

KLIZAVOST HABAJUĆIH SLOJEVA PUTEVA II REDA SA ASPEKTA OTPORNOSTI NA POLIRANJE AGREGATA

Olivera Đokić, dipl.inž.geol.

Institut za puteve ad, Beograd, o.djokic@highway.rs

Suzana Stefanović, dipl.inž.građ.

Institut za puteve ad, Beograd, suzana.stefanovic@highway.rs

mr Bratislav Milić, dipl.inž.građ.

Institut za puteve ad, Beograd, b.milic@highway.rs

Stručni rad

Rezime: *Habajući sloj fleksibilne kolovozne konstrukcije izgrađen je od asfalt betona, skeletnog mastiks asfalta ili neke druge asfaltne mešavine. Agregati u ovoj mešavini treba između ostalog, da poseduju i odgovarajuću otpornost prema poliranju, kako bi doprineli ukupnoj otpornosti na klizanje kolovoza. U radu su pregledno prikazane minimalno zahtevane vrednosti polirnosti agregata (PSV) propisane u nekim evropskim zemljama, Srbiji i zemljama u okruženju. Data je zatim, ocena stanja kolovoza državnog puta IIA reda Topola 1 – Bućin Grob koja se, prema izmerenim vrednostima otpornosti na klizanje (SRT) i dubini teksture, kreće u opsegu od dovoljno velike do premalene. Ova deonica predviđena je za rehabilitaciju u 2016. godini. U cilju podizanja svesti o bezbednosti saobraćaja, sugerisano je da se u projektima rehabilitacije propisuju veće vrednosti polirnosti od PSV₃₀ za puteve srednjeg saobraćajnog opterećenja, što bi vodilo ka selekciji hrapavijeg agregata za površinska presvlačenja. Ovo je posebno značajno za puteve srednjeg saobraćajnog opterećenja, gde su za vreme gradnje u habajućim slojevima upotrebljeni krečnjaci.*

Ključne reči: *mikrotekstura, hrapavi agregati, regionalni putevi, bezbednost*

SKID RESISTANS OF WEARING COURSES OF II ORDER ROADS FROM THE ASPECT OF RESISTANCE TO POLISHING OF AGGREGATES

Olivera Đokić, M.Sc., geol.

Highway Institue, Belgrade, o.djokic@highway.rs

Suzana Stefanović, M.Sc.CE

Highway Institue, Belgrade, suzana.stefanovic@highway.rs

Bratislav Milić, M.Sc.CE

Highway Institue, Belgrade, b.milic@highway.rs

Professional papaer

Summary: Wearing course of flexible pavement is built of asphalt concrete, stone mastic asphalt or some other asphalt mixture. Aggregates in this mixture should possess, among other things, appropriate resistance to polishing, in order to contribute to the overall skid resistance of pavement. In this paper the requirements for minimum polished stone value of aggregates (PSV) are outlined for some European countries, Serbia and its surrounding countries.

Also, the skid resistance assessment of national road - IIA class Topola 1 - Bućin Grob is provided. According to measurements of skid resistance (SRT) and the texture depth, the assessment ranges from skid resistant to slippery. This section is planned for rehabilitation in 2016. In order to raise traffic safety awareness, it is suggested for rehabilitation designs to define polished stone value higher than PSV₃₀ for roads with medium traffic load. This would lead to the selection of aggregates with rougher texture for surfacing of regional roads. That is particularly important for roads with medium traffic load where the limestones were used during the construction of wearing courses.

Keywords: microtexture, roughness aggregates, national road, security

1. UVOD

Na putevima u Srbiji, kao važnoj sponi između Evrope i Bliskog istoka, poslednjih decenija povećan je intezitet saobraćaja. Stalna tendencija ka udobnijom i bezbednijom vožnjom diktiraju da zahtevi koji se odnose na kvalitet habajućeg sloja kolovozne konstrukcije budu sve viši. Zbog toga inženjeri moraju da isprojektuju bezbednu, izdrživu i ekonomičnu kolovoznu površinu bilo da je u fazi izgradnje ili je predviđena za rehabilitaciju. Habajuća površina kolovoza mora da obezbedi zadovoljavajuću otpornost prema klizanju odnosno trenje između površine puta i guma točkova tokom vožnje. Izbor odgovarajućeg agregata, koji čini 93-95% mase ugrađene asfaltne mešavine u habajućem sloju, takođe je ne manje odgovoran posao.

U Srbiji se za izradu habajućeg sloja od asfalt-betona za sve grupe saobraćajnog opterećenja koriste magmatske (silikatne) stene. Tehnički uslovi međutim, dozvoljavaju da se za srednje saobraćajno opterećenje koriste sedimentne i metamorfne stene.

U našim kamenolomima, prema podacima iz baze podataka Instituta za puteve, krečnjaci imaju srednju vrednost polirnosti PSV 39, dolomiti 37, drobljeni šljunak 46, a dolomitski mermer 47 [1]. Ove stene delom su ugrađene u habajuće slojeve puteva II reda, kojih u Srbiji (baza podataka javnog preduzeća Putevi Srbije iz 2014. godine) ukupno ima 9552 km [2].

Potencijalno su opasni sa aspekta klizavosti kolovoza u mokrim uslovima nakon određenog vremena eksploatacije. Projektom rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja [3], trideset sedam kilometara puteva II reda predviđeno je za rehabilitaciju u prvom ciklusu hitnih radova urgentnog održavanja i sanacije oštećenja 192 km državne putne mreže I i II reda.

Ovaj projekat finansira se iz sredstava Evropske banke za obnovu i razvoj (EBRD) [3]. Zbog povećane potrebe za unapređenjem bezbednosti saobraćaja, kao što je naznačeno u 1. komponenti Projekta rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja, očekuje se da i projektanti daju doprinos toj ideji.

