

Ispitivanje i analiza elemenata visokorizičnih dionica puta sa aspekta kvaliteta kolovoza i njegov uticaj na vrijednost koeficijenta prljanja

Valentina Ivanović^a, Osman Lindov^a, Milija Radović^b

^a Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, BiH

^b Agencija za bezbjednost saobraćaja Republike Srpske, Banja Luka, BiH

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.70.01.05

Stručni rad

Primljen: 20.01.2024.

Prihvaćen: 12.02.2024.

Korespondent autor:

Valentina.Ivanovic@fsk.unsa.ba

Ključne reči:

Put

Kolovoz

Adhezija

Koeficijent

REZIME

U strukturi faktora od kojih zavisi bezbjednost saobraćaja, put i elementi puta zauzimaju značajno mjesto u sistemu upravljanja bezbjednošću saobraćaja. Elementi puta stvaraju uslove da se opasnost izazvana od drugih elemenata pretvori u saobraćajnu nezgodu. Elementi puta mogu uticati na nastanak saobraćajnih nezgoda, ali posebno mogu uticati na „težinu“, tj. posljedicu saobraćajne nezgode. Ova konstatacija potkrepljuje se činjenicom da postoji čitav niz uticajnih elemenata puta koji mogu biti direktni ili indirektni uzročnici saobraćajnih nezgoda. Stanje i kvalitet kolovoza utiču na bezbjednost saobraćaja i to kao njen direktan faktor. U radu je dat akcenat na ispitivanje kvaliteta kolovoznog zastora i analizu uticaja istog na vrijednosti koeficijenta prljanja. Vrijednost koeficijenta prljanja se utvrđuje praktičnim mjerenjem klatnom (Skid Resistance Tester) na dijelovima visokorizične dionice magistralnog puta, a u cilju njegovog zadovoljavajućeg kvaliteta, odnosno zadovoljavajućeg koeficijenta prljanja.

1. Uvod

Zbog nezadovoljavajućeg stanja bezbjednosti drumskog saobraćaja u Evropi, EU je donijela niz dokumenata koji imaju za cilj podizanje nivoa bezbjednosti, od kojih poseban značaj i praktičnu primjenu ima Direktiva (EU) 2008/96 sa izmjenom 2019/1936 o upravljanju bezbjednošću putne infrastrukture, koja propisuje periodične provjere bezbjednosti na putevima, odnosno rutinske periodične provjere karakteristika i nedostataka koji iz bezbjednosnih razloga zahtijevaju poseban pristup, tretman i održavanje. S tim u vezi, jedna od provjera koja se zahtjeva ovom Direktivom odnosi se na ispitivanje otpornosti na klizanje kolovoznih površina u cilju analize putnih dionica sa aspekta stanja i kvaliteta kolovoznih površina, a u svrhu ovakvih ispitivanja usvojeni su standardi, kako na međunarodnom, tako i na nacionalnom nivou, koji detaljno propisuju opremu i postupke ispitivanja.

Budući da je jedna od metoda ispitivanja asfaltnih kolovoznih površina testiranje otpornosti na klizanje prenosnim testerom, u cilju identifikacije mogućih uzročnika saobraćajnih nezgoda na dijelovima visokorizične dionice magistralnog puta M1-114 je u decembru 2022. godine izvršeno ispitivanje otpornosti

kolovozne površine na klizanje uređajem „StanlayTM“, shodno Standardu BAS EN 13036-4:2012 „Karakteristike gornjih površina puteva i aerodroma - Metode ispitivanja - Dio 4: Metoda za mjerenje hrapavosti površina - Ispitivanje pomoću klatna“, koji je identičan evropskom Standardu EN 13036-4:2011 „Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface - The pendulum test“.

Rezultati ovog istraživanja i njihova analiza poslužiće kao polazna osnova za dublje i sveobuhvatnije analize asfaltnih kolovoznih površina i ostalih elemenata puta, kako bi se mogle donositi odluke na koji način djelovati da se stanje popravi te koji su prioriteti za preduzimanje mjera na magistralnoj putnoj mreži.

2. Materijal i metode

Procjena bezbjednosti na putevima na nivou cijele mreže koja se temelji na riziku pojavila se kao efikasan i djelotvoran alat za utvrđivanje dionica mreže na koje bi trebalo staviti fokus u pogledu detaljnije provjere bezbjednosti putne infrastrukture te za određivanje prioriteta u cilju ulaganja prema njihovom potencijalu kako bi se ostvarila poboljšanja u području bezbjednosti na nivou cijele putne mreže.

Direktivom (EU) 2008/96 sa izmjenom 2019/1936 se od država članica EU zahtijeva uspostava i provođenje postupaka povezanih sa procjenama uticaja na bezbjednost na putevima, revizijama i provjerama bezbjednosti na putevima te procjenama bezbjednosti na putevima na nivou cijele mreže, pri čemu je predviđeno da se evaluiira rizik od saobraćajnih nezgoda i jačine udara, a na osnovu vizuelnog pregleda na samoj lokaciji ili pregleda elektronskim sredstvima projektnih karakteristika puta (ugrađena bezbjednost) i analize dionica putne mreže koje su u upotrebi duže od tri godine, na kojima je zabilježen velik broj saobraćajnih nezgoda sa smrtno stradanim licima i ozbiljnim povredama s obzirom na intenzitet saobraćaja. Prilikom vršenja provjere neophodno je obuhvatiti i razmotriti sljedeće okvirne elemente ciljanih provjera bezbjednosti na putevima:

- Horizontalno i vertikalno pružanje trase;
- Raskrsnice i petlje;
- Sadržaj za nezaštićene učesnike u drumskom saobraćaju;
- Rasvjeta, znakovi i oznake;
- Saobraćajna signalizacija;
- Objekti, zemljani pojas uz put na kojima nema prepreka i zaštitni sistemi puta;
- Kolovoz;
- Mostovi i tuneli.

