

Luka Stanojević¹, Miroslav Ćirović², Aleksandar Radević³

KARAKTERISTIKE BETONA SA DELIMIČNOM ZAMENOM PRIRODNOG AGREGATA STRUGANIM ASFALTOM

Rezime:

Predmet ovog istraživanja bila je procena mogućnosti upotrebe struganog asfalta (RAP) u betonima namenjenim za krute kolovozne konstrukcije. Izuzev kontrolne mešavine spravljene sa prirodnim agregatom, eksperimentalna ispitivanja su obuhvatila i ispitivanja četiri betonske mešavine sa delimičnom zamenom prirodnog agregata recikliranim (RAP-om) u količinama od: 25% i 50% (za sitan i krupan agregat 0/22.4 mm); 50% (za sitan agregat 0/4 mm); 50% (za krupan agregat 4/22.4 mm). Sprovedena ispitivanja su pokazala da dodatak RAP-a dovodi do pada čvrstoće pri pritisku u granicama od 27% do 47% i srazmerno niže vrednosti modula elastičnosti i otpornosti na habanje. Dodatak RAP-a nije imao negativan efekat na trajnost betona.

Cljučne reči: betonska mešavina, reciklirani agregat, strugani asfalt, RAP

PROPERTIES OF CONCRETE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF NATURAL AGGREGATE WITH RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT

Summary:

The subject of this research was to assess the possibility of using reclaimed asphalt pavement (RAP) in concretes made for rigid pavements. Except control concrete, that was made with natural aggregate, the experimental tests also included tests of four concrete mixtures with partial replacement of natural aggregate with recycled (RAP) in quantities of: 25% and 50% (for fine and coarse aggregate 0/22.4 mm); 50% (for fine aggregate 0/4 mm); 50% (for coarse aggregate 4/22.4 mm). Performed tests have shown that addition of RAP leads to a decrease in compressive strength, in the range of 27% to 47% and relatively lower value of the modulus of elasticity and abrasion resistance. The addition of RAP did not have negative effect on the concrete durability.

Key words: concrete mixture, recycled aggregate, reclaimed asphalt pavement, RAP

¹ Master of Science in Civil Engineering

² Bachelor in Civil Engineering

³ Assistant professor, PhD, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, aradevic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Asfalt je material, koji se najviše koristi za izgradnju puteva, kako u svetu, tako i u Srbiji. Više od 90% puteva u Evropi je izgrađeno od asfalta, u SAD ova vrednost iznosi preko 92% [1]. Vremenom putevi bivaju oštećeni, nakon čega se vrši njihova rehabilitacija, pri čemu nastaju velike količine građevinskog otpada. Procenat građevinskog otpada u Evropi 2018. godine, iznosio je 36% [2], dok je u Srbiji za 2018. godinu iznosio samo 550.436 t [3]. S obzirom na to, da u Srbiji ne postoji zakonska regulativa, koja bliže određuje način postupanja sa ovom vrstom otpada postoji realna mogućnost da je količina otpada znatno veće.

Strugani asfalt (RAP), kao jedna vrsta građevinskog otpada, u SAD se iskoristi u količini od 99% [4]. U Japanu se 99% ovog otpada iskoristi za izradu novih kolovoza [5], dok se u Danskoj i Švedskoj iskoristi 100% proizvedenog RAP-a [4]. Količina ovog materijala u Evropi 2012. godine iznosila je 49.600.000 t, od kojih je 65% iskorišćeno u proizvodnji asfalta (vrući postupak) [6]. Iste godine, u Francuskoj količina RAP-a je iznosila 6.500.000 t, od čega je iskorišćeno 61,9% za proizvodnju asfalta vrućim postupkom, dok je ostatak iskorišćen za izradu nasipa, tampona i proizvodnju asfalta hladnim postupkom [6]. U Nemačkoj i Holandiji je taj procenat iznosio 80% [6]. U Srbiji ne postoje podaci o količini iskorišćenog RAP-a.

