

ODREĐIVANJE STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KLIZANJA PARA GUMA-KERAMIKA KAO ZNAČAJNOG PARAMETRA ZAŠTITNE OBUĆE

Vladimir Blanuša¹ Dušan Gavanski² Vesna Petrović³

Rezime: Povrede nastale usled klizanja predstavljaju najčešći tip povreda koji se javlja u toku obavljanja različitih poslova. Posledice okliznuća na radnom mestu mogu biti u rasponu od veoma lakih do veoma teških povreda koje mogu da izazovu i trajni invaliditet. Gotovo je nemoguće pronaći čoveka koji se nikad nije okliznuo i pao, ili na poslu ili u toku obavljanja standardnih životnih aktivnosti. Obuća koju čovek ima na sebi može da spreči potencijalni nastanak klizanja i baš zbog toga potrebno je posvetiti posebnu pažnju prilikom izbora obuće (đona obuće). Veoma je važno da sam đon pored svog anatomskog aspekta ima dobru otpornost na klizanje, odnosno da je veliki koeficijent trenja između obuće i podloge. U radu su dati rezultati merenja statičkog koeficijenta trenja dve vrste gume na keramičkoj podlozi. Veoma je značajno pre same izrade đona obuće ispitati vrednosti statičkog koeficijenta trenja klizanja za različite tipove podloga i izvršiti odgovarajuće analize. Konkretni rezultati u ovom radu pokazali su da je veličina kontaktne površine imala veći uticaj na vrednost statičkog koeficijenta trenja klizanja od hrapavosti površine za ove uslove ispitivanja.

Ključne reči: zaštitna obuća, đon obuće, statički koeficijent trenja klizanja, opasnosti od klizanja

DETERMINING OF THE SLIDING FRICTION STATIC COEFFICIENT FOR THE RUBBER-CERAMIC PAIR AS A SIGNIFICANT SAFETY FOOTWEAR PARAMETER

Abstract: Slip injuries are the most common type of injuries that occur while performing various activities. The consequences of slipping at the workplace can range from very mild to very serious injuries that can cause a permanent disability. It is almost impossible to find a person who has never slipped and fallen, either at work or during common activities of daily living. The footwear one wears can prevent a potential occurrence of slipping, hence, it is necessary to pay special attention when selecting footwear (shoe soles). It is highly important that the sole, in addition to its anatomical aspect, has good slip resistance, which means there is a high coefficient of friction between the footwear and the surface. The paper presents measurement results referring to the static coefficient of friction for two types of rubber on a ceramic flooring. Prior to the production of shoe soles, it is crucial to examine values of the static coefficient of sliding friction for different types of surfaces and conduct appropriate analyses. The obtained results displayed herein show that for the applied test conditions the size of the contact surface has had a greater influence on the value of the static coefficient of sliding friction than the roughness of the surface.

Key words: safety footwear, shoe sole, static coefficient of sliding friction, slipping hazards

1. UVOD

Noge i stopala radnika svakodnevno su izložena mnogobrojnim opasnostima bilo da se ona nalaze u samom radnom okruženju ili u njegovoj blizini. Bez obzira da li se radi na gradilištu, u pogonu mašinske obrade rezanjem, u pogonu mašinske obrade plastičnom deformacijom, nekonvencijalnim postupcima obrade, elektroindustriji, magacinima ili da se obavljaju visokorizični poslovi poput spasilaca ili vatrogasaca na terenu neophodno je obezbediti adekvatnu zaštitu stopala. Prvo i osnovno što se traži od zaštitne obuće je zaštita od fizičkih i hemijskih opasnosti a nakon toga i ergonomske dizajn koji treba da obezbedi dobru funkcionalnost i udobnost obuće u toku njenog nošenja, parapropusnost, anatomske uloške, antibakterijske postavke koje smanjuju mogućnost nastajanja neprijatnih mirisa itd.[1]

¹Dr, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, Adresa: Školska 1, e-mail: blanusav@vtsns.edu.rs,

