

ANALIZA I IZBOR SKELETNIH MASTIKS ASFALTNIH MEŠAVINA (SMA) U KOLOVOZNOM ZASTORU ZA RAZLIČITE TIPOVE SAOBRAĆAJNICA

Dragan Stojnić¹, Suzana Stefanović¹, Olivera Đokić¹

¹Institut za puteve ad, Beograd, Srbija,

email: d.stojnic@highway.rs; suzana.stefanovic@highway.rs; o.djokic@highway.rs

Rezime: U izboru asfaltnih slojeva u kolovoznom zastoru, pravilan odabir granulometrijskog sastava asfaltne mešavine i nominalno najkrupnijeg zrna značajno utiče na svojstva asfaltnog sloja i njegovo ponašanje u eksploataciji. U radu je analizirana primena asfaltnih mešavina iz grupe skeletnog mastiks asfalta (SMA) i kriterijumi za njihov pravilan odabir u odnosu na položaj u kolovoznom zastoru (habajući i vezni sloj) i namenu saobraćajne površine (autoputevi, brze saobraćajnice, urbane saobraćajnice i manevarske površine aerodroma). Radi upoređivanja performansi, sprovedena su laboratorijska ispitivanja mešavina SMA 8, SMA 11 i SMA 16, a dobijeni rezultati omogućavaju pouzdanu ocenu njihovog ponašanja u uslovima dinamičkog opterećenja karakterističnog za kolovozne konstrukcije. Analizirane karakteristike predstavljaju ključne parametre za izbor odgovarajućeg tipa SMA mešavine. Zaključci rada mogu poslužiti kao praktična smernica projektantima pri definisanju tipa SMA u kolovoznom zastoru, kao i investitorima prilikom formulisanja projektnih zahteva i uslova u tenderskoj dokumentaciji.

Ključne reči: Skeletni mastiks asfalt (SMA), granulometrijski sastav, maksimalna veličina zrna, otpornost na trajne deformacije

ANALYSIS AND SELECTION OF STONE MASTIC ASPHALT (SMA) MIXTURES IN PAVEMENT SURFACING FOR DIFFERENT TYPES OF ROADS

Abstract: In the selection of asphalt layers for pavement surfacing, the proper choice of the gradation of the asphalt mixture and the nominal maximum aggregate size significantly affects the properties of the asphalt layer and its performance in service. This paper analyses the application of stone mastic asphalt (SMA) mixtures and the criteria for their proper selection with respect to their position within the pavement structure (wearing and binder course) and the intended use of the traffic surface (motorways, expressways, urban roads, and airport manoeuvring areas). For the purpose of performance comparison, laboratory testing was carried out on SMA 8, SMA 11, and SMA 16 mixtures, and the obtained results enable a reliable assessment of their behaviour under dynamic loading conditions characteristic of pavement structures. The analysed characteristics represent key parameters for selecting the appropriate type of SMA mixture. The paper's conclusions may serve as practical guidance for designers in defining the type of SMA to use in pavement surfacing, as well as for investors when formulating project requirements and conditions in tender documentation.

Keywords: Stone Mastic Asphalt (SMA), gradation, nominal maximum aggregate size, resistance to permanent deformation

1. UVOD

Skeletne mastiks asfaltne mešavine, poznate kao SMA mešavine, predstavljaju jedno od često primenjivanih rešenja za habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija na saobraćajnicama sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjem. Njihova osnovna karakteristika je izražen kameni skelet krupnog agregata, povećan sadržaj bitumenskog veziva i prisustvo stabilizujućih aditiva, čime se postižu visoka otpornost na trajne deformacije, dobra otpornost na habanje i povoljna površinska tekstura.

Zahvaljujući svojoj strukturi, SMA mešavine obezbeđuju dobru otpornost na kolotrage, stabilnost pri visokim temperaturama, odgovarajuću otpornost na klizanje i povećanu trajnost habajućeg sloja. Grublja površinska tekstura doprinosi potrebnoj mikro- i makrohrapavosti kolovoza, što je posebno važno za bezbednost saobraćaja u uslovima velikih brzina, intenzivnog kočenja i vlažnog kolovoza [1], [2], [3], [4]. Pored toga, SMA mešavine mogu doprineti smanjenju buke od saobraćaju, naročito u urbanim gradskim sredinama. U prethodnim istraživanjima bavili smo se primenom SMA 11 mešavine na izgradnji autoputeva i brzih saobraćajnica u Srbiji, a istovremeno smo razmatrali i mogućnost uvođenja SMA 8 mešavine u habajući sloj na saobraćajnicama sa teškim saobraćajnim opterećenjima. Ukazana je i potreba za kombinovanjem različitih tipova asfaltnih mešavina radi ravnomernije upotrebe svih proizvedenih frakcija, kao i šireg sagledavanja veze između projektovanja, proizvodnje agregata i izvođenja asfaltnih radova [5].