U radu su prikazane minimalno zahtevane vrednosti polirnosti kamenih agregata za izradu habajućih slojeva puta koji se primenjuju u nekim razvijenim zemljama Evropske unije, Srbiji i zemljama bivših jugoslovenskih republika. Data je zatim, ocena stanja klizavosti kolovoza državnog puta IIA reda Topola 1 – Bućin Grob, koji je u 2016. godini predviđen za rehabilitaciju prema Glavnom projektu urgentnog održavanja i otklanjanja oštećenja državnog puta IIA reda br. 152 Topola 1 - Bućin grob km 0+000 – km 27+280 (CeSCOWI d.o.o.). Tehnička regulativa za rehabilitaciju radi se prema Tehničkim specifikacijama – PKK, plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija [4] i bazirana je na evropskim standardima. Deonica je prvobitno imala habajući sloj od karbonatnog materijala.

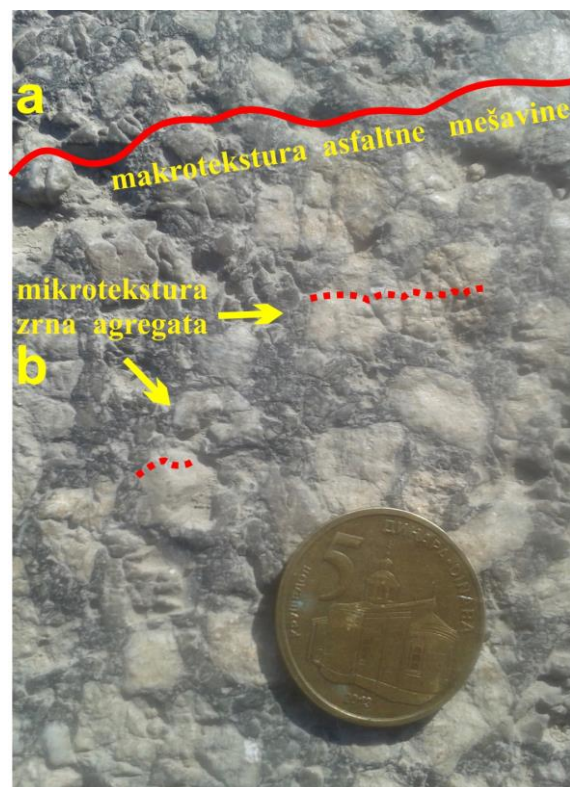
2. OTPOR PREMA KLIZANJU HABAJUĆEG SLOJA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE

Habajući sloj ima poseban značaj u kolovoznoj konstrukciji zato što je direktno izložen saobraćajnom opterećenju. Prima direktne uticaje saobraćajnog opterećenja (tangencijalno i vertikalno dejstvo pneumatika, habanje), ali i uticaje sredine (dejstvo temperature, sunčevih zraka, vode, mraza i drugo). Habajući sloj osim pomenutog, treba da zaštiti ostali deo kolovozne konstrukcije i obezbedi udobnost u vožnji, da ima ravnu površinu, ispravne padove (poprečni i podužni) radi dobrog odvodnjavanja i da ima potrebnu hrapavost koja obezbeđuje dobru adheziju sa pneumatikom [5].

Otpor prema klizanju mokrog kolovoza predstavlja kombinaciju više faktora, od kojih se izdvajaju mikrotekstura, makrotekstura i megatekstura površine puta (**slika 1**). Mikrotekstura površine zrna agregata doprinosi adheziji između gume i površine puta i dominantan je faktor za otpor prema klizanju pri manjim brzinama.

Makrotekstura puta formirana od zrna agregata koja vire iz asfaltne mešavine, štiti površinu puta od tečnih filmova koji se stvaraju između gume i puta u uslovima kada je mokar kolovoz, čime se obezbeđuju kanali za odvod vode. Ovo je naročito važno pri većim brzinama (>65 km/h). Megatekstura puta utiče na njegovu sposobnost da ukloni vodu, naročito na kolotrazima puta, kao i na apsorpciju buke [6].

Parametar koji pokazuje kolika je otpornost agregata protiv polirajućeg dejstva pneumatika predstavljen je koeficijentom poliranja kamena (*Polished stone value* - PSV). Smatra se jednim od najvažnijih koeficijenata kada je u pitanju izbor agregata za izgradnju habajućih slojeva puteva. Metoda za merenje koeficijenta poliranja opisana je u standardima SRPS B.B8.120 [7] i SRPS EN 1097-8 [8]. Minimalno propisane vrednosti koeficijenta poliranja u Evropi i kod nas prikazane su u tabelama 1 i 2.



Slika 1. Makrotekstura površine puta II reda Topola 1 – Bućin Grob (a), (b) mikrotekstura zrna agregata pokazuje slabu hrapavost površine zrna (Izvor: Institut za puteve, Odeljenje za kolovozne konstrukcije, mart 2016.).

Jedna od metoda za merenje klizavosti nakvašene površine habajućeg sloja kolovoza je pomoću klatna (*Skid Resistance Tester* - SRT) i dubine teksture prema SRPS U.C4.018 [9]. Za ocenu stanja kolovoza izdvojena je deonica državnog puta IIA reda br. 152 Topola 1 - Bućin grob srednjeg saobraćajnog opterećenja, potez km 5+000 – km 5+700, na kom prevladuje habajući sloj izveden sa krečnjačkim agregatom.

Na navedenom potezu meren je otpor klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija SRT klatnom u kombinaciji sa peskarenjem (**slika 2**). Rezultati su prikazani u tabeli 3. U tabeli 4 prikazana je ocena otpora klizanju prema standardu SRPS U.C4.019 [10].



Slika 2. Merenje otpornosti na klizanje kolovoza SRT klatnom na putnom pravcu IIA reda Topola – Bučin grob pre rehabilitacije (Izvor: Institut za puteve, Odeljenje za kolovozne konstrukcije, mart 2016.).