²Dr, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, Adresa: Školska 1, e-mail: gavanski@vtsns.edu.rs,

³Dr, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, Adresa: Školska 1, e-mail: petrovic.v@vtsns.edu.rs,

Noge i stopala se štite od hladnoće, udara, pada teških predmeta, uboda, vlage, plamena, toplotnog zračenja, čestica užarenog materijala, klizanja, ulja, masti i hemikalija. U sredstva za zaštitu nogu spadaju:

- zaštitne cipele;
- zaštitne čizme;
- zaštitne podkolenice;
- kolenice;
- druga zaštitna obuća koja zavisi od konkretnih opasnosti. [2,3]

Stopala i noge osiguravaju stabilnost i ravnotežu ljudskom telu i omogućavaju obavljanje radnji kao što su hodanje, trčanje, upravljanje mehanizacijom, igranje itd. Postoje brojna radna mesta na kojima se obavljaju poslovi koji mogu da dovedu do povrede nogu i stopala. Postoje dva osnovna razloga zašto ljudi povređuju noge i stopala. Prvi razlog jeste da su noge kao i ruke ekstremiteti tela koji po prirodi nisu adekvatno zaštićeni. Drugi razlog se oslanja na činjenicu da su noge i stopala veoma kompleksni delovi tela. Svako stopalo se sastoji od 26 kostiju, 30 zglobova, 90 mišića i preko 100 ligamenata [2].

Statistički posmatrano povrede delova nogu iznose oko 25% u odnosu na sve druge povrede. Od svih povreda koje se odnose na povrede nogu najčešće dolazi do povreda skočnog zgloba (oko 10%), kolena i podkolenice (oko 6,5%), stopala (oko 6%) i prstiju noge (oko 1,5%) [2].

U zavisnosti od vrste radnog mesta radnici koriste različitu obuću (radne čizme, radne cipele, kaljače, kloppe, nazuvke sa zaštitnom kapom itd.). Izgled zaštitnih cipela kao i njeni delovi prikazani su na slici 1.



Slika 1 – Izgled zaštitne cipele

Analiza povreda na radu ukazuje da od posledica ovih povreda na radu, čak oko 25% otpada na povrede usled klizanja. Pri tom nastaju povrede lomova i naprsnuća kostiju, uganuća zglobova, pada oštih i teških predmeta na nogu kao i ubadanja na oštre predmete što može rezultirati sa lakšim i težim povredama [3]. Povrede usled klizanja, pored toga što predstavljaju dominantan način nastanka povreda, javljaju se u različitim granama industrije [4,5].

Baš iz ovog razloga jedan od bitnijih zahteva obuće je da obezbedi đon koji će smanjiti ili u potpunosti sprečiti mogućnost nastanka klizanja između obuće i podloge po kojoj se radnik kreće. Sam proces proizvodnje u različitim granama industrije dovodi do toga da se radnici u toku svog rada kreću po betonu, pločicama, parketu, laminatu, brodskim podovima, metalnim površinama, tepisima, gumenim protivkliznim površinama itd. pri čemu se zahteva da se što je moguće više poveća vrednost statičkog koeficijenta trenja klizanja (μ) između đona i podloge. Sam đon obuće u zavisnosti od dela na obući izrađen je sa različitim hrapavostima (šarama na đonu). Šare na đonu su nekada posebno dizajnirane da utiču na neku od performansi obuće, npr. protivkliznost. Đonovi, u zavisnosti od namene mogu biti jednoslojni ili višeslojni i proizvode se od različitih materijala.

