i rukavca od nehrđajućeg čelika bez podmazivanja. Danas se vrlo često na strojevima koristi suhi klizni ležaj s integriranim mazivom kao što je PTFE (politetrafluoretilen). Razlog za veću upotrebu suhog kliznog ležaja je da nema dodatnog podmazivanja tijekom cjelokupnog životnog vijeka ležaja, nema potrebe za servisiranjem i dodatnog maziva koje može zagaditi okoliš. U ovom radu će biti objašnjeni glavni čimbenici koje je potrebno znati pri konstruiranju suhog kliznog ležaja.

**Ključne riječi:** trošenje, kompozitni klizni ležaj, trenje, podmazivanje



**Authors' data:** Branko, Katana, dr. sc., mag. ing. mech., Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, branko.katana@tvz.hr; Alić-Kostešić, Vesna, dipl. ing. stroj., Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, valic-ko1@tvz.hr; Rakić, Hrvoje, dipl. ing. stroj., Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, hrvoje.rakic@tvz.hr

## 1. Uvod

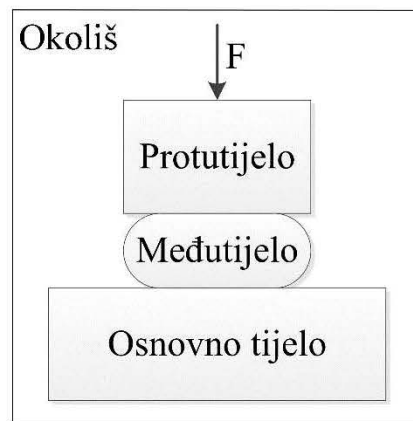
Kako bi odredili utjecajne parametre na faktor trenja u sustavu kompozitni klizni ležaj / rukavac potrebno je poznavati utjecajne parametre na ovaj tribološki sustav. Kao prvo u ovom radu opisati ćemo tribološki sustav klizni ležaj / rukavac, nakon toga opisati ćemo razne načine podmazivanja kako bi razumjeli prednosti i nedostatke podmazivanja. Vrlo često koristimo kruta maziva za podmazivanje iz tog razloga što njihovom primjenom smanjujemo servisne intervale, primjena krutih maziva opisana je u trećem dijelu ovog rada. Kada smo upoznati s tribološkim sustavom klizni ležaj / rukavac na kraju rada biti će opisano odrađivanje faktora trenja eksperimentalnom metodom te će biti kratko opisana statistička metoda kojom možemo lakše odrediti faktor trenja.

## 2. Uvod u tribološki sustav kompozitni klizni ležaj / rukavac

Definicija tribološkog sustava prema DIN 50320 [1] može se opisati kao transformacija raspoloživih ulaznih parametara odnosno mehaničkih veličina u izlazne veličine, pri čemu rad sustava prate određene smetnje i gubici.

Struktura tribološkog sustava prikazana je na slici 1 i obuhvaća sljedeće komponente:

1. Osnovno tijelo koje je uglavnom važniji element sa stajališta trošenja kao što je npr. klizna staza vodilice, klizni ležaj, valjni ležaj, itd.
2. Protutijelo je kod zatvorenih sustava usvojeni strojni dio kao npr. rukavac ili klizna prizma vodilice, a kod otvorenih sustava stalno promjenjivo tijelo kao npr. prešani otkivci.
3. Međutijelo ili treće tijelo nalazi se između osnovnog tijela i protutijela. Ono najčešće može biti sredstvo za podmazivanje ili neki drugi medij.
4. Okolina koja neposredno okružuje osnovno tijelo, protutijelo i međutijelo, najčešće je zrak s određenim udjelima kisika, ugljikova dioksida, vode te raznih lužina i kiselina.
5. Skup opterećenja koja djeluju na tijela u tribološkom sustavu prema DIN50320 [1]:
  - a) Sila  $F$  koja može biti promjenjiva po iznosu, vremenu i pravcu djelovanja.
  - b) Brzina  $v$  pri čemu gibanje može biti klizanje, kotrljanje, mirovanje, udar ili strujanje.
  - c) Temperatura koja utječe na promjenu mehaničkih svojstva materijala, viskozitet maziva i brzinu kemijskih reakcija.
  - d) Vrijeme trajanja opterećenja  $t_B$  tijekom kojeg se povećava gubitak materijala i masa produkta kemijskih reakcija.