Međutim, izbor odgovarajuće SMA mešavine za habajući sloj ne zavisi samo od pojedinačnih laboratorijskih rezultata, već zahteva šire sagledavanje strukture mešavine, projektovane debljine sloja, očekivanog saobraćajnog opterećenja, zahteva za bezbednost saobraćaja, trajnosti, komfora vožnje i mogućih oblasti primene. Nominalno maksimalno zrno značajno utiče na granulometrijsku strukturu, površinsku teksturu i očekivano ponašanje asfaltne mešavine u eksploataciji. SMA 8, kao sitnozrnatija mešavina, može biti pogodna za gradske saobraćajnice, rehabilitacije, mostovske zaštitne slojeve i površine kod kojih su važni komfor vožnje, smanjenje buke i dobra tekstura površine. SMA 11 predstavlja široko primenjivano rešenje za habajuće slojeve na putevima sa većim saobraćajnim opterećenjem, dok SMA 16, kao mešavina krupnijeg zrna, može biti relevantna za slojeve veće debljine i uslove u kojima su posebno izraženi zahtevi za stabilnošću i otpornošću na trajne deformacije. Polazeći od navedenog, u ovom radu izvršeno je upoređenje SMA 8, SMA 11 i SMA 16 mešavina polazeći od laboratorijskih karakteristika, zatim funkcionalnih zahteva i potencijalnih oblasti primene u uslovima putne mreže Srbije. Pored laboratorijskih ispitivanja, u radu je primenjena metodologija višekriterijumskog vrednovanja, kojom su razmatrani zahtevi, kriterijumi i pokazatelji za donošenje odluka, značaj performansi habajućeg sloja, ocena mešavine za habajući sloj sa aspekta bezbednosti saobraćaja, kao i poređenje i rangiranje asfaltnih mešavina. Cilj ovog rada bio je da se na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja i višekriterijumske analize sagleda podobnost SMA 8, SMA 11 i SMA 16 mešavina za habajuće slojeve u različitim uslovima primene. Poseban akcenat stavljen je na poređenje njihovih performansi, vrednovanje značaja pojedinih svojstava habajućeg sloja i definisanje potencijalnih oblasti primene SMA mešavina u Srbiji. Na taj način rad doprinosi racionalnijem izboru odgovarajućeg tipa SMA mešavine u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja, funkcionalnih zahteva, projektovane debljine sloja i specifičnih uslova primene na putnoj mreži Srbije.

2. METODOLOGIJA

Sastav asfaltne mešavine SMA 16, njen granulometrijski sastav i ispitivanje fizičko-mehaničkih karakteristika urađeni su u Laboratoriji za asfalt, ugljovodonična veziva i hidroizolacije, Zavoda za građevinske materijale - Instituta za puteve a.d., Beograd. Za pripremu mešavine korišćene su standardne frakcije agregata dijabaza (0/2, 2/4, 4/8, 8/11 i 11/16 mm) poreklom sa separacije "Mrčići" - Metalfer doo Sremska Mitrovica, kameno brašno "Tribex" - Tribex doo Sremska Kamenica, ogranak Galović, stabilizirajući aditiv - "TOPCEL" i vezivo - polimer-bitumen PmB 45/80-65 - Nis, Pančevo. Rezultati ispitivanja prikazani su u tabelama 1 i 2. Podaci o mešavinama SMA 8 i SMA 11 preuzeti su iz nedavno objavljenih radova [6] [7] i prikazani takođe u tabelama 1 i 2 radi lakše preglednosti i poređenja rezultata laboratorijskih ispitivanja. Sve SMA mešavine su rađene u istoj laboratoriji i sa istim agregatima [5]. Ostale komponente su različite, ali se uklapaju u tehničke uslove kvaliteta. Treba napomenuti da je mešavina SMA 8 rađena prema Tehničkim uslovima za građenje puteva u Republici Srbiji, JP Puteva Srbije [8], SMA 11 za Tehničke uslove PZI Autoput Ruma - Šabac, od Autoputa E-70 (petlja "Ruma") do mosta na Savi [9], a SMA 16 prema zahtevima iz Tehničkih uslova za Hrvatske ceste 2024 [10].

