

B. Mijović, N. Mustapić, N. Peček*

ISPITIVANJE PROTUSKLIZNIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA PODNIH OBLOGA

UDK 692.5.012
PRIMLJENO: 17.4.2008.
PRIHVAĆENO: 25.4.2008.

SAŽETAK: Poskliznuća i padovi u ravnini vrlo su česti uzroci nesreća na radnom mjestu. U radu su istraživana osnovna načela pomoću kojih se određuje vrijednost otpora poskliznuću ili protusklizne karakteristike materijala podne obloge, zatim čimbenici koji utječu na načine hodanja čovjeka. Svakoj površini namijenjenoj za kretanje ljudi moguće je odrediti vrijednost otpora poskliznuću ili protusklizne karakteristike materijala podne obloge u suhom i mokrom stanju, i to u laboratorijskim uvjetima i/ili pomoću terenskih mjerenja. Određivanje vrijednosti otpora poskliznuću obavlja se odgovarajućim mjernim instrumentima. Predlaže se klatno kao mjerni instrument. Pomoću tako izmjerenih vrijednosti određuje se vjerojatnost poskliznuća za mjerenu podnu oblogu. Predloženi su kriteriji sigurnosti pomoću kojih se procjenjuje vjerojatnost poskliznuća materijala podne obloge. Predlaže se da se svi materijali podnih obloga prvo ispituju u laboratorijskim uvjetima, kako bi se još u fazi projektiranja radnih prostorija i prostora obratila pozornost na smanjivanje opasnosti od poskliznuća kao mjere zaštite na radu. Zbog promjenjivih radnih uvjeta na radnom mjestu i okolišu koji su različiti od laboratorijskih uvjeta, pri kojima se mjere svojstva protuskliznosti novih materijala podnih obloga, nužno je nakon ugradnje podne obloge provesti ispitivanja u realnim uvjetima okruženja radnog mjesta. Pri tome se preporučuje provedba ispitivanja materijala podnih obloga kako u suhom, tako i u mokrom stanju.

Ključne riječi: koeficijent trenja, vrijednost otpora poskliznuću ili protusklizna karakteristika, laboratorijsko mjerenje, terensko mjerenje

UVOD

Opasnost od poskliznuća ubraja se u kategoriju mehaničkih opasnosti, podskupina opasnosti pri kretanju na radu, točnije opasnost od padova u razini. Opsežna studija provedena osamdesetih godina u SAD-u pokazala je da je od obuhvaćenih 83.000 nesreća na radu 12% posljedica poskliznuća i padova u ravnini (*Stranberg i sur., 1981.*). Podaci objavljeni u Njemačkoj upućuju,

također, na zaključak da se nesreće uzrokovane padovima u ravnini ubrajaju među najučestalije uzroke ozljeda pri radu (*Hoffmann i sur., 2003.*). Vrlo slični su i noviji podaci zabilježeni i u SAD-u (*Courtney i sur., 2001.*). Stoga se nameće zaključak da je opasnost od padova u razini podcijenjena, te da joj se ubuduće treba posvetiti puno veća pozornost, pogotovo procjeni protuskliznih karakteristika materijala podnih obloga. Do ozljede radnika može doći i u slučaju kada nakon poskliznuća nije došlo do pada u ravnini (*Chang i sur., 2003.*).

Prema godišnjim izvještajima Državnog inspektorata Republike Hrvatske, jedan od vrlo čestih uzroka teškog ozljeđivanja radnika na

*Prof. dr. sc. Budimir Mijović, Tekstilno-tehnološki fakultet, Baruna Filipovića 30, 10000 Zagreb, mr. sc. Nenad Mustapić, Veleučilište u Karlovcu, Ivana Meštrovića 10, 47000 Karlovac, Nataša Peček, dipl. ing., Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, 10000 Zagreb.

radu je neispravnost, skliskost ili zakrčenost prolaza i površina s kojih se obavlja rad (*Pap i sur., 2005.*). Također, prema načinu nastanka ozljede na radu svake godine najveći broj radnika strada pri padovima (s visine, u dubinu i na istoj ravnini). Osim općeg zahtjeva da sve prostorije i prostori u kojima ljudi rade moraju biti sigurni za rad, zakonska regulativa zahtijeva da se pod može staviti u upotrebu samo ako se po poznatim metodama ispitivanja prethodno ustvrdi da u suhom stanju jamči sigurno hodanje prema Pravilniku o zaštiti na radu za radne i pomoćne prostorije i prostore.