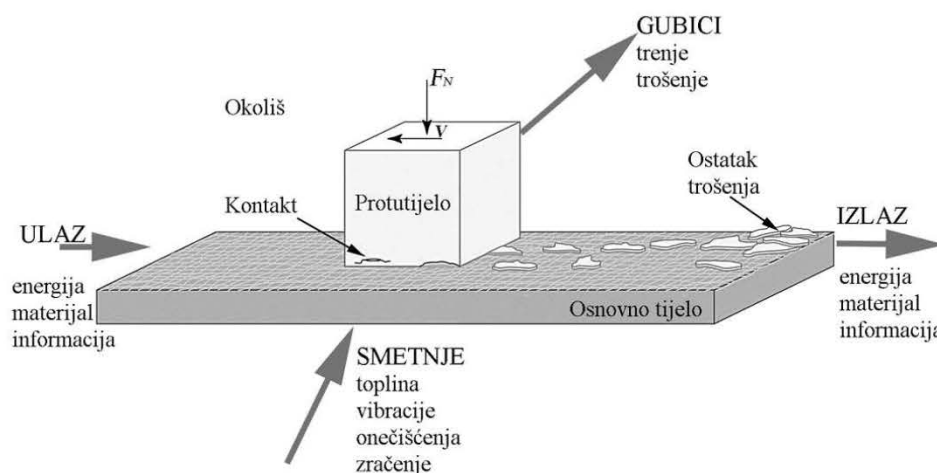


Slika 1. Struktura tribološkog sustava [1]

Detaljan opis tribološkog sustava kompozitni klizni ležaj/rukavac može se vidjeti na slici 2.

Klasifikacija tribološkog sustava *kompozitni klizni ležaj / rukavac* proizlazi iz toga da klizni ležaj mora zadovoljiti sljedeće uvjete:

- 1) Preuzimanje radijalne i / ili aksijalne sile.
- 2) Osigurati relativno pomicanje između kompozitnog kliznog ležaja i rukavca uz minimalno trenje i trošenje.
- 3) Osigurati funkciju vođenja i prigušenje vibracija.
- 4) Osigurati odvođenje topline nastale u području kontakta kliznog ležaja i rukavca.



Slika 2. Detaljan opis tribološkog sustava klizni ležaj / rukavac

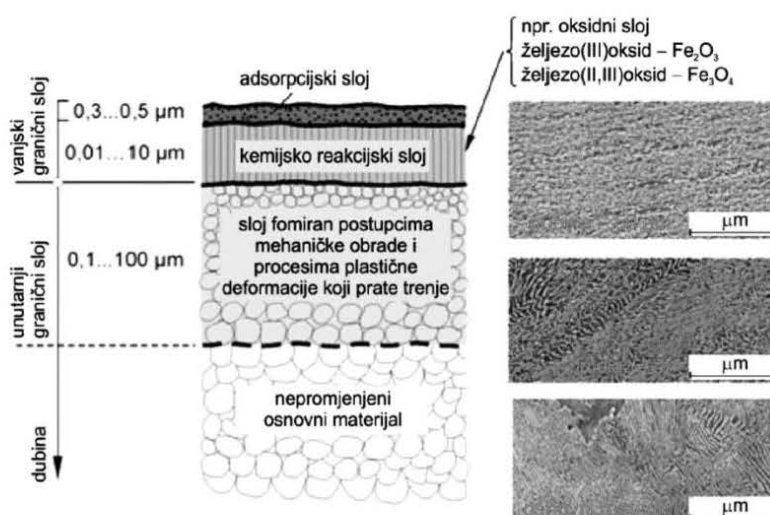
Struktura ležajnog materijala od velikog je značaja za geometrijsku postojanost ležaja pri djelovanju opterećenja na njega. Rukavac se za mnoge strojarske primjene izrađuje od čelika otpornog na koroziju ili kaljenog čelika. Poznato je da čelici otporni na koroziju zbog svoje strukture djeluju vrlo abrazivno na polimerne i kompozitne materijale [2], [3] kao i kaljeni čelici zbog otežanog uglačavanja. Naime,

zbog postupka kaljenja materijala dolazi do promjene u strukturi materijala te se vanjska hrapavost površine zbog povećane tvrdoće otežano uglača [3].

Kompozitni klizni ležajevi u strojarskim sustavima vrlo često nisu podmazivani uobičajenim sustavima za podmazivanje kao što su mineralna ili sintetička ulja. U slučaju kad nema podmazivanja međutijelo je okolišni zrak. Ako postoji sustav podmazivanja to je najčešće podmazivanje pomoću masti silikonske osnove s dodatkom politetrafluoretilena (PTFE). Drugi oblici podmazivanja mogu biti voda, razne paste te PTFE i molibden disulfid ( $\text{MoS}_2$ ) sprej.