Materijali od kojih se izrađuju đonovi najčešće su[1]:

- PU-Poliuretan je polimerni sintetički materijal sastavljen od hidrokarbida. PU ima dobre termičke osobine, dobru otpornost na abraziju, habanje, na udarce, agresivne sredine, lagan je, izdržljiv i elastičan. Đonovi mogu biti od jednoslojnog, dvoslojnog ili troslojnog poliuretana.
- PU/PU-Poliuretan dvostruke gustine podrazumeva da je središnji deo đona napravljen od mekšeg i penastijeg materijala za poboljšanu udobnost, a spoljašnji deo đona je napravljen od tvrdog i gušćeg PU za poboljšanu izdržljivost i sigurnost. U ovoj varijanti je otporan na toplotu do 200 °C, ulja i naftu, nisko koncentrovane kiseline, alkalije i rastvarače.
- TPU-Termoplastični uretan je termički obrađen poliuretan. Ovako obrađen postaje i ujedno mekši i mnogo izdržljiviji na abraziju i pucanje. Takođe se mnogo bolje ponaša na ekstremno niskim i visokim temperaturama. Od njega se prave visoko kvalitetni đonovi.
- R-Guma koje se koristi kao materijal za đonove i poznatiji je u stvari kao vulkanizovani kaučuk, dakle prirodan materijal za razliku od PU koji je sintetički. Tvrdi je od PU, ali zato značajno otporniji na visoke temperature. Specijalnom obradom postaje otporan na kratkotrajni kontakt sa površinama temperature do 300 °C i dobija oznaku HRO.
- N- Nitrilna guma je sintetički kopolimer acrilonitrilna i butadiena. Koristi se za đonove gde je potrebno znatno veća otpornost na naftu u ulja. Takođe je i značajno otporniji na kiseline od običnog gumenog đona ali ima slabiju fleksibilnost i izdržljivost.
- VR-Vulkanizovana guma se dobija vulkanizacijom, koja je hemijski proces pretvaranja gume ili srodnih polimera u mnogo izdržljivije materijale. Ovaj tipa đona karakteriše povišena otpornost na toplotu i bolja elektroizolaciona svojstva. Uglavnom se koriste za električarske čizme.
- RPU-Kombinacija gume i poliuretana podrazumeva da se središnji deo đona izradi od PU, a spoljašnji od gume čime se postiže izuzetna udobnost i izdržljivost đona sa relativno malom težinom istog.
- PVC-Polivinil hlorid je meka, fleksibilna plastika sa širokim poljem upotrebe koja se proizvodi polimerizacijom vinil hlorida. PVC je voodootporan polimer otporan na minerale, biljna ulja i masti, životinjske nus proizvode, dezinficijense i otpornost na razne hemikalije.
- EVA-Etil vinil acetat je lagan, penast materijal čije se osobine menjaju u zavisnosti od količine vinil acetata. Proizvodi od EVA su jaki, otporni na udare i na mehaničku abraziju, hemijski su stabilni i imaju visoku otpornost na toplotu (od -40°C do +160 °C).

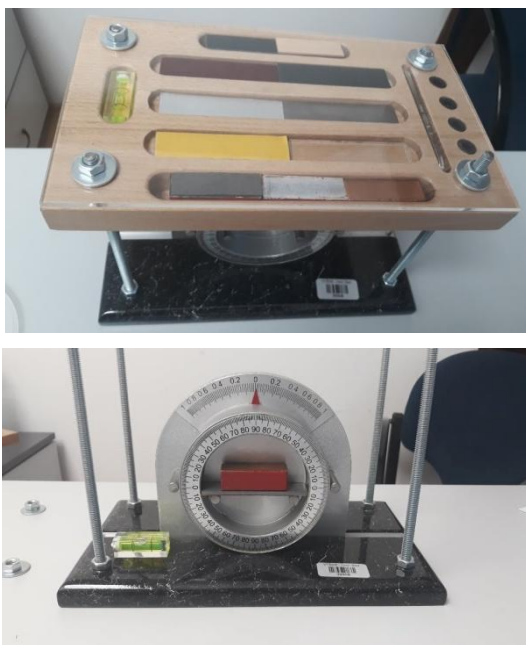
2. UREĐAJ ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA TRENJA KLIZANJA