3. ZAHTEVI ZA VREDNOSTI POLIRNOSTI AGREGATA U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE

Kvalitet agregata koji se ugrađuje u habajući sloj zavisi od dostupnosti agregata na tržištu ali i od tehničkih uslova svake zemlje. U ovom poglavlju dat je prikaz tehničkih uslova kvaliteta agregata za vrednost polirnosti koji su na snazi u nekim razvijenim zemljama Evropske unije.

Tabela 1. Minimalno zahtevane vrednosti polirnosti u nekim zemljama Evrope

Tehnički uslovi kvaliteta agregata u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja						
	V. Britanija ('06; '08; '09; '12)	V. Britanija ('09)	Austrija ('09)	Austrija RVS ('10)	Francuska ('08)	Nemačka ('07)
mesto primene	Putevi i mostovi; Autoputevi	Aerodromi	Opšti	Opšti	Opšti	Opšti
sloj	habajući	SMA za habajući	habajući i	SMA za habajući	habajući	SMA za habajući
klase/ vrsta agregata	CE znak	CE znak	CE znak	G1, G2, G3, GS	Anc, Bnc, Cnc, Dnc	CE znak
EN 1097-8 Otpornost na poliranje min	PSV ₅₀₋₆₈ ⁺ HFS ₇₀ ⁺ mešavine posute strugotinom PSV ₄₄	- pista velike frekvencije saobraćaja - pista PSV ₅₀ - ručna staza PSV ₄₄ - ručna staza niske frek. saobraćaja PSV _{NR}	PSV ₅₀ PSV ₄₄ PSV _{propisano}	G1, GS - PSV ₅₀ G2 - PSV ₄₄ G3 - PSV _{propisano}	Anc – PSV ₅₆ Bnc – PSV ₅₀ Cnc – PSV ₅₀	PSV određeno (51,48,42) PSV _{NR}
Objašnjenje: SMA - Stone mastics asphalt (primer mešavine); - površina visokog trenja; PSV _{NR} - nije zahtevano.						HFS

Bazirani su u skladu sa zahtevima za ispitivanjima agregata za izradu bitumenskih mešavina prema standardu EN 13043 [11]. U tabeli 1 date su minimalno zahtevane vrednosti polirnosti u nekim razvijenijim zemljama Evrope, kao što su u Velikoj Britaniji [12-16], Austriji [17-18], Francuskoj [19] i Nemačkoj [20].

Tehnički uslovi propisuju se u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine (na primer asfalt betona, skeletnog mastiks asfalta i drugih bitumenskih mešavina), kategorije puta i saobraćajnog opterećenja.

U Velikoj Britaniji vrednosti polirnosti se propisuju od PSV₅₀ do PSV₆₈₊, a koristi se veštački agregat - kalcinirani boksit za pripremu specijalizovanih površina visokog trenja (*High friction surfacing* - HFS) gde su vrednosti polirnosti agregata veće od 70. Na autoputevima gde saobraćaj uglavnom slobodno teče po relativno pravoj liniji minimalno je propisana vrednost od PSV₅₀. Sa povećanjem saobraćajnog opterećenja ovaj koeficijent raste do vrednosti PSV₆₅.

Blizu pešačkih prelaza, kružnih tokova i drugih situacija visokog rizika gde su zastupljena kočenja i skretanja, zahtevi za minimalnim vrednostima koeficijenta se povećavaju do PSV₆₈₊ i HFS₇₀₊. Na prilazima opasnih mesta kao što su kružni tokovi, krivine i druge opasnosti koje zahtevaju kombinovano kočenje i skretanje, minimalna dužina tretmana površinom visokog trenja mora biti 50 m. Izuzetak su rulne staze aerodroma i mešavine posute kamenom strugotinom sa PSV₄₄.

U Francuskoj je najniži zahtev koeficijenta poliranja takođe PSV₅₀, ali je opseg zahtevanih vrednosti manji i ide do PSV₅₆. U Nemačkoj i Austriji dozvoljene su niže vrednosti, ali one ne padaju ispod vrednosti od 42.

4. ZAHTEVI ZA KVALITET AGREGATA KOD NAS I U ZEMLJAMA U OKRUŽENJU

U tabeli 2 hronološki su prikazane minimalno zahtevane vrednosti polirnosti koji se primenjuju u Srbiji [21-25];[4]. Kod nas je još uvek na snazi Naredba o obaveznom atestiranju iz 1987. godine, po kojoj se ispituje kvalitet kamena kao sirovine za proizvodnju agregata i svojstva samog agregata, kao i standard SRPS (JUS) U.E4.014 za habajući sloj od asfalt betona.

Opšti i posebni Tehnički uslovi za Koridore 10 i 11 naslanjaju se na pomenuta dokumenta. Tehnički uslovi dosta su zahtevni i od kamena i agregata se očekuje da budu čvrsti, otporani na drobljenje, habanje, malog upijanja vode i postojani na dejstvo mraza.

Granične vrednosti se propisuju u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine i saobraćajnog opterećenja. Tako je na primer za izradu asfalt-betona srednjeg saobraćajnog opterećenja zahtevana minimalna vrednost polirnosti VPK_{30k} za karbonatne stene (PSV=VPK), a za teško saobraćajno opterećenje i autoput od silikatnih stena VPK_{48s}.

Poređenja radi, prikazani su i tehnički uslovi polirnosti koji su na snazi u zemljama bivših jugoslovenskih republika - primer Hrvatske [26-27] i Bosne i Hercegovine [28].