Količina betona, koja se u svetu proizvede na godišnjem nivou iznosi preko 20 milijardi tona [7], što znači, da je za tu količinu potrebno oko 15 milijardi tona agregata. Zamenom prirodnog agregata recikliranim bi se smanjila količina otpada, zagađenje životne sredine, ali i eksploatacija prirodnog agregata, a potencijalno i cena betona.

Cilj ovog rada je istraživanje uticaja zamene prirodnog agregata struganim asfaltom, u različitim procentima, na fizičko-mehaničke karakteristike betona. Predmetne betonske mešavine su projektovane za krute kolovozne konstrukcije. U svim mešavinama količina cementa i vodocementni faktor su bili ujednačeni, kao i količina upotrebljenog hemijskog dodatka.

Pre projektovanja sastava betonskih mešavina, izvršeno je ispitivanje komponentalnih materijala, kao i poređenje osobina prirodnog i recikliranog agregata. Na osnovu pregleda literature, utvrđeno je da RAP, u zavisnosti od sadržaja bitumena i granulacije, manje ili više utiče na svojstva svežeg i očvrslog betona. Iz tog razloga, spravljene su mešavine sa zamenom sitnog i krupnog prirodnog agregata (0/22.4 mm) u količinama od 50% i 25%, kao i mešavine sa zamenom samo sitnog (0/4 mm), odnosno samo krupnog prirodnog agregata (4/22.4 mm), recikliranim agregatom.

2. MATERIJALI I METODOLOGIJA

2.1 MATERIJALI

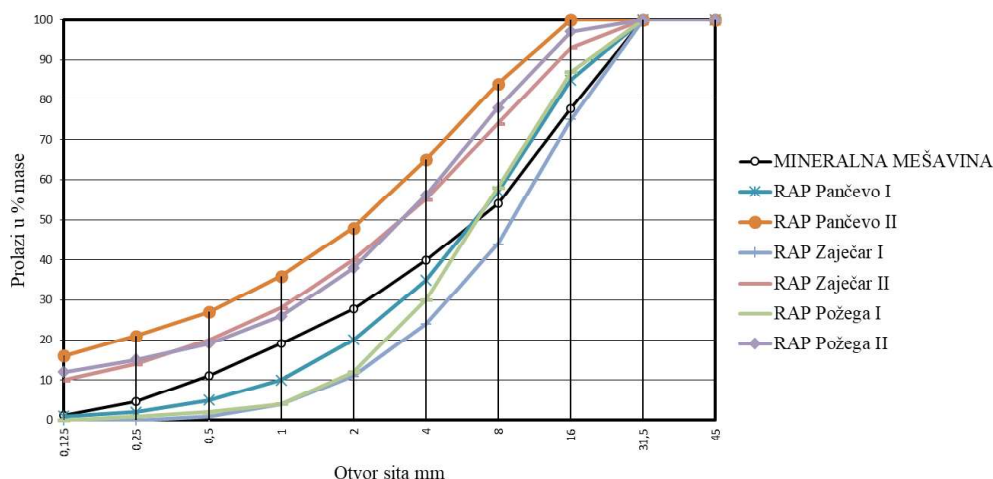
2.1.1 Agregat

Za izradu betonske mešavine korišćeni su rečni (0/4 mm) i drobljeni agregat (4/32 mm). Rečni agregat je uzorkovan na separaciji, na Zapadnoj Moravi. Drobljeni agregat je krečnjačkog

porekla. Frakcije 4/8 mm i 8/16 mm su uzorkovane na kamenolomu “Sušica”, u Čačku, dok je frakcija 16/32 mm poreklom sa kamenoloma “Kovilovača“ iz Despotovca.