Uređaj koji je korišćen za merenje određuje koeficijent trenja klizanja po metodi strme ravni i sastavljen je od postolja, dela za merenje i magacina sa uzorcima za merenje [6,7]. U magacinu se nalazi komplet od 10 uzoraka podloge i 10 uzoraka tega koji klizi po podlozi. Vrednost nominalnog opterećenja iznosi 1 N. Merni opseg vrednosti koeficijenta trenja iznosi od 0,05 do 1 i očitava se analogno na uređaju. Sama vrednost koeficijenta trenja klizanja se može odrediti kao tangens ugla za trenutak početka klizanja koje se javlja u kontaktnom tribološkom paru ili se vrednost koeficijenta trenja direktno očitava na skali uređaja. Uređaj pruža mogućnost da se izrade elementi kontaktnih parova od drugih materijala koji se ne nalaze u setu što uređaju daje veću funkcionalnost u određivanju koeficijenta trenja za različite vrste materijala i različite hrapavosti obrađenih površina u

uslovima sa i bez podmazivanja. Uređaj za određivanje koeficijenta trenja (tribometar) prikazan je na slici 2.

Pre eksperimentalnih merenja potrebno je izvršiti nivelaciju uređaja na način da se na postolje uređaja postavi libela i da se uz pomoć 4 vijka vrši nivelisanje uređaja i to prvo u jednoj ravni a zatim i u drugoj. Iz praktičnih razloga preporučuje se da se nivelacija izvrši u približno srednjem položaju kotrljajnog diska u odnosu na njegov granični levi i desni položaj.

Nakon izvršene pripreme uređaja vrši se izbor uzoraka, i njihova priprema. Najpre se postavlja prvi kontaktni tribološki par-podloga od željenog materijala tako da nalegne na obe čivije uređaja, a zatim se na njega postavlja drugi kontaktni tribološki par-uzorak opet od željenog materijala. Polazno merno mesto je naleganje drugog kontaktnog tribološkog para po prvom kontaktnom tribološkom paru i graničenje na čeonom zidu obrtnog diska na levoj ili desnoj unutrašnjoj strani izvodnice koja se nalazi na udubljenju kotrljajnog diska (slika 3).



Slika 2 - Uređaj za merenje koeficijenta trenja klizanja (tribometar) [6,7]

Pre izvođenja postupka merenje koeficijenta trenja potrebno je brižljivo pripremiti uzorke, odnosno dobro ih očistiti, a neke čak (metalne) i prebrisati nauljenom a zatim suvom krpom kako bi se očistile nečistoće. Ako se želi meriti koeficijent trenja klizanja u uslovima sa podmazivanjem potrebno je nakon čišćenja na kontaktne tribološke parove naneti tanak sloj sredstva za podmazivanje.

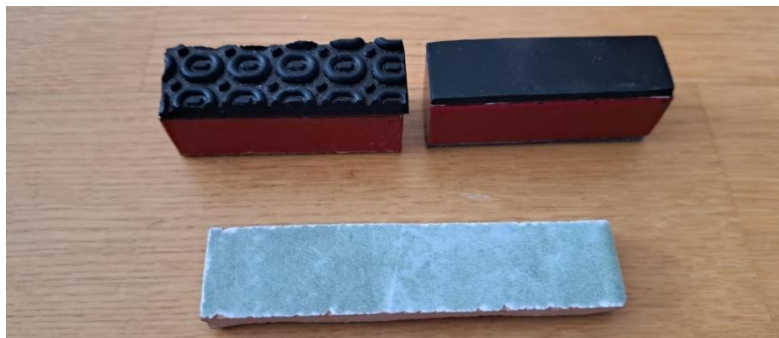


Slika 3 - Polazno merno mesto

Nakon izvršene pripreme za merenje vrši se zakretanje kose ravni laganim pomeranjem nosača kotrljajnog diska u vrednosti do nekoliko stepeni. Očitavanje vrednosti koeficijenta vrši se za trenutak kad je gornji kontaktni tribološki par (teg) uzorak krenuo da klizi i to na gornjoj skali od 0 do 1, ili očitavanjem ugla na kružnoj skali i izračunavanjem njegovog tangensa što predstavlja vrednost koeficijenta trenja.