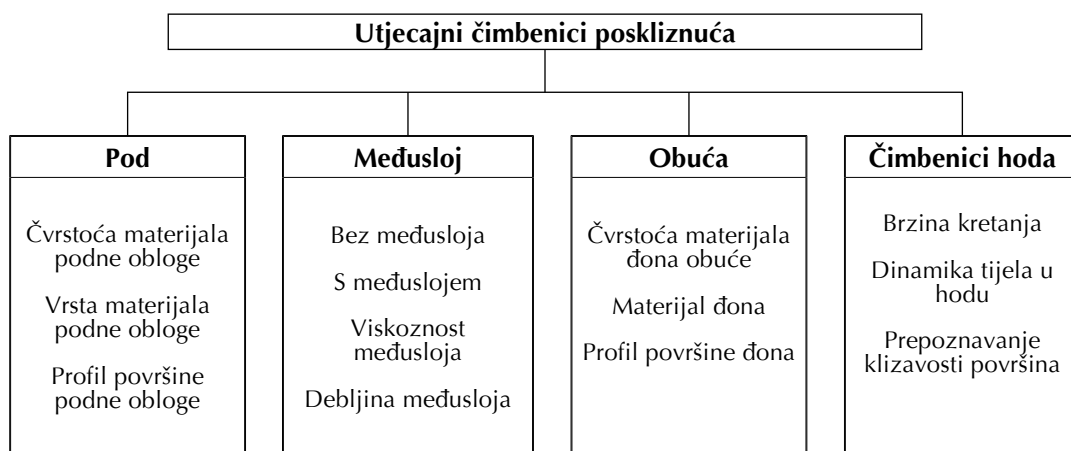
TEORETSKI DIO

Pri određivanju vrijednosti otpora poskliznuću ključno je poznavati i uzimati u obzir niz čimbenika. Nakon izmjerenih vrijednosti potrebno je prihvatiti kriterije pomoću kojih se može s dovoljno sigurnosti ustvrditi sigurnost podnih obloga s obzirom na vjerojatnost poskliznuća u ravnini za različite uvjete podne obloge.

nika, na poskliznuće još utječu čimbenici hoda te eventualno postojanje međusloja između ove dvije površine (slika 1). Dakle, na poskliznuće, te na eventualni pad u ravnini kao posljedica, utječu četiri osnovna fizikalna čimbenika:

1. vrsta i čvrstoća materijala podne obloge te profil površine podne obloge (kontrolirani parametar)
2. vrsta i čvrstoća materijala đona obuće te profil površine materijala đona obuće (općenito nekontrolirani parametar, osim na radnom mjestu)
3. postojanje kontaminacijskog sloja između površine gornjeg sloja podne obloge i površine đona obuće (kontrolirani parametar)
4. dinamika tijela u hodu, tj. način hoda čovjeka (nekontrolirani parametar).

Hodanje je način pokretanja tijela u kojem se težina tijela prenosi s desne na lijevu nogu (slika 2). Kontakt tijela s podlogom pri hodanju zbiva se u 4 različite faze:



Slika 1. Shema utjecajnih čimbenika poskliznuća

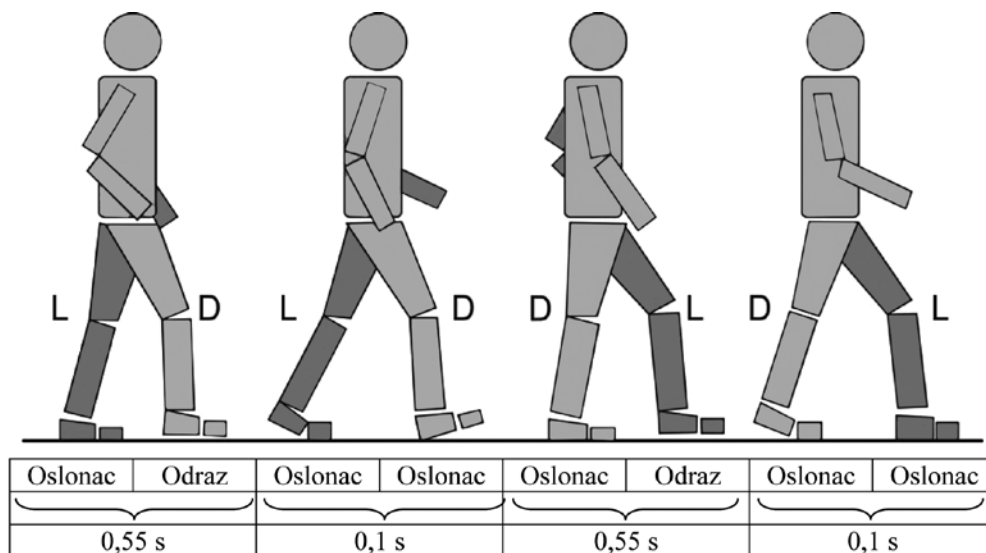
Figure 1. Factors affecting slip

Pri razmatranju otpora poskliznuću ključno je uvidjeti da se ovdje u interakciji nalaze dvije različite površine: površina gornjeg sloja podne obloge i površina đona obuće osobe koja hoda po podnoj oblozi. Osim ova dva značajna čimbe-

1. Udar petom - početni udar obuće na površinu u kojem je samo zadnji rub pete u kontaktu s površinom za hodanje.
2. Držanje tijela - točka u kojoj taban postaje ravan s površinom za hodanje.

3. Podizanje noge - prednja točka tabana je u dodiru s površinom za hodanje i gura se prema naprijed.
4. Lebdenje - kada se noga giba naprijed, odvojena je od podloge.

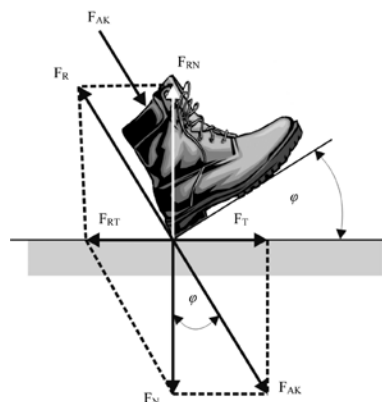
poskliznuću mogu se mjeriti uređajima na direktan i indirektan način. Time se mjeri kinematički koeficijent trenja između materijala podne obloge i materijala vrha pete cipele. Ispitivanjima je utvrđeno da najveća vrijednost kinematičkog ko-



Slika 2. Faze ljudskog hoda
Figure 2. Phases in human walk

Do pojave poskliznuća i padova u ravnini dolazi u fazi hoda kada nastane udar petom o materijal podne obloge. U toj točki udara petom tjelesna težina se prenosi od stojne noge na nogu koja je trenutno u dodiru s površinom podne obloge preko ruba pete cipele. Dakle, u fazi hoda, kad peta udara o materijal podloge, materijal đona obuće i materijal podne obloge su u dodiru, a na mjestu dodira javlja se ukupna sila F_{AK} , koja ima svoju tangencijalnu komponentu i normalnu komponentu F_T , kako je prikazano na slici 3. Kao reakcija podloge javlja se sila reakcije podloge F_R koja se također može rastaviti na svoju normalnu komponentu F_{RN} i silu trenja F_{RT} . Odnos sila F_T/F_N naziva se indeks zahtjevanog otpora poskliznuću, dok se odnos sila F_{RT}/F_{RN} naziva indeks raspoloživog otpora poskliznuću (Rhodes i sur., 1988., Stranberg, 1988.). Ako je vrijednost indeksa zahtjevanog otpora poskliznuću veća od vrijednosti indeksa raspoloživog otpora poskliznuću, dolazi do poskliznuća i obrnuto. Vrijednosti indeksa raspoloživog otpora

eficijenta trenja, kod kojeg je zabilježeno poskliznuće, iznosi 0,33. Ako je duljina puta sklizanja veća od 10 cm, dolazi do pada te je u pojedinim slučajevima kada je put sklizanja bio manji od navedenih vrijednosti došlo do ponovnog uspostavljanja stabilnosti ispitanika (Perkins, 1978.).