Tabela 2. Minimalno zahtevane vrednosti polirnosti koji se primenjuju u Srbiji i zemljama bivših jugoslovenskih republika (primer Hrvatske i Bosne i Hercegovine)

Tehnički uslovi kvaliteta agregata u zavisnosti od vrste asfaltne mešavine, kategorije puta i saobraćajnog opterećenja				
	Srbija SRPS U.E4.014 ('90)	Srbija JP Putevi Srbije ('09a)	Srbija JP Putevi Srbije, Koridor 10 ('09b)	Srbija JP Putevi Srbije, Koridor 11 ('12a)
primenljivost uslova	Standard	Opšti	Autoput	Autoput
sloj	habajući	habajući	SMA, AC za habajući	SMA, BC za habajući
klase/vrsta agregata	drobljeni silikatni i karbonatni, prirodni	drobljeni silikatni	drobljeni silikatni	SMA drobljeni silikatni BC drobljeni karbonatni
SRPS B.B8.120 Otpornost na poliranje min	autoput i vrlo teško – VPK _{48s} teško – VPK _{48s} srednje – VPK_{48s,30k} lako – VPK _{45s,30k} , vrlo lako – VPK _{NR}	autoput i vrlo teško – VPK _{48s} teško – VPK _{48s} srednje – VPK_{48s,30k} lako – VPK _{45s,30k} , vrlo lako – VPK _{NR}	SMA – VPK ₄₈	SMA – VPK ₄₈
Objašnjenje: markirane su vrednosti za srednje saobraćajno opterećenje; 48s - silikatna, 30k - karbonatna, VPK - vrednost polirnosti po srpskom standardu (ekvivalent PSV po evropskom standardu), NR - nije zahtevano; SMA - skeletni mastiks asfalta, AC – asfalt beton; BC - bitumen concrete.				
	Srbija JP Putevi Srbije, TU za građenje puteva ('12b)	Srbija JV Nivelet – CPL, TS za rehabilitacije ('15)	Hrvatska IGH, dodatak Prilog 3 ('01, '15)	BIH JP Direkcija cesta Federacije BiH & JP Putevi RS ('05)
mesto primene	Rehabilitacije	Rehabilitacije	Opšti	Posebni
sloj	AC za habajući	AC za habajući	AB za habajući	AC za habajuće i zaštitne slojeve
klase/vrsta agregata	Z1, Z2, Z3,	drobljeni silikatni i karbonatni	KS-E-I,II,III KS-S-I,II,III,IV	drobljeni silikatni i karbonatni, prirodni
SRPS B.B8.120	- autoput Z1 – PSV ₅₀ - vrlo teško i teško Z1/Z2 – PSV ₅₀ - srednje Z2 – PSV ₅₀ - lako, v. lako *Z2/Z3 PSV _{50/PSV₃₀}	- autoput, v.teško i teško PSV ₅₀ - srednje, lako, v. lako PSV _{NR}	KS-E-I VPK₅₆ KS-E-II, III VPK₅₀ KS-S-I,II VPK₄₄ (SMA) KS-S-III,IV VPK _{NR}	izuzetno i jako teško – PSV _{50s} , teško – PSV _{50s} , srednje - PSV_{50s,30k} lako – PSV _{45s,30k} , vrlo lako – PSV _{45s}
SRPS EN 1097-8 Otpornost na poliranje min				
Objašnjenje: markirane su vrednosti za srednje saobraćajno opterećenje; VPK - vrednost polirnosti po hrvatskom standardu (ekvivalent PSV po evropskom standardu), NR - nije zahtevano; AC – asfalt beton; KS - kamena sitnež; E-eruptivno poreklo; S - sedimentno poreklo; 50s - silikatna, 30k - karbonatna.				
*Važi za državne puteve				

5. MERENJA OTPORNOSTI NA KLIZANJE I DUBINE TEKSTURE KOLOVOZA

Mreža državnih puteva II reda u našoj zemlji uglavnom je starosti pedesetak godina. Prilikom građenja puteva ovog ranga najčešće se koristio karbonatni agregat u sastavu asfaltnih mešavina. Kroz radove redovnog i pojačanog održavanja, tokom perioda eksploatacije, vršene su razne opravke i presvalačenja kolovoza, što je prouzrokovalo na pojedinim deonicama zastupljenost habajućih slojeva spravljanih i sa krečnjačkim i sa eruptivnim agregatom. Za merenja klizavosti kolovoza izabran je deo deonice sa prvobitnim karbonatnim agregatom i to na mestima gde su vizuelnim osmatranjem izdvojene klizave površine kolovoza kao što je pokazano na slici 3.



Slika 3. Osmatranje klizavih površina kolovoza od asfalt-betona sa habajućim slojem od krečnjaka na putnom pravcu II reda Topola – Bućin grob pre rehabilitacije (Izvor: Institut za puteve, Odeljenje za kolovozne konstrukcije, mart 2016).

Na slici 3 prikazana je površina kolovoza državnog puta IIA reda br. 152 Topola 1 - Bućin grob, potez km 5+000 – km 5+700. Deonica je prvobitno izgrađena sa habajućim slojem od karbonatnog materijala. Uočljivo je da pojedina zrna u asfaltnoj mešavini nedostaju, što takođe utiče na ukupnu makrotekturu površine kolovoza, kako je pokazano u središnjem delu slike. Mikrotektura površine zrna agregata krečnjaka pokazuje slabu mikrohrapavost. Na slici se jasno vidi da su se zrna karbonatnog materijala tokom vremena eksploatacije kolovoza uglačala.

U tabeli 3 prikazane su vrednosti otpornosti na klizanje merene na četiri različita mesta izabranog puta kao i dubina teksture kolovoza na istim pozicijama.

Tabela 3. Otpornost na klizanje i dubina teksture kolovoza

Stacionaža državnog puta IIA reda Topola 1 – Bućin Grob	SRPS U.C4.018 SRT vrednost	SRPS U.C4.018 Dubina teksture metodom peskarenja (mm)
km 5+068	57,96	0,89
km 5+207	60,08	0,22
km 5+548	61,72	0,51
km 5+638	48,80	0,38

U tabeli 4 data je ocena stanja kolovoza u odnosu na merene vrednosti otpornosti na klizanje i dubinu teksture kolovoza.