Pored toga, Direktivom 2019/1936 su definisani i okvirni elementi procjena bezbjednosti na putevima na nivou cijele mreže te u vezi sa tim i posebne provjere koje se odnose na održavanje, a koje podrazumijevaju sljedeće provjere:

- Provjeru nedostataka na kolovozu;
- Provjeru otpornosti kolovoza na klizanje;
- Provjeru stanja bankina (uključujući vegetaciju);
- Provjeru stanja znakova, oznaka i razgraničenja;
- Provjeru stanja zaštitnih saobraćajnih sistema.

2.1. Analiza uticaja stanja i kvaliteta površine kolovoza sa asfaltnim zastorom na bezbjednost saobraćaja

Imajući u vidu da metodologija provjere bezbjednosti puta podrazumijeva analizu poprečnog presjeka puta i s tim u vezi analizu stanja i kvaliteta površine kolovoza, u nastavku će biti obrazložen uticaj površine asfaltnog kolovoza na bezbjednost saobraćaja. Veliki broj saobraćajnih nezgoda nastaje upravo zbog smanjenog koeficijenta trenja između točkova i kolovoza te zbog oštećenja gornje površine kolovoznog zastora. Dobrim prijanjanjem (adhezijom) sprečava se klizanje vozila, bilo u uzdužnom ili poprečnom smjeru. Na smanjenje prijanjanja znatno utiču mokar i zaleđen kolovozni zastor, vodeni klin, kontaminiran i zaprljan kolovozni zastor, neravnine na zastoru i sl. Na bezbjednost odvijanja saobraćaja utiču i oštećenja kolovoza (pukotine, rupe) koja nastaju zbog dotrajalog zastora, njegovog slabog kvaliteta, lošeg održavanja te posljedica smrzavanja.

Hrapavost kolovoza je jedna od najvažnijih karakteristika kvalitetnog kolovoza koja značajno utiče na bezbjednost kretanja vozila po saobraćajnim površinama. Istraživanja u Švedskoj su pokazala da se na istrošenom i neravnom kolovozu za vrijeme poledice i kiše na putu sa koeficijentom trenja od 0,4 broj saobraćajnih nezgoda dvadeset puta poveća u odnosu na hrapav i suv kolovoz (Wallman, Åström, 2001).

Kiša i klizav kolovoz je često uzrok saobraćajnih nezgoda jer smanjuje koeficijent trenja između točkova i podloge, odnosno koeficijent prijanjanja između pneumatika i asfalta. Tokom pada prvih kiša kada se prašina i blato spoje sa kišom, nastaje skliski sloj između pneumatika i podloge što smanjuje koeficijent trenja na četvrtinu ili šestinu vrijednosti. Za bezbjednu vožnju, površinski sloj puta mora pružati dovoljnu vrijednost prijanjanja između kolovoza i pneumatika kako bi se spriječilo klizanje, zanošenje vozila i okretanje točkova na mjestu. Hrapav kolovozni zastor povoljniji je od glatkog zbog boljeg prijanjanja pneumatika, a time su i uslovi kočenja bolji. Povećanjem hrapavosti kolovoza kao preduslova povećanju prijanjanja pneumatika na kolovoz, direktno se utiče na bezbjednost na putevima jer se time povećava koeficijent trenja između podloge i pneumatika i skraćuje zaustavni put pri kočenju.

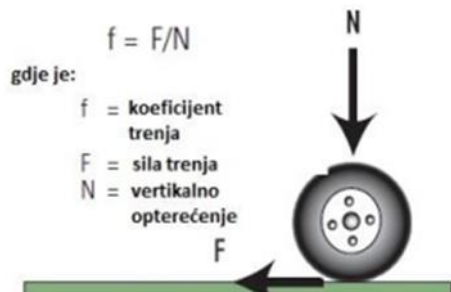
Površina kolovoza je u stalnom kontaktu sa vozilom (pneumaticima) i sasvim je prirodno da se vremenom mijenja, troši i deformiše. Veličina promjene kvaliteta površine kolovoza zavisi od kvaliteta materijala, uslova mjesta izgradnje puta i saobraćajnog opterećenja. Loš kvalitet kolovozne površine ima negativan uticaj na bezbjednost u saobraćaju koji se ispoljava u sljedećem:

- Narušava se normalno kretanje vozila;
- Dolazi do destabilizacije kretanja vozila – zanošenje;
- Smanjuje se stabilnost vozila;
- Produžava se zaustavni put vozila;
- Izazivaju se udarne sile i vibracije točkova i vozila;
- Izaziva se dodatni zamor vozača;
- Otežava se odvodnjavanje kolovoza.

Imajući u vidu da se ovaj rad zasniva na praktičnom primjeru ispitivanja stanja i kvaliteta kolovoznog zastora dionice magistralnog puta na principu mjerenja otpornosti na klizanje, odnosno svojstava prijanjanja površine asfaltnog zastora, u nastavku će biti definisan pojam otpornosti na klizanje, odnosno hvatljivost kolovoza i prijanjanje.

Hvatljivost površine kolovoza ili otpornost površine prema klizanju (eng. skid resistance) zavisi od površinskih karakteristika kolovoza, kao i od karakteristika pneumatika vozila, klimatskih uslova, uticaja saobraćajnog opterećenja i drugih faktora, a može se okarakterisati koeficijentom trenja koji određena površina posjeduje.