Slika 3. Udar petom o podlogu
Figure 3. Heel impact on the surface

EKSPERIMENTALNI DIO

Klatno za ispitivanje vrijednosti otpora poskliznuću

Uređaji za ispitivanje vrijednosti otpora poskliznuću mjere direktno ili indirektno koeficijent trenja između materijala podne obloge i odgovarajućeg materijala kojim se simulira materijal đona cipele. Ti se uređaji mogu podijeliti u dvije osnovne skupine (Mustapić i sur., 2007.). Prvu skupinu sačinjavaju laboratorijski uređaji za mjerenje, dok drugu skupinu čine terenski (prenosivi) uređaji za mjerenja vrijednosti otpora poskliznuću. Druga podjela uređaja je ona gdje postoje uređaji koji mjere statički koeficijent trenja i oni koji mjere (direktno ili indirektno) kinematički koeficijent trenja. Klatno je uređaj koji se najčešće upotrebljava u Europi za mjerenje vrijednosti otpora poskliznuću ili protuskližnih karakteristika materijala podne obloge. Na slici 4 prikazan je uređaj pomoću kojeg se posredno mjeri kinematički koeficijent trenja, a može se upotrebljavati i kao laboratorijski i terenski uređaj. Pomoću klatna se indirektno mjeri kinematički koeficijent trenja na način da se registrira gubitak kinetičke energije koja nastaje za vrijeme kontakta klizača i podloge koja se mjeri.

Na kraju klatna pričvršćen je gumeni klizač točno propisanih karakteristika. Dimenzije i tehničke karakteristike klatna su normirane, kao i način njegove uporabe i baždarenja (BS 7976-1, BS 7976-2, BS 7976-3, 2002.). Klatno se postavi u početni položaj koji je prikazan na slici 4. Nakon puštanja klatna, klizač će prilikom slobodnog pada biti u kontaktu s uzorkom materijala podne podloge čije karakteristike se mjere, i to u trenutku kada je klatno približno pod pravim kutem s obzirom na početni položaj. Nakon interakcije podloge i gumenog klizača klatno nastavlja kretanje te se zaustavlja u određenom položaju. Taj položaj se mjeri te se očitava odgovarajuća vrijednost na mjerne skali koja se naziva SRV - Slip Resistance Value (MVK - mjerena vrijednost klatnom). Očitana vrijednost SRV

uspoređuje se s vrijednostima u Tablici 1., te se na osnovi te vrijednosti procjenjuje vjerojatnost poskliznuća za dotičnu podnu oblogu (UK Slip Resistance Group, 2005.).



Slika 4. Klatno za ispitivanje
Figure 4. Test pendulum

Istraživanja u praksi su potvrdila da je klatno pouzdana i točna metoda mjerenja koja se u mnogim zemljama primjenjuje kao standardna metoda za ispitivanje vrijednosti otpora poskliznuću u laboratorijskim i terenskim uvjetima, te za suhe, vlažne ili kontaminirane podne obloge.

Tablica 1. Vjerojatnosti poskliznuća dobivene ispitivanjem pomoću klatna

Table 1. Probabilities of slip obtained in pendulum testing

Vjerojatnost poskliznuća	SRV [-]
Velika vjerojatnost poskliznuća	0 - 24
Srednja vjerojatnost poskliznuća	25 - 35
Mala vjerojatnost poskliznuća	≥ 36

Za standardna ispitivanja upotrebljava se klizač izrađen od standardizirane gume koja nosi stručni naziv *Four-S* (standardno simuliran đon cipele). Međutim, za određivanje otpora poskli-

znuća gdje se simulira hod s bosim nogama, te na grubim ili profiliranim podovima, u suhom ili najčešće mokrom stanju podne obloge, upotrebljava se klizač izrađen od meke gume koja nosi stručni naziv *TRRL*. Uporaba ovoga klatna za ispitivanje na izrazito profiliranim podnim oblogama, te na stubama je kompleksna. Klatno kao mjerni uređaj nije pogodno za određivanje otpora poskliznuću kod elastičnih, laminatnih i tekstilnih podloga. Drugi uređaj je predviđen za takve materijale podnih obloga za ispitivanje u suhom stanju.

Ispitivanja su provedena sukladno metodi za ispitivanje otpornosti na klizanje klatnom (*HRN EN 14231, 2004; EN 14231, 2003.*). Klatno kao mjerni uređaj nije pogodno za određivanje otpora poskliznuću kod elastičnih, laminatnih i tekstilnih podloga.

Kriteriji sigurnosti za procjenu vjerojatnosti poskliznuća

U literaturi (*UK Slip Resistance Group, 2005.*) je dan izraz kojim je moguće vrijednosti očitane klatnom *SRV* pretvoriti u vrijednosti kinematičkog koeficijenta trenja:

$$\mu = (3 \cdot SRV) / (330 - SRV) \quad [1]$$

gdje je *SRV* izmjerena klatnom.