U analizi triboloških sustava pored mehaničkih veličina trebaju se uzeti u obzir stvaranje topline uslijed kontakta ležaja i rukavca kao što se može vidjeti na slici 2 koja prikazuje detaljan opis tribološkog sustava u obliku ulaznih i izlaznih veličina. Naime, pri trenju i trošenju dolazi do pretvorbe mehaničke energije u toplinu što dovodi do porasta temperature strojnih dijelova nekog sustava. Povišenje temperature može manje ili više utjecati na kvalitetu rada ovisno za kakvu namjenu je stroj projektiran. Npr., može doći do smanjenja čvrstoće osnovnog tijela i protutijela ili do promjene viskoziteta maziva što dovodi do promjene debljine uljnog filma. Trenje se može definirati kao otpor uzajamnom gibanju tijela koja se dodiruju. Trošenje se manifestira kao odvajanje materijala s površine tijela koja se dodiruju i uzajamno gibaju, dok se podmazivanje može opisati kao unos sredstva između dodirnih površina tijela koja se uzajamno gibaju u cilju smanjenja trenja i trošenja. Istraživač Nguyen je pri testiranju PET (polietilentereftalat) s dodatkom PTFE-a na Timken ispitnom uređaju utvrdio da nije dolazilo do značajnije promjene mase ispitnih uzoraka pa se može zaključiti da je došlo do adhezijskog trošenja [4].

Adheziju se može objasniti kao pojavu kada tijela prijanjaju na mjestima dodira uslijed djelovanja među molekulskih sila, lokalne deformacije na mjestima dodira mijenjaju geometriju površine tijela, dok brazdanje nastaje prilikom gibanja tvrdih mikro neravnina koje razaraju mekše mikro neravnine suprotne podloge [1]. Tijekom izrade nekog strojarskog dijela, u našem slučaju rukavca, a nakon toga i njegovom uporabom u strojevima, uslijed triboloških opterećenja, promjena temperature i kemijski agresivnog djelovanja okoline, dolazi do promjene u građi i kemijskom sastavu površinskog sloja strojarskog dijela, kao što se može vidjeti na slici 3. Promjene materijala mogu biti izraženije, ako je strojarski dio u fazi izrade bio podvrgnut toplinskoj obradi. U tom slučaju površinski sloj jasno se razlikuje od osnovnog materijala. Prilikom izrade kompozitnog kliznog ležaja potrebno je voditi računa o odabiru odgovarajuće tehnologije obrade ležaja kako bi izbjegli moguća oštećenja matrice i / ili ojačala kompozita [5].



Slika 3. Struktura rukavca nakon obrada [2]

### 3. Podmazivanje

Mnogi polimerni materijali uz neke iznimke (npr. visoko molekularni polietilen (UHMWPE) imaju velik faktor trenja te se može zaključiti da imaju i veliki stupanj trošenja. Podmazivanje je stoga za smanjenje trenja polimernih materijala od velikog značaja. Cilj podmazivanja je smanjenje trenja i trošenja te ostalih popratnih pojava kao što je bubrenje ležajnog materijala. Tek preko podmazivanja u određenim slučajevima može se predvidjeti životni vijek nekog tarnog para. Mazivo treba uzeti u obzir kao dio konstrukcijskog elementa nekog tribološkog sustava koji se nalazi u funkciji međutijela nekog tarnog para. Zahtjevi za podmazivanje su sljedeći:

- veliko smanjenje faktora trenja,
- što kraće vrijeme potrebno za uhodavanje stroja u pogon,
- visoka otpornost na temperaturu i
- kemijska postojanost na polimere.

Podmazivanje polimera može se ostvariti kao:

- tradicionalno (klasično) podmazivanje,
- integrirano mazivo unutar polimernog materijala i
- prevlaka krutog maziva.