Mehanizam trenja na kolovoznoj površini može se opisati Coulombovim zakonom, kao odnos dvaju sila – sile koja se javlja kao otpor kretanju i koja djeluje u smjeru suprotnom od smjera kretanja vozila, te sile koja predstavlja vertikalno opterećenje na površinu, a najčešće se prezentuje kao opterećenje od vozila, što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Mehanizam trenja na kolovozu

Izvor: (Pranjić, 2015)

Prianjanje (adhezija) predstavlja sposobnost prenošenja pogonskih i kočionih sila na površinu kolovoza. Osnovna mjera za prianjanje je koeficijent prianjanja koji se javlja između pneumatika i kolovoza. Vrijednost koeficijenta prianjanja zavisi od sljedećih faktora:

- Značajan uticaj (istrošenost pneumatika, vlažnost kolovoza, čistoća kolovoza, početna brzina, hrapavost kolovoza, debljina vodenog filma);
- Srednji uticaj (vrsta vozila, opterećenje vozila, količina bitumenske mase, veličina uspona/pada);
- Mali nepoznat uticaj (materijal i konstrukcija pneumatika, vrste agregata u habajućem sloju).

Tekstura kolovoza direktno utiče na prianjanje pneumatika uz površinu kolovoza, posebno u uslovima mokrog kolovoza kada negativno djeluje na otpor klizanju, smanjujući koeficijent trenja te time utiče na bezbjednost korisnika puta, odnosno učesnika u saobraćaju. Karakteristike teksture kolovozne površine zavise od kvalitativnih i kvantitativnih svojstava zrna agregata koji čini asfaltnu mješavinu, udjela veziva i potencijalnih drugih aditiva u mješavini, načina ugradnje i uslova korištenja.

Mikrotekstura je posebno bitna da bi se postigla odgovarajuća otpornost na klizanje u svim uslovima, bilo da je kolovoz mokar ili suv. U uslovima mokrog kolovoza, voda onemogućava kontakt između mikroteksture i gume. Posljedica toga je smanjenje otpornosti na klizanje i povećana opasnost za korisnike tog puta. Vodeni film se brže formira u slučaju zaglađene površine zrna kamene sitneži. Pod djelovanjem saobraćaja mikrotekstura će se trošiti, a to je najviše izraženo na dionicama puta na kojima su veća opterećenja kolovoza uslijed ubrzavanja, kočenja, manevrisanja u krivinama i kretanja teških vozila (Marić, 2020).

Makrotekstura omogućava oticanje vode sa dodirne površine pneumatika i kolovoza te deformaciju guma i pojavu trenja. Pored toga, makrotekstura ima uticaj na bučnost guma i prskanje vode na način da što je veća makrotekstura, veća je bučnost kolovoza, a manje je prskanje vode prilikom vožnje (Marić, 2020).

Megatekstura je karakteristika površine kolovoza koja se odnosi na oštećenja iste. Uslijed određene veličine megateksture može doći do vibracija ili odvajanja pneumatika od površine kolovoza te je zbog toga megatekstura, za razliku od mikroteksture i makroteksture koje su visoko poželjna svojstva, neželjeno svojstvo asfaltne površine kolovoza (Marić, 2020).

2.2. Metoda ispitivanja otpornosti na klizanje

Problem nedovoljnog koeficijenta trenja, odnosno otpora klizanju na saobraćajnoj površini često je uzrok saobraćajnih nezgoda, najčešće u kombinaciji sa lošim uslovima vožnje te nepravovremenom i neadekvatnom reakcijom vozača. Identifikacija dijelova saobraćajnica i mjesta na saobraćajnici na kojima je otpornost na klizanje, odnosno prianjanje između površine kolovoza i pneumatika vozila smanjeno, prvi je korak u procesu istraživanja uzroka smanjenja tih vrijednosti. Potrebu poboljšanja prianjanja moguće je utvrditi mjerenjem otpora klizanju koje se na jednostavan način može izvršiti pomoću posebno dizajniranih mjernih uređaja. Za potrebe istraživanja korišten je mehanički uređaj – prenosni tester (klatno) za detekciju površinskih svojstava kolovoza u pogledu otpornosti kolovozne površine na klizanje. Kada je u pitanju primjena klatna u oblasti saobraćaja i upravljanja bezbjednošću saobraćaja, poseban doprinos ovog uređaja je kod ispitivanja kvaliteta puteva i autoputeva, istrage i analize okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda te analize opasnog mjesta, dijela dionice ili dionice puta s obzirom na učestalost i težinu saobraćajnih nezgoda.

Testiranje prenosnim testerom otpornosti na klizanje (klatnom) je uspostavljena, praktično provjerena i pouzdana metoda definisana Standardom EN 13036-4:2011 („Pendulum test“) kod koje se mjerenje vrši pomoću klizača postavljenog na kraju kraka klatna koji imitira akciju klizanja i određuje dinamičko trenje površine. Rezultati se mjere na skali vrijednosti testiranja klatnom – PTV „Pendulum Test Value“. Ova metoda odobrena je i priznata metoda ispitivanja otpornosti na klizanje i u Bosni i Hercegovini shodno Standardu BAS EN 13036-4:2012. Ispitivanje otpornosti na klizanje prenosnim uređajem – klatnom podrazumijeva strogo pridržavanje pravila Standarda, ali i uputa i smjernica proizvođača uređaja, koje su usklađene sa navedenim Standardom. Shodno tome, prilikom vršenja ispitivanja neophodno je ispoštovati sljedeće uslove:

- Priprema puta, odnosno mjesta na dionici puta na kojoj će se vršiti testiranje;
- Postavljanje i nivelisanje testera prema uputama;
- Priprema gumenog klizača;
- Verifikacija uređaja;
- Priprema i mjerenje temperature vode za kvašenje;
- Kvašenje testne površine i površine klizača;
- Utvrđivanje temperature svih pokvašenih površina;
- Ponavljanje postupka mjerenja (otpuštanja klatna);
- Provjera podešenosti uređaja nakon mjerenja;
- Ponavljanje testiranja na istom mjestu i mjerenje na najmanje 3 mjesta u maksimalnom rastojanju od 400mm.