Vrijednosti kinematičkog koeficijenta trenja μ kreću se u granicama od 0 do 0,8. Kinematički koeficijent trenja za led ima raspon vrijednosti od 0,15 do 0,20. U Tablici 2. dane su vrijednosti koje služe kao kriterij sigurnosti za procjenu vjerojatnosti poskliznuća (*Lether, 2005.*). Ove vrijednosti utvrđene su nakon opsežnih istraživanja provedenih u praksi. Kao granica sigurnosti za vrijednosti statičkog koeficijenta trenja prihvaćena je vrijednost od 0,5. Potrebno je napomenuti da se vrijednosti $8,0 > \mu$ ne preporučuju jer može dovesti do spoticanja osoba zbog prevelikog otpora podloge.

Tablica 2. Podjela vjerojatnosti poskliznuća zasnovana na kinematičkom koeficijentu trenja μ

Table 2. Slip hazard classification based on the kinematic friction coefficient (μ)

Kinematički koeficijenti trenja μ [-]	Vjerojatnost poskliznuća
< 0,30	Velika vjerojatnost poskliznuća
0,30 do 0,45	Srednja vjerojatnost poskliznuća
> 0,45	Mala vjerojatnost poskliznuća

Rezultati ispitivanja

Za ispitivanje klatnom odabrano je za primjer nekoliko kamenih podnih obloga koje se mogu sresti u mnogim javnim prostorima (slika 5).



Karbonatne i silikatne stijene (polirane obrade)



Karbonatne i silikatne stijene (štokane, anticato, paljene i pjeskarene obrade površine)



Različiti tipovi obrade silikatnog kamena namijenjenog za podne obloge

Slika 5. Ispitivani uzorci kamena

Figure 5. Tested stone samples

Ispitivanja su provedena sukladno metodi za ispitivanje otpornosti na klizanje klatnom (*HRN EN 14231, 2004; EN 14231, 2003.*) na ispitnim uzorcima u suhom i mokrom stanju. Dobiveni rezultati *SRV* prikazani su u Tablici 3. Mjerne vrijednosti *SRV* izmjerene klatnom su preračunate u vrijednosti kinematičkog koeficijenta trenja μ pomoću izraza [1].

ski proizvedenog poda ulaze u kategoriju male vjerojatnosti poskliznuća, dok u mokrom stanju jedan ulazi u kategoriju velike vjerojatnosti poskliznuća, a preostala dva u kategoriju male vjerojatnosti poskliznuća.

Klatno je mjerni uređaj koji omogućuje pouzdane i točne mjerne rezultate, zbog čega se u

Tablica 3. Dobivene mjerne vrijednosti za različite materijale podnih obloga

Table 3. Values for different floor coverings

SRV na različito obrađenim površinama [-]				
	polirana, *izlijevana		piljena, *štokana, **paljena, ***pjeskarena, ****»anticato«	
	suho	mokro	suho	mokro
	Karbonatne stijene (prema komercijalnoj podjeli «mramori»)	37	5	61
36		4	61	37
42		4	62	38
38		5	59	34
42		4	59	39
25		10	*51	*39
			****33	****22
Silikatne stijene (prema komercijalnoj podjeli «graniti»)		64	6	71
	51	8	73	42
	46	4	*84	*53
	39	10	**55	**35
	44	15	***53	***39
	43	15	****55	****15
	34	12		
Industrijski proizvedeni podovi	*79	*33		
	*85	*33		
	*63	*24		

RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Izračunate vrijednosti kinematičkog koeficijenta trenja za sve odabrane podne obloge, prema prihvaćenom kriteriju sigurnosti danom u Tablici 2., ubrajaju se u kategoriju materijala podnih obloga s malom vjerojatnosti poskliznuća, što ih čini potpuno sigurnim za hodanje u suhom stanju. Isti uzorci kamenih podloga u mokrom stanju ulaze u kategoriju velike vjerojatnosti poskliznuća. Ispitani uzorci industrij-

mnogim zemljama upotrebljava kao standardna metoda za ispitivanje vrijednosti otpora poskliznuću ili protuskliznih karakteristika materijala podne obloge u laboratorijskim i terenskim uvjetima, te za suhe, vlažne ili kontaminirane podne obloge.

Predlaže se da se svi materijali podnih obloga prvo ispituju u laboratorijskim uvjetima, kako bi se još u fazi projektiranja radnih prostorija i prostora obratila pozornost na smanjivanje opa-

snosti od poskliznuća kao mjere zaštite na radu. Nakon ugradnje potrebno je prije stavljanja u upotrebu klatnom ispitati protusklizne karakteristike materijala podnih obloga u suhom stanju.