Strugani asfalt (RAP) je ispitan sa tri različite lokacije. Ispitani su uzorci RAP-a sa deponija materijala na asfaltnim bazama Strabag u Pančevu (RAP_PA) i Zaječaru (RAP_ZA), kao i sa deponije materijala u Požezi (RAP_PŽ). Za RAP sa deponija iz Pančeva i Zaječara nisu postojali podaci o kojoj vrsti uklonjenog materijala se radi, odnosno da li se sastoji od jedne ili više različitih vrsta asfalta. Strugani asfalt na deponiji u Požezi je dobijen od asfaltne mešavine BNS 22sA.

Na prirodnom i recikliranom agregatu sprovedena su ispitivanja granulometrijskog sastava (prema SRPS EN 933-1), stvarne zapremine mase (prema SRPS ISO 6783), upijanja vode (prema SRPS ISO 7033) i sadržaja vode (prema SRPS EN 1097-5). Dodatno na recikliranom agregatu je određen i sadržaj bitumena (prema SRPS EN 12697-1) i granulometrijski sastav mineralne mešavine (prema SRPS EN 12697-2).



Slika 1 – Dijagram granulometrijskog sastava mineralne mešavine kontrolnog betona i RAP-a

Tabela 1 – Karakteristike prirodnog i recikliranog agregata

Vrsta agregata	Prirodni agregat				RAP_PA	RAP_ZA	RAP_PŽ
frakcija (mm)	0/4	4/8	8/16	16/32	0/32	0/32	0/22
γ_{stv} (kg/m ³)	2621	2712	2697	2615	2346	2365	2440
upijanje vode u (%)	2,37	0,8	0,3	0,7	3,56	3,03	1,89
sadržaj vode w (%)	5,8	0,4	0,1	0,2	1,6	0,1	0,6
sadržaj bitumena S (%)	-	-	-	-	6,2	4,7	4,2

Zapreminska masa RAP-a je manja u odnosu na zapreminsku masu prirodnog agregata, što je posledica prisustva bitumena na površini zrna, koji ima zapreminsku masu približno 1030

kg/m³. Upijanje RAP-a je veće u odnosu na prirodni agregat. Razlog za to može biti velika aglomeracija, odnosno grupisanje manjih zrna u veća, čime dolazi do pojave šupljina i međuprostora, u koje ulazi voda. Uticaj aglomeracije se jasno uočava poređenjem prolaza na pojedinim sitima, pre (I) i nakon tretmana RAP-a u asfaltanalizatoru (II) (videti sliku 1).

Što se tiče struganog asfalta sa lokacije – Pančevo, u pitanju je asfalt beton i kao takav nije pogodan za upotrebu u sastavljanju betonske mešavine. Prilikom prosejavanja RAP-a sa lokacije – Zaječar, utvrđeno je da pored drobljenog, u ovoj mešavini postoji i rečni agregat, kao i veći sadržaj bitumena u odnosu na RAP_PŽ. S obzirom na sve navedeno, RAP_PŽ je izabran kao komponenti materijal, koji će se koristiti za delimičnu zamenu prirodnog agregata. Uzorkovani RAP nije dodatno tretiran, već je izvršeno njegovo prosejavanje na situ 22.4 mm, a zatim i sušenje na temperaturi do 50 °C.



Slika 2 – Sušenje i homogenizacija RAP-a – lokacija Požega

2.1.2 Cement

Za izradu svih betonskih mešavina, korišćen je čist portland cement: CEM I 42,5 R CRH Popovac. Na cementu su u skladu sa SRPS EN 196-3 sprovedena sledeća ispitivanja: određivanje standardne konzistencije, vremena vezivanja i stalnosti zapremine.