3. DINAMIČKI ODGOVOR ASFALTOG ZASTORA NA OPTEREĆENJE

Povećanje saobraćajnog opterećenja zahteva bolje razumevanje ponašanja asfaltnog sloja u uslovima dinamičkog opterećenja karakterističnog za kolovozne konstrukcije. Trajne deformacije, tj. kolotrazi, predstavljaju jedan od najznačajnijih tipova oštećenja fleksibilnih kolovoznih konstrukcija [11]. Generalno, kod fleksibilnih kolovoznih konstrukcija postoje tri osnovna mehanizma koji dovode do nastanka kolotruga [12], strukturni kolotrazi (structural rutting) usled trajne deformacije podloge ili posteljice konstrukcije, kolotrazi usled deformacije smicanja (instability rutting) zbog neodgovarajuće projektovane asfaltne mešavine i površinski kolotrazi (surface/wear rutting) koji nastaju zbog nedovoljne zbijenosti (smanjenje zapremine) ugrađenog asfaltnog sloja. Bez obzira na tip, način dobijanja i mineraloški sastav, od agregata se očekuje da svojom skeletnom strukturom asfaltnom sloju obezbedi otpornost na deformaciju. Zrna agregata nepravilnog oblika, sa oštrim ivicama i hrapavom površinom obezbeđuju veću čvrstoću. Na taj način se obezbeđuje veća otpornost na deformacije usled saobraćajnog opterećenja. S obzirom da krutost i viskozitet bitumena opadaju sa porastom temperature, karakteristike veze i čvrstoća pri smicanju takođe opadaju. U tom slučaju, struktura agregata igra glavnu ulogu u otpornosti asfaltne mešavine na trajnu deformaciju pri visokim temperaturama.

Otpornost asfaltnih mešavina na pojavu trajnih deformacija je kompleksan fenomen i zavisi pre svega od karakteristika agregata, bitumena i njihove interakcije. Dodatno, sadržaj i starenje bitumena, kao i zapreminska struktura i uslovi na terenu bitno utiču na ponašanje asfaltne mešavine na visokim temperaturama. Uticaj različitih faktora, kao i efekti njihovih promena na trajnu deformaciju asfaltnih mešavina prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Otpornost na trajnu deformaciju asfaltnih mešavina - faktori uticaja (Sousa [13])

	Faktor	Promena faktora	Uticaj promena faktora na otpornost na trajnu deformaciju
Agregat	Površinska tekstura	Glatka ka hrapavoj	Povećava
	Granulometrija	Otvorena ka zatvorenoj	Povećava
	Oblik	Zaobljen ka oštroičnom ¹	Povećava
	Krupnoća	Manje ka većem max zrnju	Povećava ²
Bitumen	Krutost ³	Povećanje	Povećava
Asfaltna mešavina	Sadržaj bitumena	Povećanje	Smanjuje
	Sadržaj šupljina ⁴	Povećanje	Smanjuje
	Šupljine u mineralnoj mešavini	Povećanje	Smanjuje
	Način ugrađivanja	- ⁵	- ⁵
Uslovi na terenu	Temperatura	Povećanje	Smanjuje
	Stanje napona/deformacija	Povećanje pritiska u pneumaticima	Smanjuje
	Broj ciklusa opterećenja	Povećanje	Smanjuje
	Voda	Suva površina ka mokroj	Smanjuje ako je mešavina osetljiva na vodu

¹ Za asfaltna mešavina pogodniji su drobljeni agregati sa oštroičnim zrnima (kubičnog oblika) i hrapavom površinom, jer obezbeđuju bolje uklještenje i prionljivost sa bitumenom od zaobljenih zrna

² Uz pretpostavku da je debljina sloja konstantna

³ Odnosi se na krutost na temperaturi na kojoj se ispituju kolotrazi. Mogu se koristiti modifikatori za povećanje krutosti na kritičnim temperaturama kako bi smanjili kolotrage