Prilikom izrade procjene opasnosti svakako treba, gdje je to potrebno, uvrstiti i opasnost od poskliznuća, odnosno opasnost od pada u ravnini. U tu svrhu bilo bi uputno izraditi katastar svih podova u radnim prostorijama i prostorima, te izmjeriti vrijednost otpora poskliznuću ili protusklizne karakteristike materijala podnih obloga u suhom i mokrom stanju (različiti režimi čišćenja podova).

LITERATURA

BS 7976-1, 2002: Pendulum testers. Specification, British Standards Institution.

BS 7976-2, 2002: Pendulum testers. Method of operation, British Standards Institution.

BS 7976-3: 2002: Pendulum testers. Method of calibration, British Standards Institution.

Chang, W. T., Courtney, K., Chang, C., Gronqvist, R., Redfern M. S.: *Measuring slipperiness: Human locomotion and surface factors*, CRC Press, 2003.

Courtney, T.K.; Sorock, G.S.; Manning, D.P.; Collins, J.W.; Holbein-Jenny, M.A: Occupational slip, trip, and fall-related injuries - can the contribution of slipperiness be isolated, *Ergonomics*, 44, 2001., 1118–1137.

Hoffmann, B., Rostek, R.: *Arbeitsunfallstatistik 2001.*, HVBG, 2003.

HRN EN 14231, 2004: Ispitne metode prirodno kamena. Određivanje otpornosti na klizanje klatnom (EN 14231, 2003: Natural stone

methods. Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester).

Lether, G. Skiba, R.: *Taschenbuch Arbeitssicherheit*, Erich Schmidt Verlag, 10. Auflage, 2005.

Mustapić, N., Mijović B.: Assessing the slip resistance of flooring, 3rd *International ergonomics conference*, 13.-16. lipnja 2007., Stubičke Toplice, 155-165.

Pap, Đ. 2006: Stanje u zaštiti na radu za godinu, *Sigurnost*, 48, 2005., 2, 221-242.

Perkins, P.J.: Measurement of slip between the shoe and ground during walking«, Anderson, C., Senne, J. (Eds.), *Walkway Surfaces: Measurement of Slip Resistance*, ASTM STP 649. American Society for Testing and Materials, 71–87, 1978.

Pravilnik o zaštiti na radu za radne i pomoćne prostorije i prostore, N.N., br. 6/84. i 42/05.

Redfern, M.S. Bidanda, B.: Slip resistance of the shoe–floor interface under biomechanically relevant conditions, *Ergonomics*, 37, 1994., 3, 511–524.

Rhodes, T.P., Miller J.M.: Measurement and comparison of required versus available slip resistance, *Proceedings of the 21st Annual conference of the human factors association of Canada*, 137–140, 1988.

Stranberg, L.: The effect of conditions underfoot on falling and overexertion accidents, *Ergonomics*, 28, 1985., 1, 131–147.

Stranberg, L.; Lanshammar, H.: The dynamics of slipping accidents, *Journal of Occupational Accidents*, 1981, 3, 153–162.

UK Slip Resistance Group, The assessment of floor slip resistance, Issue 3., UKSRG, 2005.

TESTING ANTI SLIP CHARACTERISTICS OF FLOOR COVERING MATERIALS

SUMMARY: Slips and falls on floors are frequent causes of accidents in the work place. The paper investigates basic principles by means of which the value of slip resistance or anti slip characteristics of the floor covering materials is determined, as well as the factors influencing the way people walk. It is possible to determine the value of slip resistance or anti slip characteristics of floor covering materials in both the dry and wet states for each surface intended for human traffic, both in the laboratory and/or by means of field measurements. Appropriate measuring instruments are used to determine the value of anti slip resistance. A pendulum is suggested as a measuring instrument. The values obtained in such a way are used to determine the possibility of slip of the measured floor covering. Safety criteria used to assess the possibility of slip on floor covering material are proposed. It is proposed that all floor covering materials be first tested in laboratory conditions. Attention needs to be focused on reducing slip danger, as a protection measure at work, in the phase of designing working rooms and spaces. Due to variable working conditions in the workplace and environment, which differ from laboratory conditions under which the anti slip characteristics of new floor covering materials are measured, it is necessary to test the floor covering after its laying in the real conditions of the workplace. It is also proposed that the tests of floor covering materials may be carried out in both the dry and wet states.

Key words: *coefficient of friction, slip resistance, laboratory testing, in situ testing*

Original scientific paper

Received: 2008-04-17

Accepted: 2008-04-25