Tabela 4. Ocena stanja kolovoza u odnosu na otpornost na klizanje i dubinu teksture kolovoza

Stacionaža državnog puta IIA reda Topola 1 – Bućin Grob	SRPS U.C4.019 Ocena klizavosti kolovoza
km 5+068	Moraju se izvršiti dodatna merenja vučenim ukočenim točkom
km 5+207	Moraju se izvršiti dodatna merenja vučenim ukočenim točkom
km 5+548	Otpor klizanju dovoljno velik
km 5+638	Otpor klizanju je premalen

6. DISKUSIJA

U zemljama Evropske unije standard EN 13043 [11] čini polaznu osnovu za kategorizaciju agregata za puteve, ali geološki resursi, klimatski faktori i ekonomski uslovi predstavljaju primarne faktore pri definisanju lokalnih (nacionalnih) kriterijuma tj. nacionalnog dodatka svake zemlje ponaosob.

Tehnički uslovi u Velikoj Britaniji na primer (tabela 1), propisuju da agregati za habajuće slojeve autoputeva moraju da budu trajni što uključuje otpornost na poliranje, habanje, površinsko raspadanje, odnosno otpornost na bilo koji faktor koji može da umanjuje njegovo postojanje u habajućem sloju puta. Današnje shvatanje visoko kvalitetnog putnog agregata (*High Specification Aggregates* - HSA) u ovoj zemlji obuhvata prirodne i veštačke agregate koji zadovoljavaju kriterijume poliranja ($PSV \geq 58$), habanja ($AAV \leq 16$), drobljenja ($LA \leq 30$), postojanosti na mraz ($MS \leq 25$) i koji su pogodni za upotrebu u površinskim presvlačenjima zahtevnih deonica i/ili deonica sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjima [29].

Većina asfaltnog zastora u ovoj zemlji koristi ovakav materijal. Za manja saobraćajna opterećenja koriste se agregati sa manjim vrednostima PSV-a, ali ne manjim od 50. Izuzetak su rulne staze aerodroma sa PSV₄₄ i mešavine posute kamenom strugotinom što su inače i najniži zahtevi polirnosti u ovoj zemlji. Pregledom graničnih vrednosti polirnosti u tabeli 1 generalno se može zaključiti da Velika Britanija favorizuje bezbednost vožnje, pa samim tim akcenat stavlja na što bolje karakteristike polirnosti agregata.

Sa druge strane, u Evropi su široko rasprostranjeni agregati sa opsegom vrednosti polirnosti PSV od 50 do 60 i malo je drugačija stopa nezgoda usled proklizavanja po mokrim kolovozima [30]. Mediteranske zemlje međutim, imaju široku rasprostranjenost krečnjaka, koji generalno pokazuju niže vrednosti čvrstoća i slabijih su otpornosti prema poliranju. Gust saobraćaj i topla klima sa jedne strane, a asfalt- betonske mešavine od karbonatnog agregata sa druge strane, daju habajuće slojeve koji su ekstremno opasni kada su mokri [31].

Većina evropskih zemalja, do početka procesa harmonizacije evropskih standarda, nije obraćala veliku pažnju na karakteristike otpora prema klizanju habajućih slojeva puta. Naprotiv, karakteristike čvrstoće i trajnosti su bile cenjenije. Sa procesom evropske harmonizacije, potreba da se obezbedi sigurnost na putu postala je prioritetna [31].

Na klizavost kolovoza osim mikroteksture i makroteksture utiču i mnogobrojni drugi faktori kao što su brzina kretanja vozila, vlažnost kolovoza, godišnje kolebanje temperatura, kolotrazi, tip asfaltne mešavine, prisustvo stranih čestica na površini kolovoza (pesak, prašina, ulja), oštećenost površine kolovoza, tip gume točka, dubina šare točka itd.

Ispitivanje uzroka saobraćajnih nezgoda usled proklizavanja veoma je kompleksan posao u kome učestvuje tim stručnjaka različitih profesionalnih orijentacija.

Postoje studije koje pokazuju da je učestalost smanjenja saobraćajnih nezgoda u Velikoj Britaniji, na primer, usled povećanja polirnosti agregata u površini kolovoza vrlo mala i iznosi svega oko 2 % [30].

Međutim, razlika između minimalno zahtevanih vrednosti (PSV_{50}) i visokokvalitetnog putnog agregata ($PSV \geq 58$) kod njih iznosi svega osam jedinica, pa su i promene u hrapavosti kolovoza usled promena karakteristika agregata male. Kod nas je situacija drugačija. Minimalno zahtevana vrednost polirnosti za puteve srednjeg saobraćajnog opterećenja sa karbonatnim materijalom je svega PSV_{30} .

Razlika između PSV₃₀ i PSV₅₀ (kao minimalnog zahteva polirnosti u Velikoj Britaniji, tabela 1) je dvadeset jedinica, a razlika između PSV₃₀ i PSV₅₈ (kao visokokvalitetnog putnog agregata) je dvadeset osam jedinica, što u proseku čini dvadeset četiri jedinice, pa je realno kod nas očekivati smanjenje saobraćajnih nezgoda usled upotrebe agregata sa većim PSV vrednostima u habajućem sloju kolovoza.

Uprkos tome što podaci ukazuju da je faktor „put“ uzrok (skoro zanemarljivo) malog broja saobraćajnih nezgoda, odnosno da su kombinovani faktori „vozač“ i „vozilo“ dominantni uzrok broja nezgoda, a hrapavost površine kolovoza tek deo elemenata vezanih za faktor „put“ koji mogu biti uzrok saobraćajnih nesreća, potrebno je vršiti istraživanja uticaja hrapavosti puta na moguće smanjenje saobraćajnih nezgoda, odnosno uključiti i ovakva istraživanja u domen monitoringa rehabilitovanih puteva, naročito kada znamo da nam ovaj deo podataka nedostaje.