⁴ Kada je sadržaj vazduha manji od približno 3%, asfalt je osetljiviji na pojavu trajnih deformacija

⁵ Način ugrađivanja asfalta, bilo u laboratoriji ili na terenu, može uticati na strukturu mešavine i na njenu osetljivost na trajne deformacije

Osim manje trajnosti i većih troškova održavanja kolovoza, formiranjem kolotruga stvaraju se potencijalna mesta na površini kolovoza sa kojih je otežano ili gotovo nemoguće odvodnjavanje za vreme kiša, što može dovesti do smanjenja trenja između pneumatika i kolovoza i pojave tzv. akvaplaning efekta. Duže zadržavanje vode i njeno mržnjenje može dovesti i do postepenog pogoršanja stanja kolovozne konstrukcije. Dodatno, kolotrazi mogu imati veliki uticaj i na formiranje pukotina usled zamora, zbog smanjenja debljine asfaltnih slojeva u tragovima točkova. Istraživanje koje je sprovedla Javna uprava za puteve Norveške [14], pokazalo je da učestalost saobraćajnih nesreća proporcionalno raste sa povećanjem dubine kolotruga. Ponašanje asfaltnog sloja je veoma složeno i često teško predvidivo, zbog čega se sprovode brojna laboratorijska ispitivanja radi boljeg razumevanja uticaja različitih faktora na njegove karakteristike i performanse. Na osnovu dobijenih rezultata omogućava se pravilnije projektovanje i kvalitetnija ugradnja asfaltnih mešavina, sa ciljem obezbeđivanja sigurnijih i dugotrajnijih puteva. Treba napomenuti da za primenu asfaltnih mešavina na gradskim saobraćajnim površinama, pored standardnih ispitivanja trajne deformacije (PRD_{AIR} i WTS_{AIR}), preporuka je uvesti i ispitivanje otpornosti na čupanje zrna (Scuffing/Wearing test) prema standardu SRPS CEN/TS 12697-50:2017. Ovo ispitivanje omogućava procenu otpornosti asfaltnih mešavina na gubitak materijala usled habanja površine asfaltna mešavine usled izloženosti velikim naponima smicanja.

4. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

3.1. Sastav asfaltnih mešavina

Laboratorija za asfalt, ugljovodonična veziva i hidroizolacije Instituta za puteve a.d. Beograd je u toku 2025. godine izvršila ispitivanje prethodnog sastava asfaltna mešavine SMA 8 i SMA 11 sa polimer modifikovanim vezivom PmB 45/80-65. U toku ove godine, predhodno pomenutim asfaltnim mešavinama dodata je i mešavina SMA 16.

U narednoj tabeli prikazan je sastav asfaltnih mešavina tipa SMA.

Tabela 2. Sastav asfaltnih SMA mešavina

Naziv osnovnih materijala	SMA 8	SMA 11	SMA 16
Kameno brašno	14,4	-	9,4
Kameno brašno	-	13,1	13,2
0/2 mm "Mrčići"	9,8	9,4	-
2/4 mm "Mrčići"	12,1	-	10,4
4/8 mm "Mrčići"	56,8	30,9	11,3
8/11 mm "Mrčići"	-	40,4	49,8
11/16 mm "Mrčići"	-	-	13,2
Stabilizirajući aditiv "Viatop premium"	0,4	-	-
Stabilizirajući aditiv "Topcell"	-	0,4	0,4
Vezivo: polimer-bitumen PmB 45/80-65	6,5	5,8	5,5
Svega(%):	100,0	100,0	100,0

3.2. Tehničke karakteristike asfaltnih mešavina

U narednoj tabeli prikazane su osnovne karakteristike SMA asfaltnih mešavina sa maksimalnom veličinom zrna od 8 mm, 11 mm i 16 mm.