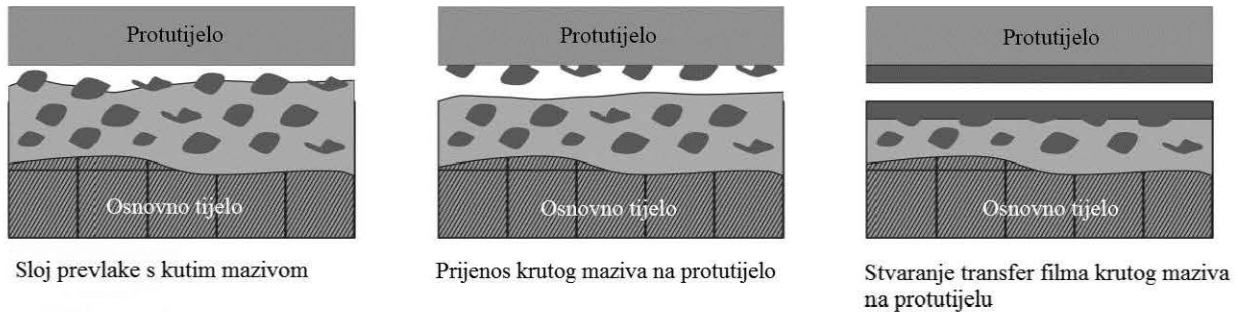
Kod klasičnog podmazivanja najčešći način je podmazivanje nekim konzistentnim mazivom (ulje ili mast) koje se nalazi između osnovnog tijela i protutijela. Važno je da se mazivo odabere prema radnim parametrima za polimerne materijale. Od posebnog je značaja da mazivo bude kemijski kompatibilno s polimernim materijalima [5].

Interakcija između polimera kao osnovnog tijela i maziva kao međutijela može u nekim slučajevima dovesti do loma, bubrenja ili otapanja polimernog materijala. Oštećenje polimernih materijala ne ovisi samo o trenju i mazivu već o cijelom tribološkom sustavu [6], [7].

Integrirana maziva nalaze se unutar strukture polimernog materijala. Mogući su dodaci polimerima u obliku krutih maziva kao npr. ugljik, PTFE, MoS<sub>2</sub> ili tekućih



maziva poput sintetičkih ulja. Pri početku kretanja između osnovnog tijela i protutijela ne postoji sloj maziva. Ova početna faza bez sloja maziva traje za vrijeme uhodavanja stroja te se u tom razdoblju može očekivati najveće trošenje. Nakon vremena potrebnog za uhodavanje, transfer film maziva će se formirati na protutijelu kao što se može vidjeti na slici 4 te će trošenje biti smanjeno [1], [4].



Slika 4. Stvaranje transfer filma krutog maziva na protutijelu

Prevlake čvrstih maziva vrlo se često upotrebljavaju kod podmazivanja polimernih materijala. Kod ovog tipa podmazivanja pri uhodavanju stroja, mazivo s površine osnovnog tijela prelazi na protutijelo te dolazi do postupnog smanjenja trenja. Tipovi maziva za ovu primjenu su najčešće DLC (engl. diamond like carbon) koji se koriste u medicinskoj industriji te PTFE i  $\text{MoS}_2$  sprejevi koji nakon sušenja ostaju na površini polimera. Ova se metoda također može vrlo efikasno koristiti za podmazivanje kompozitnih polimera. Danas se za ovu primjenu razvijaju posebna ulja sintetske osnove koje se postupkom raspršivanja nanose na podlogu.

Istraživač Domitran je ispitivao klizna svojstva PET materijala uz podmazivanje sintetskim mazivom u obliku laka [6]. Ispitivanja su pokazala značajno poboljšanje mehaničko triboloških svojstava PET materijala u odnosu na rad bez maziva.

#### 4. Svojstva krutih maziva

Faktor trenja PTFE-a je u vakuumu kao i u normalnoj atmosferi približno konstantan te je vrlo malen uz dobru kemijsku kompatibilnost na razne medije. Nedostatak PTFE-a je vrlo nizak kapacitet nošenja opterećenja. Također, mehanička svojstva ovog materijala značajno se smanjuju povećanjem radne temperature, a time i dopušteni kapacitet opterećenja. Grafit u prisutnosti vlage ili u nekom tekućem radnom mediju pokazuje vrlo dobra klizna svojstva, ali je neprimjeren je za upotrebu u vakuumu. Nedostatak grafita je da u nekim određenim radnim uvjetima može uzrokovati pojavu galvanske korozije [8], [9].