2.3 Ispitivanje otpornosti na klizanje na dijelu dionice magistralnog puta MI-114 Podromanija – Rogatica

Praktični dio istraživanja odnosi se na ispitivanje (mjerenje) otpornosti na klizanje na odabranoj dionici magistralnog puta MI-114 Podromanija – Rogatica, pri čemu lokacije na kojima su izvršena ispitivanja teritorijalno pripadaju području opštine Rogatica. Ispitivanje otpornosti na klizanje prenosnim testerom – klatnom tipa „StanlayTM“ izvršeno je na dvije lokacije navedene dionice, sa po tri mjerenja u razmaku od 400mm i pet uzastopnih ponavljanja za svako mjerenje. PGDS na ovoj dionici magistralnog puta je oko 2.780 voz/dan (2017). Magistralni put MI-114 pripada grupi dionica sa povećanim rizikom od nastanka saobraćajnih nezgoda, odnosno može se smatrati opasnom dionicom.



Slika 2. Mapa rizika sa obzirom na saobraćajne nezgode po broju pređenih kilometara

Izvor: (Mandić, Lindov, 2013)

Za potrebe izrade ovog rada, a u svrhu ukazivanja na potrebu analize stanja bezbjednosti saobraćaja na dionici Podromanija – Rogatica magistralnog puta MI-114 te ispitivanja elemenata puta koji mogu biti uzrok nastanka saobraćajnih nezgoda, korišteni su podaci o saobraćajnim nezgodama (Tabela 1).

Tabela 1. Broj i struktura saobraćajnih nezgoda za period od 01.01.2020. do 30.11.2022. godine na području PS Rogatica

Ukupan broj SN		203	Ukupan broj nastradalih lica		134
Broj SN sa nastradalim licima	Broj SN sa poginulim licima	2	Broj poginulih lica	4	
	Broj SN sa teško povrijeđenim licima	12	Broj teško povrijeđenih lica	16	
	Broj SN sa lakše povrijeđenim licima	64	Broj lakše povrijeđenih lica	114	
Broj SN samo sa materijalnom štetom		125	-	-	

Izvor: Izvještaji o stanju bezbjednosti saobraćaja. (2022). MUP RS. PU Istočno Sarajevo - PS Rogatica

Značajan podatak je i to da se čak 97 od ukupnog broja saobraćajnih nezgoda, tj. 48% dogodilo u krivini ili neposrednoj blizini iste. Najveći broj saobraćajnih nezgoda se dogodilo po danu, pri vedrom vremenu i dobroj dnevnoj vidljivosti, po čistom, suhom ili vlažnom glatkom asfaltu bez oštećenja. U posmatranom vremenskom periodu, na lokalitetu provjere koeficijenta prijanjanja Vran Do nastradalo je 11 lica (8,2%), a na lokalitetu Kovanj 25 lica (18,7%) od ukupnog broja nastradalih lica.

Dio dionice Podromanija – Rogatica na dijelu teritorije opštine Rogatica je većim dijelom u uzdužnom nagibu, što dodatno utiče na bezbjednost saobraćaja, a broj horizontalnih zavoja (krivina) je posebno izražen. Ovi podaci ukazuju na mogućnost uticaja drugih elemenata puta na nastanak saobraćajnih nezgoda, te je iz tog razloga neophodno sistemski pristupiti analizi i ispitivanju navedene dionice, a posebno pažnju usmjeriti na kvalitet kolovozne površine i njenu otpornost na klizanje. Iz tog razloga je, kao praktičan dio istraživanja, izvršeno mjerenje otpornosti na klizanje na dva lokaliteta na navedenoj dionici magistralnog puta (lokalitet Vran Do i lokalitet Kovanj) tipski odobrenim prenosnim testerom – klatnom marke „StanlayTM“, a u skladu sa usvojenim Standardom BAS EN 13036-4:2012, kao i uputama proizvođača o načinu korištenja prenosnog uređaja, što je opisano u nastavku uz rezultate istraživanja i analizu istih.

U nastavku su dati podaci o lokacijama na kojima je vršeno ispitivanje asfaltne površine u pogledu stacionaže i pozicije mjerenja te uzdužnih i poprečnih nagiba kolovoza koji su utvrđeni prije postupka ispitivanja, a bez kojih se ispitivanje ne bi trebalo započinjati iz razloga što faktori nagiba mogu direktno da utiču na rezultate mjerenja.

Lokalitet Vran Do na kojem su izvršena prva tri mjerenja u razmaku od 400mm (Slika 3. i Slika 4.) nalazi se na stacionaži 20+970, GPS koordinate N 43.819790° E 18.953441°. Mjesto ispitivanja nalazi se na 793 metara nadmorske visine. Lokalitet Kovanj na kojem su izvršena druga tri mjerenja u razmaku od 400mm (Slika 5. i Slika 6.) nalazi se na stacionaži 22+820, GPS koordinate N 43.826813° E 18.962949°. Mjesto ispitivanja nalazi se na 691 metara nadmorske visine, a radijus krivine je približno 47 metara.



Slika 3. Lokacija ispitivanja „Vran Do“

Izvor: Google Maps



Slika 4. Lokalitet Vran Do (posmatrano u oba smjera u odnosu na poziciju mjerenja)
Izvor: Obrada autora



Slika 5. Lokacija ispitivanja „Kovanj“
Izvor: Google Maps



Slika 6. Lokalitet Kovanj (posmatrano u oba smjera u odnosu na poziciju mjerenja)
Izvor: Obrada autora

Uzdužni i poprečni nagibi kolovoza na lokalitetima ispitivanja utvrđeni su eksperimentalnim mjerenjem na licu mjesta pomoću laserskog uređaja (nivelira) kojim su utvrđene visinske razlike u podužnom i poprečnom pravcu i iste podijeljene sa dužinom udaljenosti između mjernih tačaka, pri čemu se dobije nagib (pad) izražen u procentima (%), a dobijene vrijednosti nagiba su prikazane u Tabeli 2.