Tabela 3. Fizičko-mehaničke karakteristike asfaltnih mešavina

Karakteristike			Standard SRPS EN	SMA 8	JPPS 2012, Tehnički uslovi	SMA 11	Tehnički uslovi iz Projekta	SMA 16	Hrvatske ceste 2024, Tehnički uslovi
Šupljine u asfaltnom uzorku, % (v/v)			12697-8:2019	3,5	2,5 - 4,5	3,9	3,5 - 4,5	5,1	3,0 - 6,0
Šupljine u mineralnoj mešavini ispunjene vezivom, % (v/v)				82,1	75- 88	78,6	70 - 85	72,2	–
Šupljine u mineralnoj mešavini, % (v/v)				19,4	-	18,2	17 - 19	18,2	17 - 19
Zapreminska masa asfaltnog uzorka SSD, (Mg/m³)			12697-6:2020	2,420	-	2,466	-	2,420	-
Prividna zapreminska masa asfaltne mešavine na 25°C, Procedura A (Trihloretilen), (Mg/m³)			12697-5:2019	2,507	-	2,566	-	2,551	-
Schellenberg test, (%)			12697-18:2017	0,03	-	0,24	max. 0,3	0,22	max. 0,3
Optimalan sadržaj veziva, (%)			12697-34:2020	6,5	-	5,8	-	5,5	-
Proporcionalna dubina kolotruga, PRDair (%)	debljina (cm)	3,5	12697-22:2020	4,6	max. 9,0		max. 5,0	-	-
		4,0		3,0		4,2		-	-
		5,0		-	-		3,1	max. 4,0	
Nagib krive kolotražnja, WTSair (mm/1000 cycles)	debljina (cm)	3,5	12697-22:2020	0,032	-		-	-	-
		4,0		0,024		0,03		-	-
		5,0		-		-		0,02	max. 0,05
Osetljivost na vodu, najmanji odnos indirektno zatezne čvrstoće ITSR (%)			12697-12:2018	98	min. 80	89	min. 80	92	min. 80

3.3. Indikatori i zahtevi za pravilan izbor habajućeg sloja

Izbor habajućeg sloja važan je za prionljivost pneumatika za kolovoz i eventualno pogoršanje uslova preglednosti na putu u uslovima kada je kolovoz u vlažnom stanju. U vezi sa tim, u tabeli 4, predstavljene su ključne karakteristike asfaltna mešavina u habajućem sloju i njihov uticaj na bezbednost saobraćaja za različite kategorije puteva [15] i manevarskih površina aerodroma (poletno sletne staze RWY i rulne staze/spojnice TWY) [16].

Tabela 4. Značaj performansi habajućeg sloja

Karakteristika	Aerodromi (RWY i TWY)	Autoput	Gradska putna mreža			Lokalni putevi	Glavna i regionalna mreža			Poljoprivredni putevi	Industrijski putevi	Tramvajske šine	Biciklističke staze	Trotoari	Raskrsnice	Rampe denivelisanih ukršćanja	Opasne krivine	Parkirališta	
			Teško i vrlo teško	Srednje	Lako i vrlo lako		Teško i vrlo teško	Srednje	Lako i vrlo lako									Teško	Lako
Otpornost na kolotražanje	++++	++++	++++	+++	++	+	+++	++	+	++	+++	(1)	-	-	(1)	++++	(1)	+++	+
Hrapavost	++++	++++	++++	++	++	+	+++	++	+	-	+	(1)	+	-	(1)	+++	++++	-	-
Efikasnost odvođenja vode	++++	++++	++++	++	++++	-	+++	++	+	-	-	(1)	-	-	(1)	++	++++	-	-
Osetljivost na zimsko održavanje	+++	++++	++++	+++	+++	++	++++	+++	++	+	++	(1)	++	++	++++	+++	++++	++	++
Otpornost na deformacije usled smicanja	++++	++	+++	++	+++	-	++	+	-	++	++++	(1)	-	-	++++	++++	++++	++++	++
Krutost	++++	++++	++++	+++	++	+	+++	++	+	+++	++++	(1)	-	-	(1)	++++	(1)	+++	+
Otpornost na čupanje zrna	++++	+++	+++	++	+++	+	+++	++	+	+	+++	(1)	+	-	++++	++++	++++	++++	++
Kohezija	++++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	+++	+++	+++

Legenda

- karakteristika nije od značaja
- + karakteristika je od malog značaja
- ++ karakteristiku treba uzeti u obzir
- +++ karakteristika je od velikog značaja
- ++++ karakteristika je od izuzetnog značaja
- (1) značaj zavisi od tipa saobraćajnice

Na osnovu gore prikazanih rezultata zaključujemo da sve tri SMA mešavine zadovoljavaju sa aspekta otpornosti na kolotrage i osetljivosti na vodu.