Gde je Srbija danas sa tehničkim uslovima? Do raspada Jugoslavije imali smo standarde i tehničke uslove, takozvane JUS standarde (danas SRPS) za ispitivanja i tehničke uslove kvaliteta agregata [21]. Ovi standardi bili su kompilacija američkih, nemačkih, britanskih i francuskih standarda, a tehnički uslovi prilagođeni kvalitetu mineralne sirovine cele zemlje. Od devedesetih godina na ovamo, svaka bivša republika menjala je tehničke uslove u skladu sa prelaskom na evropske standarde i geološku građu svog područja. Tako se i u Srbiji, u više navrata, propisivala različita tehnička regulativa.

Tehnički uslovi kvaliteta agregata u Srbiji promenili su se od devedesetih godina do danas. Iskorak prema upotrebi evropskih standarda i postavljanju granica, ali bez uključivanja potencijala geoloških resursa Srbije, urađeno je propisivanjem Tehničkih uslova za građenje puteva u Republici Srbiji iz 2012. godine, po kojima su se izdvojile tri kategorije za habajući sloj (Z1, Z2, Z3) i tri kategorije za noseći sloj (Z4, Z5, Z6). Ovi uslovi nalažu da se za izgradnju habajućeg sloja kolovozne konstrukcije koriste agregati koji imaju minimalne vrednosti polirnosti u zavisnosti od klase mešavina zrna (Z1 i Z2 - PSV₅₀; Z3 - PSV₃₀).

Prema tehničkim uslovima, mešavina zrna Z2 za asfalt betone može da se koristi u širokom rasponu grupa saobraćajnog opterećenja - od vrlo teškog, teškog, srednjeg, lakog i vrlo lakog (nastavak tabele 2). Treba imati u vidu i činjenicu da je lako saobraćajno opterećenje, računato u odnosu na osovinu od 100 kN iz Tehničkih uslova za građenje puteva u RS iz 2012. godine, ekvivalent srednjem saobraćajnom opterećenju računatom u odnosu na osovinu od 80 kN iz standarda SRPS U.E4.014.

Propisivanjem klase mešavine zrna Z2 sa vrednosti polirnosti PSV₅₀ za lako saobraćajno opterećenje znatno se unapređuje bezbednost saobraćaja u odnosu na propisane tehničke uslove iz SRPS U.E4.014 gde je za istu grupu saobraćajnog opterećenja dopuštena ravnopravna upotreba silikatnih (VPK_{48s}) i karbonatnih stena (VPK_{30k}) (tabela 2). S obzirom da su agregati od krečnjaka jeftiniji od silikatnih, logično je da su dosta ugrađeni u puteve srednjeg saobraćajnog opterećenja (SRPS U.E4.014). Ovi putevi često prolaze kroz naseljena mesta gde se brzine ograničavaju na maksimalno 50 km/h pa karakteristike mikrohrapavosti agregata, odnosno mikroteksture površine puta postaju dominantni faktori u proceni klizavosti kolovoza (**slika 3**).

Novija Tehnička regulativa u Srbiji takođe je bazirana na metodama ispitivanja kamenog agregata prema evropskim standardima: Tehničke specifikacije - plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija (PKK) prema kojima se vrše rehabilitacije putne mreže, a u okviru njih i tekuća ispitivanja kontrole kvaliteta materijala [4]. Kategorija polirnosti agregata za habajući sloj autoputa, vrlo teškog i teškog saobraćajnog opterećenja je PSV₅₀.

Za srednje, lako i vrlo lako saobraćajno opterećenje nisu postavljeni minimalni zahtevi, pa se i agregat sa bilo kojom vrednošću PSV-a može upotrebiti, što dopušta i upotrebu bilo kog krečnjačkog agregata. U ovom slučaju treba korigovati tehničke uslove na dva moguća načina: ili da se omogući projektantima izbor kategorije polirnosti agregata u projektima rehabilitacije puteva ili da se propiše minimalni uslov od PSV₄₄ (minimalni zahtev u Evropskoj uniji) ili PSV₅₀ (JP Putevi Srbije, 2012b) kao što je već ukazano od strane Instituta za puteve ad, Beograd [32].

Bivše jugoslovenske republike, Hrvatska i Bosna i Hercegovina imaju svoje nacionalne tehničke uslove (nastavak tabele 2) koji predstavljaju kombinaciju standarda JUS U.E4.014 (za habajući sloj od asfalt betona) i evropskih standarda. Zahtevane vrednosti polirnosti agregata u Hrvatskoj su u opsegu od VPK₄₄ do VPK₅₆. Hrvatska se sa tehničkim uslovima približila evropskim uslovima i postavila strožije zahteve kvaliteta kada je reč o polirnosti agregata u odnosu na uslove propisane jugoslovenskim standardima. Kod njih se za srednje saobraćajno opterećenje može koristiti kamena sitnež erupivnog porekla kategorije kvaliteta I (VPK₅₆), zatim kategorije kvaliteta II, III (VPK₅₀) i sedimentnog porekla kategorije kvaliteta I (VPK₄₄). U Bosni i Hercegovini za srednje saobraćajno opterećenje dozvoljeno je korišćenje karbonatnog materijala sa PSV_{30k} ili silikatnog sa PSV_{50s}.

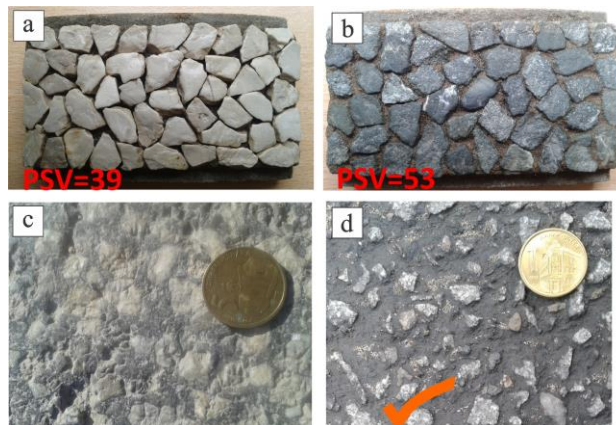
Pitanje koje se iz napred izloženog postavlja je kako su tehnički uslovi, koji su bili na snazi u vreme izgradnje puta, uticali na stanje klizavosti kolovoza predmetne deonice?