Tabela 2. Uzdužni i poprečni nagib na lokacijama ispitivanja

Vran Do		Kovanj		
Poprečni nagib	Uzdužni nagib	Poprečni nagib		Uzdužni nagib
4,3% (≈4%)	5,5% (≈6%)	4,87% (≈5%) Vanjska kolovozna traka	5,85% (≈6%) Unutrašnja kolovozna traka	6,9% (≈7%)

Izvor: Rezultati mjerenja na terenu

Za svaki postupak eksperimentalnog mjerenja (na oba mjerna mjesta) izvršeno je ponavljanje mjerenja (otpuštanje klatna) pet puta uzastopno, a prilikom validacije uređaja (podešavanja „nule“) 3 puta uzastopno, sve shodno Standardu BAS EN 13036-4:2012.

Vlažnost vazduha je bila 95%, vjetar 3 km/h u pravcu zapad – istok i temperatura vazduha 4°. Kolovoz je bio pretežno vlažan zbog izmaglice i povremene kiše koja je padala tokom vršenja mjerenja. Na oba lokaliteta na kojima je izvršeno mjerenje vidljivi su i izraženi kolotrazi, a druga vidljiva oštećenja površine kolovoza u vidu pukotina nisu uočena.

Kada je utvrđeno da su zadovoljeni uslovi u pogledu temperature kolovoza, temperature površine klizača i temperature ispitne površine prema Standardu, pristupilo se testiranju i bilježenju vrijednosti određenih pokazivačem.



Slika 7. Priprema i mjerenje otpornosti na klizanje
Izvor: Obrada autora

3. Rezultati

Nakon što je na obje pozicije izmjereno 5 različitih vrijednosti u pet uzastopnih mjerenja sa odstupanjima koja međusobno nisu veća od 3, vrši se proračun srednjih vrijednosti PTV prema sljedećoj formuli:

$$PTV = \frac{\sum(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5} \quad (1)$$

gdje su $v_1 - v_5$ rezultati pojedinačnog mjerenja.

Sve zabilježene vrijednosti mjerenja i proračunate prosječne vrijednosti su prikazane u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati mjerenja sa utvrđenim prosječnim vrijednostima PTV

Redni broj mjerenja	Lokalitet Vran Do			Lokalitet Kovanj		
	-400 mm	1. pozicija mjerenja	+400 mm	-400 mm	1. pozicija mjerenja	+400 mm
1.	28	29	30	34	35	35
2.	27	30	28	34	31	33
3.	27	27	28	33	35	34
4.	27	27	27	34	33	34
5.	27	28	27	34	35	34
Prosječna PTV	27,20	28,20	28,00	33,80	33,80	34,00
Usvojena PTV	27	28	28	34	34	34

Izvor: Rezultati mjerenja na terenu

Rezultati ispitivanja se iskazuju vrijednostima PTV (Pendulum Test Value) izmjerenim prenosnim testerom i nazivaju se „otpor na klizanje“, a ove vrijednosti su u korelaciji sa performansama vozila sa „normalnim“ pneumaticima koji koče sa blokiranim točkovima na mokrom putu pri brzini od 50 km/h.

Vrijednosti otpornosti na klizanje površine kolovoza se mogu značajno promijeniti između 50 km/h i 130 km/h, tako da izmjerene PTV vrijednosti koje predstavljaju vrijednost pri brzinama od 50 km/h, ne mogu biti indikacija za vrijednosti pri većim brzinama. U Tabeli 4. su prikazane minimalne prihvatljive PTV vrijednosti za mokar asfalt, izmjerene pomoću prenosnog pendulum testera te klasifikovane prema lokaciji testiranja.

Tabela 4. Minimalne PTV vrijednosti na mokroj asfaltnoj kolovoznoj površini

Kategorija	Tip lokacije ispitivanja	Minimalni otpor na klizanje na mokrom asfaltu (PTV)
A	Zahtjevnije lokacije kao što su kružni tokovi, krivine sa poluprečnikom manjim od 150m na putevima bez ograničenja, nagibi od 1 - 20 ili strmiji dužine veće od 100m, prilazi semaforima na putevima bez ograničenja	65
B	Autoputevi, magistralni putevi i putevi prvog reda kao i putevi sa velikim intenzitetom saobraćaja u urbanim sredinama (više od 2000 vozila dnevno)	55
C	Sve ostale lokacije	45

Izvor: Road Note 27 - Instructions for using the portable skid-resistance tester - Second Edition. (1969). London: Road Research Laboratory. Ministry of Transport. pp. 4.

U cilju analize rezultata mjerenja neophodno je naglasiti da je mjerenje izvršeno na dva lokaliteta na 3 pozicije u podužnom razmaku od 400mm u skladu sa Standardom, uz uzastopna ponavljanja pet puta. Važno je napomenuti da je na oba mjerna mjesta asfalt cijelom posmatranom dužinom dijela dionice bio gladak, bez vidljivih oštećenja u teksturi te da u tom smislu nema značajnih promjena koje bi mogle vidno ukazivati na neki dio kolovoza sa lošijim ili boljim stanjem u pogledu otpornosti na klizanje. Pored toga, potrebno je naglasiti da je ispitivanje na oba mjesta vršeno u nagibu koji zadovoljava norme iz Standarda. Mjerenje na lokalitetu Vran Do je vršeno u poziciji da se klatno ljulja u smjeru odvijanja saobraćaja, a mjerenje na lokalitetu Kovanj da se klatno ljulja poprečno u odnosu na smjer odvijanja saobraćaja, s tim da je u oba slučaja uređaj nivelisan i podešen za ispravno mjerenje.