Akustičke karakteristike se pre svega odnose na nivo emisije buke koja nastaje u kontaktu između pneumatika i kolovozne površine, kao i na sposobnost različitih asfaltnih mešavina da tu buku smanje ili ublaže. Sa druge strane, neakustičke karakteristike obuhvataju tehničko-eksploatacione osobine materijala, kao što su trajnost, otpornost na habanje, propusnost vode, kao i zahteve u pogledu održavanja. U tabeli 5 prikazane su glavne akustičke i neakustičke karakteristike asfaltnih mešavina koje se primenjuju u habajućem sloju kolovozne konstrukcije [17].

Tabela 5. Akustičke i neakustičke karakteristike asfaltnih mešavina u habajućem sloju [17]

Karakteristika	AB	PA	SMA
Smanjenje buke u odnosu na AB (dB(A))	0	3 do 5	1 do 3
Otpornost na trajne deformacije (kolotrage)	Dobra	Dobra	Veoma dobra
Prosečan vek trajanja (godine)	10 do 12	7 do 9	12 do 15
Koeficijent bočnog trenja (μ)	0.35 - 0.55	0.40 - 0.50	0.40 - 0.60
Vodopropustljivost	Nepropusan	Propusan	Nepropusan
Prskanje vodom od pneumatika vozila	Osrednje	Nisko	Nisko/Osrednje
Strukturno održavanje	Uobičajeno	Radni spojevi	Uobičajeno
Funkcionalno održavanje	Uobičajeno	Otežano	Uobičajeno
Vreme ugradnje	5 sati - 1 dan	5 sati - 1 dan	5 sati - 1 dan

U vezi sa prethodno navedenim karakteristikama, izvršena je ocena asfaltnih mešavina u habajućem sloju u odnosu na bezbednost saobraćaja za različite kategorije puteva i manevarskih površina aerodroma.

Tabela 6. Ocena asfaltne mešavine u habajućem sloju sa aspekta bezbednosti saobraćaja

Tip asfaltne mešavine	Aerodromi (RWY i TWY)	Autoput	Gradska putna mreža			Lokalni putevi	Magistralna i regionalna mreža			Poljoprivredni putevi	Industrijski putevi	Tramvajske šine	Biciklističke staze	Trotoari	Raskrsnice	Rampe denivelisanih ukrštaja	Opasne krivine	Parkirališta	
			Teško i vrlo teško	Srednje	Lako i vrlo lako		Teško i vrlo teško	Srednje	Lako i vrlo lako									Teško	Lako
AB 16s																			
AB 11s																			
AB 8 / AB 4																			
SMA 16																			
SMA 11																			
SMA 8																			
PA																			

Legenda	AB	asfalt beton
	SMA	skeletni mastiks asfalt
	PA	porozni asfalt
		neodgovarajući izbor
		malo povoljan izbor
		moгуća primena
		adekvatan izbor

5. ZAHTEVI, KRITERIJUMI I POKAZATELJI ZA DONOŠENJE ODLUKA

Radi identifikacije mogućnosti primene SMA mešavina u Srbiji, analizirani su ključni zahtevi i indikatori za izbor asfaltne mešavine u habajućem sloju. Primenjen je holistički pristup višekriterijumskog odlučivanja, uz osvrt na praktičnu primenu u projektovanju i izgradnji kolovoznih konstrukcija [18]. Definisane su četiri osnovne grupe zahteva sa pripadajućim kriterijumima i merljivim indikatorima, pri čemu su razmatrani sledeći aspekti:

- Ekonomski: primenom Life Cycle Cost Analysis (LCCA), uz sagledavanje inicijanih troškova izgradnje i troškova održavanja tokom eksploatacije
- Ekološki: potrošnja neobnovljivih resursa i emisije CO₂
- Društveni: komfor vožnje i bezbednost saobraćaja
- Tehnički: mehaničke otpornosti habajućeg sloja koje se odnose na deformacije i oštećenja.