Molibden disulfid ( $\text{MoS}_2$ ) u odnosu na druga kruta maziva posjeduje vrlo visoki kapacitet nošenja opterećenja pri visokim radnim temperaturama uz dobra klizna svojstva, ali je neprikladan za upotrebu u vlažnim atmosferama. Također je poznato da može uzrokovati koroziju ako radna temperatura pređe  $350\text{ }^\circ\text{C}$ . Pri toj temperaturi  $\text{MoS}_2$  oksidira i stvara sulfatnu kiselinu. Korozija se može pojaviti i pri drugim radnim uvjetima. Zato je bitno poznavati primjenu određenih krutih maziva za određen tip radnih uvjeta. Nova vrsta krutog maziva je polarizirani grafit koji posjeduje dobra svojstva  $\text{MoS}_2$  i grafita vezano za dopušteno opterećenje,

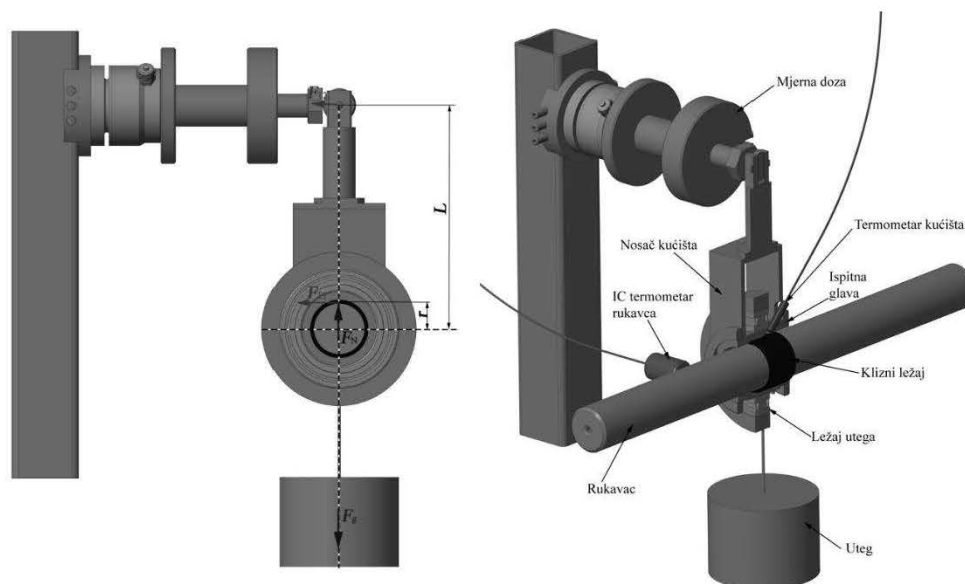
temperaturnu stabilnost te mazivost bez loših svojstava poput stvaranja korozije. Pri nanošenju na podlogu, prevlaka se otopi u organskom otapalu ili vodi. Otapalo određuje debljinu sloja prevlake te kvalitetu nanošenja na podlogu tj. osnovno ili protutijelo.

Kompozitni ležajni materijali polimerne i duromerne osnove najčešće posjeduju PTFE prevlaku zato što ovaj tip prevlake posjeduje mali faktor trenja i dobru kemijsku otpornost. Također, kod kompozitnih materijala postoje i prevlake od  $\text{MoS}_2$  i grafita. Kod prevlaka od  $\text{MoS}_2$  treba voditi računa o načinu njihove primjene. Istraživanja su pokazala da u tekućim radnim medijima poput slane vode dolazi do bubrenja kompozita s dodatkom  $\text{MoS}_2$  što dovodi do smanjenja zračnosti između ležaja i rukavca, a za posljedicu ima zaribavanje rukavca [10].

## 5. Određivanje faktora trenja

U ovom radu faktor trenja između duromernog kliznog ležaja i čeličnog rukavca dobiven je na ispitnom uređaju prema odgovarajućoj definiciji za izračun faktora trenja u skladu sa standardom DIN 50323-3 [16]. Faktor trenja biti će određen jednačinom (1). Sila koja djeluje na ležaj  $F_L$  jednaka je sili utega i ispitne glave u kojem se nalazi ležaj te djeluje u suprotnom smjeru u odnosu na kontaktnu površinu dodira kliznog ležaja i rukavca, kao što se vidi na slici 5. Sila trenja  $F_T$  djeluje okomito u odnosu na os normalne sile  $F_N$ .

$$\mu = \frac{F_T}{F_L} \quad (1)$$



Slika 5. Ispitni uređaj za klizne ležajeve

Faktor trenja  $\mu$  se može izračunati direktno u slučaju da se ne može izmjeriti normalna sila  $F_N$  koja djeluje na ležaj. U tom slučaju prema literaturi [1], [11] moramo izračunati nominalni faktor trenja  $\mu_{\text{nom}}$  prema jednačbi (2).

$$\mu_{nom} = \frac{F_T}{F_L} \quad (2)$$

Sila trenja  $F_T$  i sila opterećenja ležaja  $F_L$  može se kontinuirano mjeriti na ispitnom uređaju za klizne ležajeve. Prema literaturi [12], [13], [14], [15], [16] matematički je opisana veza između nominalnog faktora trenja te faktora trenja prema DIN 50323-3 koji se može vidjeti u jednadžbi (3).