Možemo reći da je na predmetnom potezu, na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja (tabela 3), otpor klizanju habajućeg sloja nehomogen i na pojedinim lokacijama nezadovoljavajući (tabela 4), tako da je sa aspekta bezbednosti saobraćaja potrebna zamena habajućeg sloja. Generalno posmatrano, državni put IIA reda Topola – Bućin grob sa ugrađenim agregatom krečnjaka (slika 4a,c) je opasan u pojedinim, a na putu neobebeženim tačkama, sa aspekta klizavosti kolovoza u mokrim uslovima, nakon proteklih godina eksploatacije.

Cela deonica je, pa i osmatrana površina, predviđena za rehabilitaciju u 2016. godini. Što se tiče kvaliteta materijala i konstrukcija izvodiće se prema Glavnom projektu i Tehničkim specifikacijama – PKK [4]. Ovim tehničkim uslovima za srednje saobraćajno opterećenje propisano je da se vrednost polirnosti agregata ne zahtevaju (PSV_{NR}) već se određuju ispitivanjem. Time nije ostavljena mogućnost projektantima da propisuju određenu kategoriju agregata sa aspekta otpornosti na poliranje i samim tim garantuju kvalitet habajućeg sloja. Zbog toga Projekat rehabilitacije ovog putnog pravca treba korigovati u pravcu osiguranja izbora hrapavijih agregata (slika 4b-d) viših PSV vrednosti, kako bi se doprinelo povećanju ukupne hrapavosti površine kolovoza [32]. S obzirom da se radi o paušalnim preporukama koje se odnose na prvu grupu Projekta rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja u 2016. godini, one ustvari imaju za cilj da ukažu da bi bilo vrlo korisno istražiti sledeće:

- Od kojih agregata (krečnjačkog, silikatnog, mešanog) su izgrađeni habajući slojevi puteva „srednjeg saobraćajnog opterećenja“;
- Koji broj saobraćajnih nezgoda se dogodio na ovim putevima;
- Koji deo ovih saobraćajnih nezgoda je bio uzrokovan faktorom „put“;
- Za koji deo tih nesreća je uzrok bilo nedovoljno trenje na kontaktu između pneumatika i kolovoza;
- Da li su ovi putevi ispresecani mrežastim pukotinama i „rupama“ koje realno smanjuju uticaj stanja klizavosti kolovoza i smanjuju brzinu kretanja vozila;
- Da li su ovi putevi prometni u dovoljnoj meri da bi došlo do poliranja agregata ili su usled slabe prometnosti i delovanja atmosferilija prirodno ohrapavljeni.

Sve su ovo predlozi novih istraživačkih Projekata vezanih za klizavost kolovoza naše putne mreže iz kojih se nameće sugestija da se nakon rehabilitacije puteva nastavi sa monitoringom stanja površine kolovoza u predviđenom projektnom periodu. Dobijeni podaci bi bili dragoceni za eventualno korigovanje postojećih tehničkih specifikacija ili potvrde ispravnosti istih [33].



Slika 4. Epruveta sa agregatom od krečnjaka (a) nakon poliranja u laboratorijskim uslovima i (c) kolovoz državnog puta IIA reda Topola – Bućin grob sa ugrađenim agregatom krečnjaka nakon određenog perioda eksploatacije; (b) agregat sa doleritom (dijabazom) ima hrapaviju površinu nakon poliranja što se vidi i na slici ispod (d) gde je prikazan silikatni agregat ugrađen u jednu beogradsku ulicu. (Izvor: Institut za puteve, 2016.).

7. ZAKLJUČAK

Projektom rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja (RRSP) – urgentno održavanje iz 2014. godine obuhvaćeno je i trideset sedam kilometara puteva II reda, u okviru prvog ciklusa urgentnog održavanja i sanacije oštećenja 192 km državnih puteva I i II reda. Deo habajućih slojeva ovih puteva izgrađen je od krečnjaka i/ili dolomita slabijih karakteristika polirnosti, a samim tim i otpornosti na klizanje kolovoza.

Doprinos unapređenju bezbednosti saobraćaja kod nas sa stanovišta projektovanja bio bi neophodnost preispitivanja kategorija polirnosti (PSV) agregata Tehničkih specifikacija - PKK iz 2015. godine, za puteve srednjeg saobraćajnog opterećenja ili dopuštanje izbora odgovarajućih kategorija od strane projekatanta. U cilju upotrebe agregata viših vrednosti polirnosti, predlozi za korekciju mogli bi se realizovati na jedan od sledećih načina:

- projektovati AB11 ili neki drugi tip mešavine (kontinuiranog granulometrijskog sastava), ali povećati vrednost polirnosti agregata na PSV_{44} (minimalni zahtev većine zemalja Evropske unije) ili PSV_{50} (kako je naznačeno u Tehničkim uslovima za građenje puteva u RS iz 2012. godine) ali bez naznake karbonatnog ili silikatnog sastava agregata,

- Projektovati SMA mešavine (diskontinuiranog granulometrijskog sastava) i u habajućem sloju kolovozne konstrukcije srednjeg saobraćajnog opterećenja,
- omogućiti projektantima izbor kategorije polirnosti agregata u projektima rehabilitacije puteva.

Ovim se otvara mogućnost ugradnje kvalitetnijih asfaltnih mešavina sa aspekta otpora klizanju i samim tim povećava bezbednost saobraćaja u Srbiji.