Tabela 7. Zahtevi, kriterijumi i pokazatelji za donošenje odluka

Zahtevi	Kriterijumi	Pokazatelji
Ekonomija	Troškovi	Analiza troškova tokom životnog ciklusa (LCCA)
		Početna investicija
Životna sredina	Efikasnost korišćenja resursa	Upotreba agregata
		Upotreba bitumena
	Potrošnja	Potrošnja energije
	Emisije	Emisije CO ₂
Društvo	Udobnost	Kvalitet vožnje
		Buka
	Bezbednost	Otpornost na klizanje
		Akvaplaning
Tehnika	Mehanička otpornost	Otpornost na odnošenje agregata
		Otpornost na deformacije

Na osnovu rangiranja, SMA mešavine su ocenjene kao najpogodnije za habajuće slojeve opterećenih saobraćajnica, zato što pokrivaju širok spektar saobraćajnih uslova, visoke su izdržljivosti i sigurnosti. Zatim slede asfalt betoni AB i porozni asfalti PA.

Tabela 8. Poređenje i rangiranje asfaltnih mešavina

Rang	Asfaltna mešavina	Položaj u konstrukciji	Preporučena primena na saobraćajnim/manevarskim površinama
1	SMA 11	Habajući sloj	Dobra opcija za uslove vrlo teškog i teškog saobraćajnog opterećenja (autoputevi, magistralna putna mreža, gradske saobraćajnice, raskrsnice, RWY i TWY manevarske površine aerodroma, zaštitni sloj hidroizolacije na mostovskim konstrukcijama)
2	SMA 8	Habajući sloj	Dobra opcija za uslove teškog i srednjeg saobraćajnog opterećenja (magistralna putna mreža, gradske saobraćajnice, zaštitni sloj hidroizolacije na mostovskim konstrukcijama)
3	SMA 16	Habajući sloj/ Vezni sloj ¹	Dobra opcija za uslove vrlo teškog saobraćajnog opterećenja (autoputevi, TWY manevarske površine aerodroma, rampe denivelisanih ukrštaja)
4	AB 11s	Habajući sloj	Dobra opcija za uslove teškog, srednjeg i lakog saobraćajnog opterećenja (magistralna putna mreža, gradske i lokalne saobraćajnice, zaštitni sloj hidroizolacije na mostovskim konstrukcijama)
5	AB 16s	Habajući sloj	Dobra opcija za uslove vrlo teškog, teškog i srednjeg saobraćajnog opterećenja (RWY i TWY manevarske površine aerodroma, magistralna putna mreža, gradske saobraćajnice, rampe denivelisanih ukrštaja, autoputevi)
6	PA	Habajući sloj	Ograničena primena na autoputevima i parking površinama sa lakim saobraćajnim opterećenjem
7	AB 8 / AB 4	Habajući sloj	Ograničena primena na biciklističkim i pešačkim površinama

4. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana primena asfaltnih mešavina u habajućim slojevima sa posebnim osvrtom na primenu mešavina iz grupe skeletnog mastiks asfalta (SMA) i kriterijumi za njihov pravilan odabir u odnosu na položaj u kolovoznom zastoru, namenu saobraćajne površine i saobraćajnog opterećenja. Kao što je poznato, ponašanje asfaltnih slojeva je složeno i zahteva laboratorijska ispitivanja radi obezbeđenja kvalitetnih i trajnih kolovoznih konstrukcija. Na osnovu rangiranja, SMA mešavine su ocenjene kao najpogodnije za habajuće slojeve, zato što pokrivaju širok spektar saobraćajnih uslova, visoke su izdržljivosti i sigurnosti. Zatim slede asfalt betoni AB i porozni asfalti PA.

Treba naglasiti da za primenu bilo koje asfaltne mešavine u habajućem sloju, pa i SMA mešavine u gradskim uslovima, pored standardnih ispitivanja otpornosti na trajnu deformaciju (PRD_{AIR} i WTS_{AIR}), u obavezna ispitivanja je potrebno uključiti i ispitivanje habanja površine usled zaokretanja točka (Scuffing test prema SRPS CEN/TS 12697-50:2017). Ovo ispitivanje omogućava procenu otpornosti asfaltnih mešavine na gubitak materijala usled habanja površine asfaltne mešavine usled izloženosti velikim naponima smicanja.