Utvrđene vrijednosti otpora na klizanje su značajno manje od prethodno definisanih minimalnih PTV vrijednosti na mokroj asfaltnoj kolovoznoj površini kako je predviđeno instrukcijama za korištenje testera otpornosti na klizanje propisanim od strane Laboratorije za istraživanje puteva Velike Britanije. Ako se uzme u obzir to da se radi o magistralnom putu, bilo bi potrebno da vrijednost PTV bude minimalno 55 u istim uslovima mjerenja. Posmatrajući ispitnu dionicu kao dionicu u konstantnom uzdužnom nagibu preko 5%, tada bi minimalna vrijednost PTV trebalo da bude 65 ili više.

4. Diskusija

Kada je u pitanju stanje i kvalitet asfaltnog kolovoznog zastora, mora se imati na umu da isti vremenom „stari“ i troši se, zbog čega poslije nekog vremena može da ima lošije performanse u odnosu na neki prethodni period ispitivanja, a naročito ako se uzme u obzir njegova eksploatacija u različitim vremenskim i saobraćajnim uslovima. Tako na primjer, u pogledu saobraćajnih uslova značajan nepovoljan uticaj na asfaltni zastor ima pojačan intenzitet saobraćaja, pojačana frekvencija teških teretnih vozila u strukturi saobraćaja, česta ukrštanja sa sporednim putevima gdje se zbog zaustavljanja vozila javljaju nabori na asfaltu itd. Sa druge strane, vremenski uslovi tokom eksploatacije saobraćajnice značajno utiču na habanje asfalta, naročito ako se ne vrši adekvatno redovno održavanje ili elementi za odvodnju nisu izvedeni na način da osiguraju svoju potpunu funkcionalnost te dolazi do prodiranja oborinskih voda u kolovoznu konstrukciju. Osim toga, korišćenje različitih abrazivnih sredstava prilikom zimskog održavanja vremenom djeluje razarajuće na površinski sloj asfalta. Sve prethodno navedeno ukazuje na potrebu periodične analize kvaliteta asfaltnog kolovoznog zastora, posebno nakon zimskog perioda, kao i pred zimski period. Tokom ljetnog perioda, zbog značajnog zagrijavanja asfalta uslijed visokih temperatura, dolazi do značajnih deformacija na asfaltu zbog opterećenja i „glačanja“ asfalta, što u značajnoj mjeri utiče na otpornost na klizanje, te je iz tog razloga potrebno izvršiti sanacije prije nego što nastupi zimski period i nepovoljniji uslovi za odvijanje saobraćaja. U zimskom periodu, zbog prodiranja površinskih voda, korištenja različitih abrazivnih sredstava za čišćenje, struganja leda i snijega sa asfalta dešava se da se stvaraju mrežaste i druge pukotine na asfaltu te da se mijenja mikrotekstura i makrotekstura, što direktno stvara lošije performanse kolovozne površine u pogledu otpornosti na klizanje.

Naučno i eksperimentalno je dokazano da temperatura, voda i saobraćajno opterećenje vremenom utiču na kvalitet i strukturu asfalta te da je njegov vijek trajanja ograničen ukoliko se na istom teži osigurati bezbjedno odvijanje saobraćaja. Uticaj temperature ogleda se u promjeni modula krutosti kod bitumenom vezanih materijala (nosivost), nastajanju termičkih napona kod cementom vezanih materijala, a pri oštrim zimama, kada su temperature niže od -15°C može doći do termičkih napona i u fleksibilnim kolovoznim konstrukcijama. Sa druge strane, prodiranje mraza kroz kolovoznu konstrukciju utiče da se u kolovoznoj konstrukciji formiraju kristali leda te da se prividno poveća čvrstoća i nosivost usljed povećanja zapremine i izdizanja kolovoznog zastora. Međutim, u periodu odmrzavanja se kristali leda tope, mijenjajući vlažnost i zapreminu, što dovodi do trajnih deformacija i loma kolovoza.

Pored toga, opterećenje saobraćajem dodatno utiče na kolovozni zastor, a oštećenja kolovoza zavise od broja, tipa i razmaka osovina vozila, veličine opterećenja, vremenske i prostorne raspodjele istog, kao i vremena trajanja opterećenja. Prethodno navedeno ukazuje na to da se stanje kolovoznog zastora mijenja iz perioda u period, te da koliko god izgledao kao asfalt dobrih karakteristika, treba imati na umu da su nabrojani faktori bar jednim dijelom ostvarili svoj uticaj na asfalt, te je neophodno periodično ispitivati njegova svojstva.

Potrebno je izvršiti periodična mjerenja s ciljem utvrđivanja linerane zavisnosti vrijednosti otpornosti na klizanje od vremena eksploatacije, a s obzirom na parametre u pogledu intenziteta i strukture saobraćaja, temperaturnih varijacija, količine oborina po mjesecima, načina redovnog održavanja, zimskog održavanja, količine i vrste posutih abraziva. Isto tako, važno je da ponovna mjerenja obuhvate mnogo više lokacija duž odsjeka, kako se ne bi isključila mogućnost varijacije otpornosti na klizanje u zavisnosti od različitosti površine asfalta duž ispitivane dionice. S obzirom na relativno mali broj provedenih mjerenja tokom ovog istraživanja, rezultate i konačan sud o stanju asfalta na ispitnim mjestima u pogledu otpornosti na klizanje treba uzeti s rezervom. Izmjerene prilično niske vrijednosti teško da mogu u značajnoj mjeri odstupati duž nekoliko desetina metara dionice pa s tim u vezi treba ozbiljno shvatiti potrebu provođenja detaljnijih analiza na ovim lokalitetima kako bi se donio konačan zaključak i predložile mjere za sanaciju.