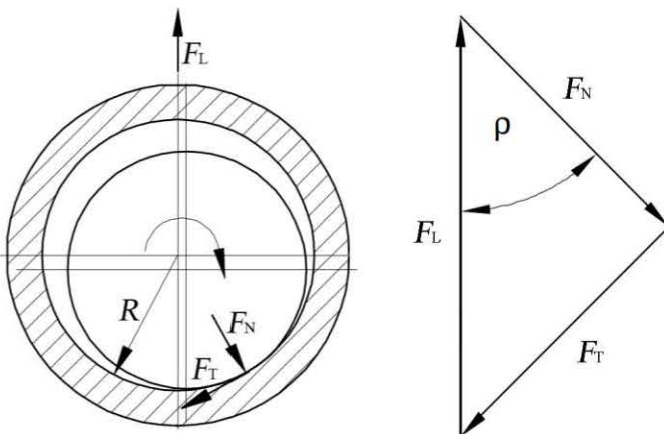
$$\mu = \frac{\mu_{nom}}{\sqrt{1 - \mu_{nom}^2}} \quad (3)$$

Daljnijim istraživanjima prema literaturi [14], [15], [16], [17], faktor trenja može se izračunati preko nominalnog faktora trenja pomoću jednadžbe (4).

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\mu_{nom}}\right)^2 - 1}} \quad (4)$$

Sila trenja između kompozitnog kliznog ležaja i rukavca označena je oznakom  $F_{T1}$ , a sila koja je preko momentne poluge prenesena na mjernu dozu označena je oznakom  $F_{T2}$  (Slika 6). Trenje se može izračunati pomoću jednadžbe (5). Važno je napomenuti da je normalna sila  $F_N$  jednaka sili opterećenja utega  $F_g$ .

$$\mu = \frac{F_{T2} \cdot L}{r} \cdot \frac{1}{F_N} \quad (5)$$



Slika 6. Djelovanje opterećenja na klizni ležaj i vektori sila

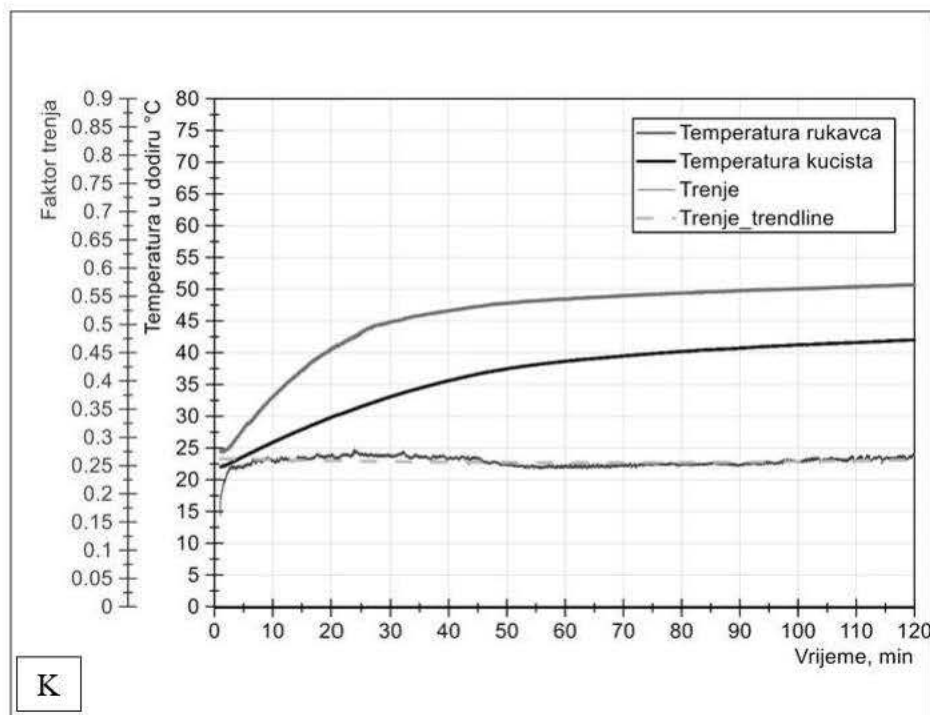
Kako bi odredili faktor trenja i grešku kod mjerenje potrebno je vidjeti utjecaj nezavisnih kategoričkih varijabli (faktora) ,a to su mazivo, sila opterećenja i dimenzija rukavca na zavisne varijable faktora trenja, temperaturu kućišta i temperaturu rukavca provedene su tri analize varijance (ANOVA) [18] za svaku zavisnu varijablu posebno. Svaki od kategoričkih faktora ima određeni broj nivoa. ANOVA [18] otkriva da li različiti nivoi jedne nezavisne varijable statistički značajno mijenjaju vrijednosti zavisne mjerene varijable. Može se zaključiti da