¹ Nalazi (širu) primenu kao vezni sloj na svim saobraćajnim površinama sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjem

Literatura

- [1] Asphalt guidelines, Stone Mastic Asphalt. Deutscher Asphaltverband (DAV), 2023.
- [2] European Asphalt Pavement Association, Heavy-duty surfaces: the arguments for SMA. 2018.
- [3] NAPA, "Special Report 223 Advances in the Design, Production, and Construction of Stone Matrix (Mastic) Asphalt," presented at the 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON Stone Matrix Asphalt, Atlanta, Georgia: National Asphalt Pavement Association, Nov. 2018, p. 124.
- [4] R. Hainin, W. F. Reshi, and H. Niroumand, "The Importance of Stone Mastic Asphalt in Construction," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 17, pp. 49–56, Jan. 2012.
- [5] O. Djokic, S. Stefanović, D. Sakić, and D. Živanović, "Efficient Use of Non-Renewable Mineral Resources of Silicate Origin in the Wearing Layer of Roadway Construction - A Case Study of the Quarry 'Mrčići,'" *Journal of Road and Traffic Engineering*, vol. 71, no. 2, pp. 43–53, 2025, doi: DOI: 10.31075/PIS.71.02.07.
- [6] Tatić Uroš, Stefanović Suzana, Đokić Olivera, Stojnić Dragan, and Novaković Dušan, "Impact of asphalt mixture selection on environmental preservation in the vicinity of aggregate manufacturers," presented at the 3. Macedonian Road Congress, Skopje 2025: Macedonian Association of Road Engineers, Nov. 2025, pp. 179-186.
- [7] S. Stefanović, U. Tatić, O. Đokić, M. Vesić, and U. Belopoljac, "Uticaj porekla i kvaliteta drobljenog peska na asfaltnu mešavinu," in 8. naučno-stručni skup: "Put i životna sredina," Vrnjačka Banja, Srbija: Srpsko društvo za puteve "VIA-VITA," 30.05 2025, pp. 312–320.
- [8] JP Putevi Srbije, "2.4. Kolovozne konstrukcije," in *Tehnički uslovi za građenje puteva u RS, 2 Posebni tehnički uslovi*, Beograd: JP Putevi Srbije, 2012, p. 125.
- [9] Institutu za puteve ad, Beograd, PROJEKT ZA IZVOĐENJE Autoput Ruma - Šabac, od Autoputa E-70 (petlja 'Ruma') do mosta na Savi. JP Putevi Srbije.
- [10] Hrvatske Ceste d.o.o., Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, knjiga VII - Kolnička konstrukcija, Zagreb, HR., Prosinac 2024.
- [11] R. D. Barksdale, "Laboratory evaluation of rutting in base course materials," in *Proceedings of the 3rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, London, U.K., 1972
- [12] Texas Department of Transportation, *Strategies to Improve and Preserve Flexible Pavement at Intersections*, Research Report 0-5566-1, Austin, TX, USA, Jan. 2011
- [13] Sousa, J. B., Craus, J., & Monismith, C. L. (1991). *Summary Report on Permanent Deformation in Asphalt Concrete (SHRP-A/IR-91-104)*. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- [14] E. K. Sund, "Optimal Road Maintenance and Operations – Results of New Research and Analysis in Norway," *Nordic Road and Transportation Research*, NPRA, Norway, 2002
- [15] A. V. Radević, *Karakteristike asfaltnih mešavina sa agregatom od recikliranog betona*, Ph.D. dissertation, Građevinski fakultet, Univ. u Beogradu, Beograd, 2017.
- [16] Code de bonne pratique (R 102), Pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées. Centre de recherches routières, Bruxelles, 2020.
- [17] *Vademecum du bruit routier urbain - Les revêtements routiers*, Région de Bruxelles-Capitale, 2017.
- [18] Gáspár, L., Bencze, Z. Selection of optimal asphalt wearing course type for heavy traffic. XV European Transport Congress, Budapest, Hungary, 2017.
- [19] Jamieson, S., *Stone Mastic Asphalt for Australian Airport Pavements* - Master's thesis, University of the Sunshine Coast, Queensland, 2019.
- [20] DGAC - STAC, *Bituminous mixtures and surface dressings for airport pavement*, French Civil Aviation Technical Center, Paris, 2009.
- [21] S. Erjavec, *Stanje kolovoza i bezbednost saobraćaja, naučno-stručni skup "Bezbednost saobraćaja u planiranju i projektovanju puteva"*, Palić (2007)