5. Zaključak

Imajući u vidu da metodologija provjere bezbjednosti puta podrazumijeva analizu poprečnog presjeka puta i s tim u vezi analizu stanja i kvaliteta površine kolovoza, težilo se ka tome da se ovim radom ukaže na uticaj ovih parametara na bezbjednost odvijanja saobraćaja. Kako su Direktivom 2008/96 i njenom izmjenom 2019/1936 definisani okvirni elementi procjene bezbjednosti na putevima na nivou cijele mreže, tako je u segmentu održavanja predviđeno da se analizira otpornost kolovoza na klizanje, a provedeno istraživanje je jedan korak ka shvatanju značaja ovakvih analiza u cjelokupnom sistemu upravljanja bezbjednošću putne infrastrukture i saobraćaja. Jedna od metoda ispitivanja otpornosti na klizanje je testiranje klatnom „Pendulum test“ što podrazumijeva upotrebu posebnog uređaja za ispitivanje (mjerenje) otpornosti na klizanje, koji se koristi za laboratorijska i terenska ispitivanja, a sama metoda mjerenja je regulisana i detaljno opisana evropskim Standardom EN 13036-4:2011 (BAS EN 13036-4:2012).

U svrhu istraživanja korišten je uređaj StanleyTM Portable Skid Resistance Tester, a mjerenje je izvršeno na dvije različite lokacije na putnoj dionici Podromanija – Rogatica magistralnog puta MI-114, sa po tri mjerenja u razmaku od 400mm i pet uzastopnih ponavljanja za

svako mjerenje, pri čemu su utvrđene niske vrijednosti otpornosti na klizanje, koje ne moraju nužno biti pokazatelj loše otpornosti asfalta na klizanje duž cijelog odsjeka navedene dionice. Međutim, izmjerene niske vrijednosti je neophodno uzeti u obzir prilikom planiranja budućih analiza i ispitivanja kako bi se mjerenja izvršila na više različitih mjesta i time stvorila kompletnija slika o stanju asfaltne kolovozne površine u pogledu hvatljivosti, odnosno otpornosti na klizanje. Takvi rezultati mogu biti pokazatelj lošeg sastava ili strukture asfalta zbog čega su potrebna laboratorijska ispitivanja ili pokazatelj ishabanosti i istrošenosti kolovozne površine, a što je predmet drugih ispitivanja različitim metodama i uređajima te da se na osnovu toga donose konačne odluke o preduzimanju mjera.

Rezultati kompletnih analiza daju pravi uvid u suštinu problema te u značajnoj mjeri doprinose donošenju adekvatnih odluka o tome na koji način i u kojem dijelu izvršiti sanaciju kolovozne površine. S obzirom na to da ovi poduhvati zahtijevaju značajna finansijska ulaganja, korist od ispitivanja otpornosti na klizanje je još veća. Kako je ispitivanje otpornosti na klizanje izvršeno na dijelu magistralnog puta koji teritorijalno pripada području opštine Rogatica, može se zaključiti da bi preduzimanje mjera sanacije kolovoznog zastora imalo veliki značaj i za lokalnu zajednicu i njene stanovnike kojima je ovaj put veza sa susjednim gradovima i opštinama. Važno je napomenuti da uređaj za ispitivanje otpornosti na klizanje može da se primjenjuje i na lokalnim putevima i gradskim ulicama te na pješačkim stazama, što ukazuje na mogućnost doprinosa istog u pogledu bezbjednosti učesnika u saobraćaju na području lokalne zajednice.

Potrebno je naglasiti da istraživanje koje je izvršeno tačkastim mjerenjem na nekoliko mjesta analiziranih dionica ne može biti osnov za donošenje konačnog zaključka o sveukupnom kvalitetu asfaltne površine u pogledu otpornosti na klizanje. Naime, usvojeni rezultati su koristan podatak da se odluči u kojem obimu i na koji način treba izvršiti naredna ispitivanja. S obzirom na to da dobijeni rezultati mjerenja ukazuju na nizak nivo otpornosti asfalta na klizanje, te da postoje sumnje na loš kvalitet površinskog sloja, neophodno je nastaviti istraživanje kojim će se obuhvatiti mnogo više uzoraka duž dionice i pritom nastojati provesti ispitivanje svih uzoraka u istim ili sličnim uslovima propisanim Standardom. Za ova obimna istraživanja je potrebno riješiti izmjenu režima saobraćaja (privremene obustave saobraćaja na ispitnoj dionici tokom ispitivanja), budući da odvijanje saobraćaja značajno otežava vršenje mjerenja. Buduća istraživanja u oblasti ocjene kvaliteta asfaltnih površina i njihovog uticaja na bezbjednost saobraćaja trebalo bi da obuhvate periodična (sezonska) mjerenja otpornosti na klizanje kako bi se izvršila analiza vrijednosti izmjerenih parametara i utvrdila zavisnost istih od perioda eksploatacije, a s obzirom na intenzitet i strukturu saobraćaja, temperaturne varijacije, količinu oborina po mjesecima, način redovnog održavanja,

zimskog održavanja, količinu i vrstu posutih abraziva. Takođe, kada su u pitanju opasne dionice, potrebno je na karakterističnim mjernim tačkama izvršiti i ispitivanje dubine hrapavosti makrotekture asfalta u skladu sa standardizovanim metodom, a sve u cilju sagledavanja negativnih karakteristika asfaltne površine kolovoza te zavisnosti otpornosti na klizanje od karakteristika makrotekture asfalta. Nakon što se izvrše sva navedena ispitivanja i dobiju podaci o stanju i kvalitetu asfaltnog zastora, potrebno je uraditi eksperiment utvrđivanja dužine zaustavnog puta vozila na suvom i na mokrom putu pri brzinama kretanja od 50 km/h i 60 km/h, kako bi se ocijenilo na koji način kvalitet asfaltnog zastora utiče na zaustavni put.