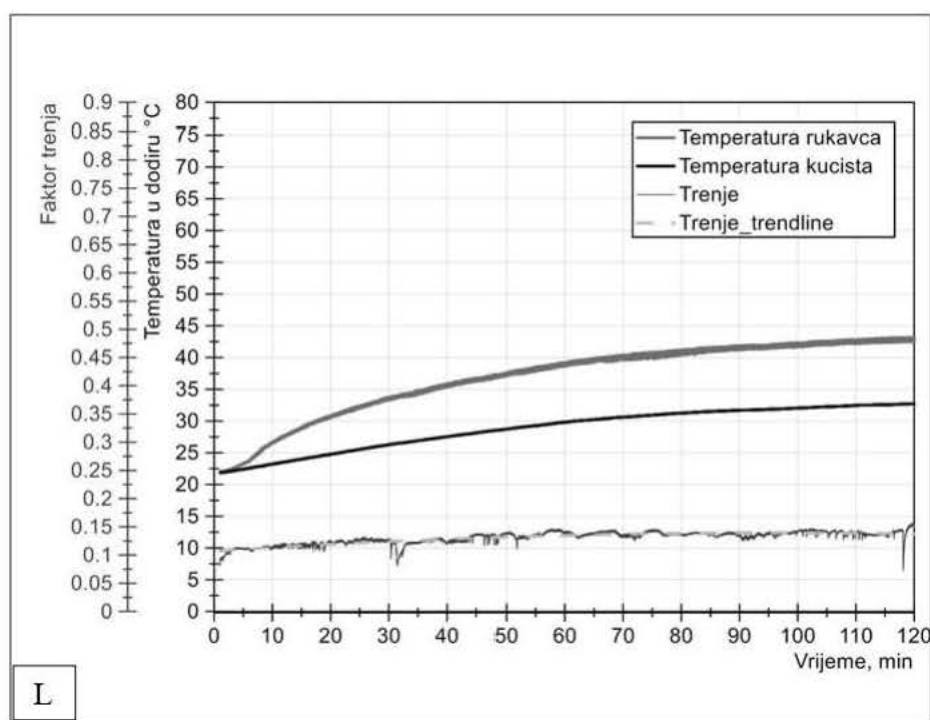
ANOVA otkriva ima li statistički značajne razlike u populacijskim prosjecima zavisne varijable za različite nivoe nezavisne varijable. Otkrivanje statistički značajnih razlika se provodi tzv. F-testom. Za velike vrijednosti F-testne statistike nulta hipoteza se odbacuje pa tada zaključujemo da ima statistički značajne razlike u populacijskim prosjecima.

Analizom varijance i F-testom u programskom paketu R za obradu statističkih podataka se može vidjeti da faktor trenja najviše ovisi o mazivu, na slici br. 7 prikazan je faktor trenja bez maziva, dok na slici br. 8 možemo vidjeti faktor trenja s PTFE mazivom.

Na slici br. 7 može se vidjeti da bez dodatka maziva (PTFE) faktor trenja varira između 0,22 do 0,25, također se može vidjeti da faktor trenja ima utjecaj na temperaturu kućišta ležaja koja iznosi oko 35 °C te rukavca 45 °C. U ondosu ba sustav s dodatkom PTFE maziva vidljivo je na slici br. 8 da faktor trenja iznosi 0,12 te da je temperatura kućišta je oko 25 °C i rukavca 37 °C.