Literatura / References

- [1] Djokic, O., Milicevic, V. (2013). Main technical characteristics of rocks used in road construction in Serbia. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 72, 137–141.
- [2] Institut za puteve ad (2014). Studija o proceni vrednosti osnovnih sredstva JP „Putevi Srbije“ na dan 01.01.2014., knjiga 1: Detaljni rezultati procene vrednosti državnih puteva Republike Srbije. *JP Putevi Srbije*.
- [3] JP Putevi Srbije (2015): Projekat rehabilitacije puteva i unapređenja bezbednosti saobraćaja (RRSP - Road Rehabilitation and Safety Project). Dostupno preko: <http://www.putevi-srbije.rs/index.php/organizacija/sektor-za-investicije/odeljenje-za-realizaciju-i-upravljanje>.
- [4] Joint Venture Nievelt – CPL. (2015). Tehničke specifikacije – PKK, Plan kontrole kvaliteta za laboratorijska ispitivanja materijala i konstrukcija, Rev No 01. *JP Putevi Srbije*, Srbija.
- [5] Subotić, P. (1997). *Priručnik za asfalt*. Institut za puteve, Beograd.
- [6] Woodside, A., Woodward, D. (2002). Chapter 18 - Wet skid resistance. In: *Highways (Fourth Edition)*, pp. 479–499. Elsevier Ltd.
- [7] SRPS B.B8.120:1988: Ispitivanje polirnosti drobljenog kamenog agregata. *Savezni zavod za standardizaciju*.
- [8] SRPS EN 1097-8:2010: Određivanje koeficijenta poliranja kamena. *Institut za standardizaciju Srbije*.
- [9] SRPS U.C4.018: 1984. Ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija. *Savezni zavod za standardizaciju*.
- [10] SRPS U.C4.019: 2013. Ispitivanje otpora klizanju habajućeg sloja kolovoznih konstrukcija – Tehnički zahtevi. *Institut za standardizaciju Srbije*.
- [11] SRPS EN 13043:2007: Agregati za bitumenske mešavine i površinsku obradu kolovoza, aerodroma i drugih saobraćajnih površina. *Institut za standardizaciju Srbije*.
- [12] Design manual for Roads and Bridges (DMRB). (2006). Volume 7: Pavement design and maintenance, Section 5: Pavement materials, Part 1, HD36/06: Surfacing materials for new and maintenance construction, UK.
- [13] MCHW1. (2008). Manual of contract documents for Highway works. Volume 1: Specification for Highway works (MCHW1), *Series 900 Road Pavements – Bituminous Bound Materials*, UK.
- [14] MCHW2. (2009). Manual of Contract Documents For Highway Works. Volume 2: Notes for guidance on the Specification for Highway works (MCHW2), *Series NG 700 Road Pavements*, UK.
- [15] Specification 49. (2009). Stone Mastic Asphalt for Airfields. *Ministry of Defence*, UK.
- [16] Interim Advice Note 156/YY. (2012). Revision of Aggregate Specification for Pavement Surfacing.
- [17] Önorm B 3130:2009: Gesteinskörnungen für Asphalt. In: Ratgeber. pp. 40–43. *Asamer, Transportbeton GmbH & Co KG, Österreich*.
- [18] RVS 08.97.05:2010: Anforderungen an Asphaltmischgut, Technical Contract Conditions, Materials, Requirements on Bituminous Mixtures. *Österreichische forschungsgesellschaft strasse, Österreich*.
- [19] Sétra. (2008). The use of standards for hot mixes, Technical guide. *The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety (Sétra)*, France.
- [20] FGSV 613 E:2007: Technical Delivery Terms for Aggregates in Road Construction (TL Gestein-StB 04). *Road and Transportation Research Association (FGSV)*.
- [21] SRPS U.E4.014:1990: Izrada habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku. Tehnički uslovi, *Savezni zavod za standardizaciju*.
- [22] JP Putevi Srbije. (2009a). Tehničke specifikacije, R.3.3 Opšti uslovi za asfaltne radove, Verzija 4. *JP Putevi Srbije*, Srbija.
- [23] JP Putevi Srbije. (2009b). Tehnički uslovi za Koridor 10, Poglavlje 9: Asfaltni kolovozi, Verzija C-1. *JP Putevi Srbije*.
- [24] JP Putevi Srbije. (2012a). Technical specifications for Koridor 11, Section 09: Asphalt Pavements. *JP Putevi Srbije*, Srbija.
- [25] JP Putevi Srbije. (2012b). Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji, 2 Posebni tehnički uslovi, 2.4. Kolovozne konstrukcije. *JP Putevi Srbije*, Srbija.
- [26] IGH. (2001). Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III – Kolnička konstrukcija. *Institut Građevinarstva Hrvatske*, Hrvatska.
- [27] IGH. (2015). Prilog 3, Program kontrole i osiguranja kvalitete. *Institut Građevinarstva Hrvatske*, Hrvatska.
- [28] JP Direkcija cesta Federacije BiH & JP Putevi RS. (2005). Smernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Knjiga II – Građenje, Dio 2: Posebni tehnički uslovi (RS-FB&H/3CS-DDC 433/04). *Direkcija cesta Federacije BiH & JP Putevi RS*.
- [29] Thompson, A., Burrows, A., Flavin, D., Walsh, I. (2004). The Sustainable Use of Skid-Resistant Road Surfacing in England High Specification Aggregates, *Capita Symonds Ltd., East Grinstead*.
- [30] Jacobs Engineering. (2009). Code of Practice on Skid Resistance for Local Authority Roads. Project No 41. *Jacobs Engineering UK Limited ('Jacobs')*.
- [31] Woodward, D. (2000). Assessing aggregates for use in asphalts. In: Hunter, R.N. (ed.) *Asphalts in road construction*. pp. 1–44. Thomas Telford Publishing, London.
- [32] Đokić, O., Stefanović, S., Milić, B. (2016). Klizavost habajućih slojeva puteva od krečnjačkog agregata. *Drugi srpski kongres o putevima*. 784-789.
- [33] Đokić, O. (2017). Uticaj mineraloško-petrografskih karakteristika na mikrohrapavost agregata bazičnih stena Srbije. *Doktorska disertacija*. 165-173.