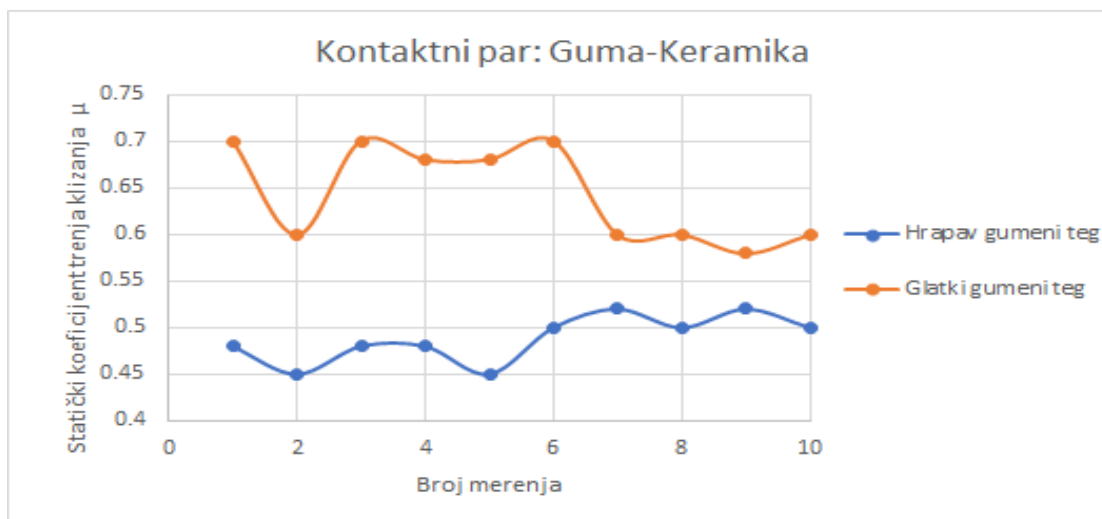
3. REZULTATI EKSPERIMENTALNOG ISPITIVANJA STATIČKOG KOEFICIJENTA TRENJA KLIZANJAIZMEĐU GUME I KERAMIKE

Eksperimentalno ispitivanje statičkog koeficijenta trenja klizanja izvršeno je za dva tipa gume koja su korišćena kao tegovi i keramičke pločice koja je korišćena kao podloga. Konkretno se najveći broj povreda usled klizanja događa baš na mestima gde čovek hoda po keramičkoj podlozi koja je definitivno veoma klizava. Statički koeficijent trenja klizanja μ značajno zavisi od hrapavosti površina koje su u kontaktu, vrste gume, nečistoća na kontaktnim površinama itd. Baš iz tog razloga uzeta su dva tipa gume od kojih je jedan tip sa skroz glatkom površinom dok drugi tip na sebi ima šare. Izgled tegića i podloge korišćenih za potrebe eksperimentalnog ispitivanja prikazani su na slici 4.



Slika 4 - Izgled tegića i keramičke podloge korišćenih za eksperimentalno ispitivanje

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja prikazani su na slici 5. Za sama eksperimentalna ispitivanja uslovi eksperimenta su takvi da je temperatura okoline (ambijentalna temperatura) iznosila 22°C, pri čemu su kontaktne površine gume i keramike bile čiste i suve. Starost uzoraka od gume je oko 3 godine, dok je starost keramičkih uzoraka znatno veća (oko 10 godina) međutim ona nema nikakav uticaj na rezultate ispitivanja za razliku od gume čija starost svakako ima utiuticaj na vrednost statičkog koeficijenta trenja klizanja.