Slika 7. Faktor trenja bez dodatka maziva (PTFE)



Slika 8. Faktor trenja s dodatkom maziva (PTFE)

## 6. Zaključak

U ovom radu opisan je tribološki sustav klizni ležaj/rukavac te definiran skup opterećenja na sustav i klasifikacija tribološkog sustava. Prilikom konstruiranja u praksi može se vidjeti da najčešća oštećenja nastaju upravo zbog nepoznavanja triboloških mehanizama u sustavu. Drugi dio ovog rada opisuje načine podmazivanja te njihovu ulogu u smanjenju faktora trenja kod sustava klizni ležaj/rukavac. Tehnologija proizvodnje i tehnološke obrade rukavca od velikog je značaja za životni vijek kliznog ležaja kao i transfer film krutog maziva koji popunjavaju pore rukavca u cilju smanjenja površinske hrapavosti što dovodi do smanjenja faktora trenja. Na kraju rada pomoću empirijskih formula opisan je izračun faktora trenja matematičkim i eksperimentalnim putem. Eksperimentalno određivanje faktora trenja vrlo je bitno kako bi validirali tribološki sustav klizni ležaj/rukavac. Trenje je kao pojava vrlo bitan faktor u određivanju životnog vijeka kliznog ležaja. Iz rezultata ispitivanja vidljivo je da je faktor trenja u sustavu s dodatkom maziva PTFE signifikantno manji te da se s vremenom značajno ne mijenja na više vrijednosti.

Za daljnja istraživanja bilo bi poželjno ispitati kako faktor trenja utječe na stvaranje topline u sustavu klizni ležaj/rukavac te kako utječe na trošenje ležajnog materijala.

## 7. Literatura

- [1] DIN 50320:1979
- [2] Steinhilper, W. & Sauer, B. (2005). *Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2*, 5. izdanje, Springer-Verlag, ISBN-10 3-540-29629-8, Berlin
- [3] Hinton, M. J.; Kaddour, A. S.; Soden, P. D. (2004). *Failure Criteria in Fibre*

*Reinforced Polymer Composites: The World-Wide Failure Exercise*, Elsevier Science, ISBN 978-0-0804-4475-8

- [4] Nguyen, T.D., Sukumaran, J., Pauw, J.D., & Baets, P.D. (2013). Tribological behaviour of polymer bearings under dry and water lubrication. *International Journal of Sustainable Construction and Design*, 4(2), DOI:10.21825/SCAD.V4I2.1048
- [5] Skorokhod, A. Z. & Kopytkov, V. V. (2012). Prediction of wear rate by friction of irradiated thermoplastic polymers in fluids, *Journal of Friction and Wear*, 33(4), 282-287, DOI: 10.3103/S1068366612040113
- [6] Domitran, Z.; Žeželj, D. & Katana, B. (2016). Influence of contact pressure and sliding speed on the temperature and coefficient of friction in sliding contact between two PET samples. *Tehnički vjesnik*, 23(2), 389-396. DOI: 10.17559/TV-20151124163215
- [7] Czichos, H. & Habig, K. H. (2010). *Tribologie-Handbuch: Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik*, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3-8348-0017-6, Weisbaden
- [8] Sheikh-Ahmad, J. Y. (2009). *Machining of polymer composites*. Springer, ISBN 978-0-3873-5539-9, New York
- [9] Domininghaus, H. (2008) *Kunststoffe*, Springer, ISBN 978-3-5407-2400-1, Berlin
- [10] Abdelbary, A. (2014). *Wear of polymers and composites*, Woodhead Publishing, 2014., ISBN 978-1-7824-2177-1
- [11] M. Opalic, Z. Domitran i B. Katana, Comparison of antifriction properties of polymer composites and bronze, *Technical Gazette*, svez. 4, br. 389-396 2014. ISSN 1330-3651 (Print)
- [12] Ando, M. & Sukumaran, J. (2011). Tribological behavior of composite-steel on rolling/sliding contacts for various loads. *International Journal Sustainable Construction & Design*. 2. 29-34. 10.21825/scad.v2i1.20432.
- [13] N.N., *Gleitlacke und Beschmirungen aus einer Hand*, Fuchs Lubritech, 1999.
- [14] Brostow, W.; Kovačević, V.; Vrsaljko, D. & Whitworth, J. (2010). Tribology of polymers and polymer-based composites, *Journal of Materials Education*, 32(5), 273-290
- [15] Cenna, A. A.; Dastoor, P.; Beehag, A., & Page, N. W. (2001). Effects of graphite particle addition upon the abrasive wear of polymer surfaces. *Journal of Materials Science*, 36(4), 891-900, ISSN 0022-2461
- [16] DIN 50323-3:1993
- [17] Wang, H.; Hu, Y.; Gao, F.; Zhao, D. & Zhang, D. (2015). Nominal friction coefficient in spread formulas based on lead rolling experiments, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(8), 2693-2700, ISSN 1003-6326
- [18] A. Rutherford, *Introducing ANOVA and ANCOVA*, London: SAGE Publications Ltd, 2001. ISBN 0 7619 5160 1