Poseban doprinos rezultati ispitivanja otpornosti na klizanje mogu da imaju u istragama i analizama okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda te analize opasnog mjesta, dijela dionice ili dionice puta s obzirom na učestalost i težinu saobraćajnih nezgoda. Takođe, upravljači puteva bi u okviru svojih redovnih periodičnih aktivnosti revizije puteva trebalo da rade ispitivanja otpornosti asfalta na klizanje, kako bi vršili selekciju dionica i dijelova dionica prioriternih za sanaciju.

Priznanja

Ovaj rad je izrađen na osnovu provedenog istraživanja u okviru istraživačkog rada „Ispitivanje otpornosti na klizanje u cilju analize kvaliteta kolovoznog zastora magistralnog puta sa aspekta upravljanja bezbjednošću saobraćaja“ na doktorskom studiju te u vezi sa tim se iskazuje zahvalnost Fakultetu za saobraćaj i komunikacije Univerziteta u Sarajevu na pružanju mogućnosti i ustupanju opreme za provođenje istraživanja.

Literatura

- [1] Jokanović, I. (2016). Uticaji na kolovozne konstrukcije. Skripta predavanja. Univerzitet u Novom Sadu. Građevinski fakultet Subotica.
- [2] Lindov, O. (2008). Sigurnost u cestovnom saobraćaju (1st ed.). Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije.
- [3] Mandić, V., Lindov, O. (2013). Ocjena bezbjednosnog potencijala visokorizičnih dionica magistralne putne mreže na području lokalnih zajednica Republike Srpske primjenom NSM metodologije. Zbornik radova II stručnog seminara „Bezbjednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“, 7.
- [4] Mandić, V., Lindov, O. (2013). Identifikacija visokorizičnih dionica na magistralnoj putnoj mreži shodno Direktivi 2008/96. Zbornik radova IV Međunarodnog simpozijuma „Novi horizonti saobraćaja i komunikacija“, 6.
- [5] Marić, I. (2020). Metode i uređaji za mjerenje kvalitete asfaltbetonskih kolničkih zastora. Završni rad. Univerzitet u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 29-30.
- [6] Pranjić, I., Cuculić, M., Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A. (2015). Usporedba rezultata mjerenja trenja različitim tehnologijama, 3.
- [7] Wallman, C.G., Åström, H. (2001). Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. Linköping, Sweden: A literature review. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) SE-581 95.
- [8] Zakon o osnovama sigurnosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini. (2006). Službeni glasnik BiH, br. 6/2006, 75/2006, 44/2007, 84/2009, 48/2010, 18/2013, 8/2017, 89/2017 i 9/2018.
- [9] Zakon o bezbjednosti saobraćaja na putevima Republike Srpske. (2011). Službeni glasnik Republike Srpske, br. 63/11, 111/21.
- [10] European Committee for Standardization. (2011). Standard EN 13036-4:2011. Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface: The pendulum test.
- [11] Institut za standardizaciju BiH. (2012). Standard EN 13036-4:2012. Karakteristike gornjih površina puteva i aerodroma - Metode ispitivanja - Dio 4: Metoda za mjerenje hrapavosti površina - Ispitivanje pomoću klatna.
- [12] Evropska Komisija. (2008). Direktiva 2008/96/EC o bezbjednosti putne infrastrukture. Službeni list Evropske Unije, br. 319/61.
- [13] Evropska Komisija. (2019). Direktiva (EU) 2019/1936 o izmjenama Direktive 2008/96/EC o bezbjednosti putne infrastrukture. Službeni list Evropske Unije, br. 305/1.
- [14] Ministry of Transport. (1969). Road Note 27 - Instructions for using the portable skid-resistance tester - Second Edition. London: Road Research Laboratory, 4.
- [15] MUP RS. (2022). Izvještaji o stanju bezbjednosti saobraćaja Ministarstva unutrašnjih poslova RS. Policijska uprava Istočno Sarajevo, Policijska stanica Rogatica.
- [16] J.P. "Putevi RS". (2020). Brojanje vozila na mreži puteva u Republici Srpskoj – 2017. godina.
- [17] Tehničke karakteristike opreme za mjerenje i uputstva za upotrebu.

Testing and Analysis of the High-risk Road Section Elements Concerning the Pavement Quality and its Impact on the Adhesion Coefficient Value

Valentina Ivanović, M.Sc

Faculty of Traffic and Communications, University of Sarajevo, Sarajevo, B&H

Osman Lindov, Ph.D.

Faculty of Traffic and Communications, University of Sarajevo, Sarajevo, B&H

Milija Radović, grad.eng.

Traffic Safety Agency, Banja Luka, B&H

Abstract: In the structure of factors on which traffic safety depends, road and road elements occupy an important place in the traffic safety management system. The elements of the road create the conditions for the danger caused by other elements to turn into a traffic accident. Road elements can affect the occurrence of traffic accidents, but in particular, they can affect the "weight", i.e. the result of a traffic accident. This statement is supported by the fact that there are a number of influential elements of the road that can be direct or indirect causes of traffic accidents. The condition and quality of the roadway affect the safety of the traffic as a direct factor. The paper emphasizes the quality of the carriageway curtain and the analysis of the impact of the same on the value of the adhesion coefficient. The value of the adhesion coefficient is determined by practical measurement with a pendulum (Skid Resistance Taster) on parts of a high-risk section of the main road, in order to achieve its satisfactory quality, i.e. satisfactory grip coefficient.

Keywords: Road, Pavement, Adhesion, Coefficient