Slika 5- Rezultati eksperimentalnog ispitivanja za kontaktne parove Guma-Keramika

Na osnovu rezutata prikazanih na prethodnoj slici može se zaključiti da je vrednost statičkog koeficijenta trenja klizanja znatno manja za kontaktни пар Glatka guma-Keramička podloga zbog Hercove teorije kontakta i znatno veće kontaktne površine pri idealnim uslovima trenja. Da su površine u kontaktu bile vlažne i prljave rezultati eksperimenta bi svakako bili drugačiji. Baš iz tog razloga donovi obuće se ipak rade sa različitim tipovima šara koji u kontaktu sa hrapavijim površinama imaju bolju otpornost na klizanje. Takođe se može izračunati srednja vrednost statičkog koeficijenta trenja klizanja za 10 uzoraka merenja pri čemu se dobija da je za slučaj kontaktnog para

hrapava gumena površina i keramika statički koeficijent trenja iznosio $\mu=0,64$, dok za slučaj glatke gumene površine i keramike statički koeficijent trenja klizanja iznosi $\mu=0,49$. Na osnovu rezultata merenja izračunata je standardna devijacija koja je za slučaj kontaktnog para hrapava gumena površina i keramika iznosila 0,025, dok je za slučaj kontaktnog para glatke gumene površine i keramike iznosila 0,052.

4. ZAKLJUČAK

Vrste materijala od kojih su izrađeni donovi radne obuće imaju veoma značajan uticaj na otpornost obuće na klizanje, međutim na vrednost klizanja značajan uticaj imaju i šare na donu obuće. Naravno da nije dovoljno napraviti don obuće koji će biti otporan na klizanje na različitim podlogama već je potrebno da obuća ima zavidan ergonomski aspekt, da je lagana i udobna, da je u određenim slučajevima dovoljno topla i otporna na vlagu i vodu. Pored svega navedenog zaštitna obuća treba da zadovolji i ekonomske kriterijume odnosno da je na tržištu konkurentna sa cenom i kvalitetom.

Na razvoju zaštitne obuće zahteva se konstantan rad kako u pogledu donova tako i u pogledu anatomskih uložaka, materijala gornjišta obuće, zaštitnih kapa, ojačanja petnog dela itd. Svakako da su činjenice koje govore o velikom broju povreda nastalih usled klizanja glavni podstrekač za stalno usavršavanje postojeće i razvoj novih modela obuće. Rezultati dobijeni u ovom radu pokazali su da se bez velikog broja eksperimentalnih ispitivanja sa različitim uslovima ispitivanja i različitim tipovima kontaktnih parova ne mogu donositi nikakvi zaključci o ponašanju donova obuće u kontaktu sa podlogom.

5. LITERATURA

- [1] Lična zaštitna oprema, katalog firme ALBO, 2017.
- [2] Knežiček, Ž., Adilović, A., Regent, A.: Lična i kolektivna zaštitna oprema, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2015.
- [3] Vučinić, J., Vučinić, Z.: Osobna zaštitna sredstva i oprema, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2011.
- [4] Swaen, G., Burns, J. C., Collins, J., Bodner, M. K., Dizor, F. J., Craun, A. B., E. M. Bonner, M. E.: Slips, trips and falls at a chemical manufacturing company, Occupational medicine, 64, pp. 120-125, 2014.
- [5] Amandus, H., Bell, J., Tiesman, H., Biddle, E.: The Epidemiology of Slips, Trips and Falls in a Helicopter Manufacturing Plant, Human Factors, Vol. 54, No. 3, pp. 387-395, 2012.
- [6] Blanuša, V., Sovilj Nikić, I., Sovilj, B., Sovilj Nikić, S.: Analiza eksperimentalno određenih koeficijenata trenja klizanja materijala triboelemenata, Infoteh, Jahorina, str. 103-108, 2022.
- [7] Blanuša, V., Stanković, N., Gavanski, D.: Uticaj koeficijenta trenja klizanja na mogućnost nastanka povreda na radu usled klizanja, 16. Konferencija sa međunarodnim učešćem – Rizik i bezbednosni inženjering, Vrnjačka Banja, str. 101-106, 2021.
- [8] Blanuša, V., Sovilj-Nikić S., Sovilj, B., Kandevara, M., Kalitchin, ZH., Gavanski, D.: Influence of sliding friction coefficient on possibility of injuries in the work environment, Journal of Environmental Protection and Ecology 23, No. 8, pp. 3291-3302, 2022.