Tabela 2 – Karakteristike cementa

Parametar	Vreme početka vezivanja (min)	Vreme kraja vezivanja (min)	Ekspanzija (mm)
Izmereno	150	195	1.0
Zahtevano*	≥60	-	≤10

*Prema SRPS EN 197-1

2.1.3 Voda i aditivi

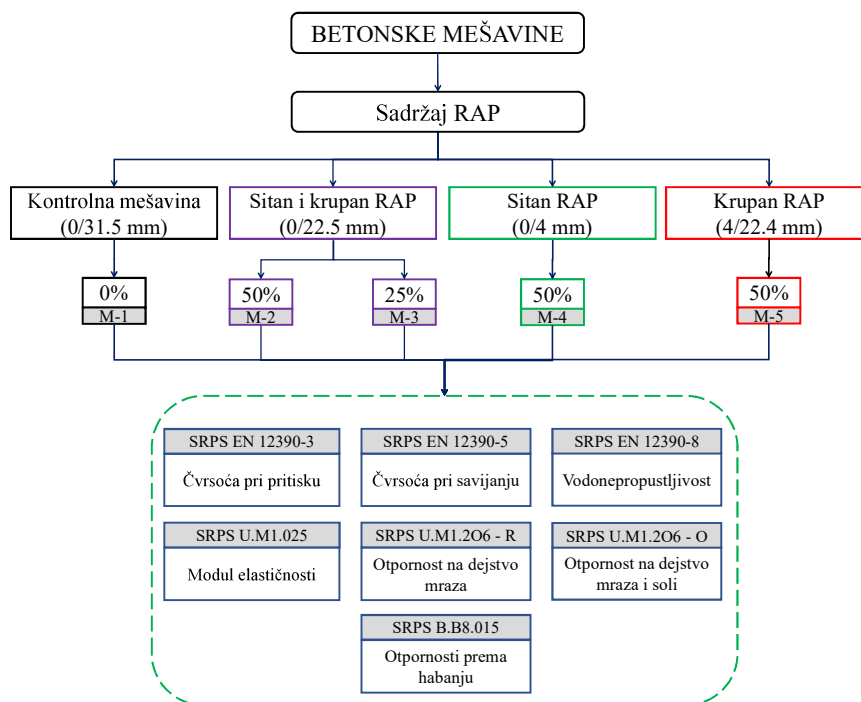
Za spravljanje svih betonskih mešavina korišćena je voda iz gradskog vodovoda.

Za spravljanje svih betonskih mešavina korišćen je Adingov superplastifikator *SUPERFLUID 21M* namenjen proizvodnji betona za transport, kod kojih je potrebno dugotrajno održavanje konzistencije i reoloških osobina svežeg betona.

2.2 METODOLOGIJA

U okviru predmetnih istraživanja izvršena su ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika betonskih mešavina sa različitim sadržajem RAP-a i dobijeni rezultati su upoređeni sa karakteristikama kontrolne mešavine napravljene sa prirodnim agregatom.

Maksimalna količina RAP-a u betonskim mešavinama je ograničena na 50% zbog zabrinutosti da bi njegove slabije mehaničke karakteristike uticale na karakteristike mešavine. Osim količine upotrebljenog RAP-a, na karakteristike betonskih mešavina veoma bitan uticaj ima i krupnoća upotrebljenog RAP-a. Zbog toga su, osim kontrolne mešavine, formirane još četiri mešavine sa RAP-om. Na slici 3 je prikazan sastav agregata za svih pet mešavina, kao i plan eksperimentalnih ispitivanja koja su sprovedena na betonskim mešavinama u očvrslom stanju.



Slika 3 – Matrica ispitivanja betonskih mešavina

Na predmetnim betonskim mešavinama su sprovedena i sledeća ispitivanja betona u svežem stanju: određivanje konzistencije – ispitivanje sleganja (prema SRPS EN 12350-2), sadržaja vazduha – metoda pomoću pritiska (prema SRPS EN 12350-7), zapreminske mase (prema SRPS EN 12350-6) i merenje temperature (prema SRPS U.M1.032).

U svim mešavinama je postojala težnja, da se održi isti vodocementni faktor (0.4), kako bi jedini uticaj na karakteristike betona imao strugani asfalt. Ukupna količina vode je bila promenljiva, zbog različitog upijanja, ali je cilj bio da efektivna količina vode u svim mešavinama bude ista. Količina vode je kontrolisana pomoću sleganja svežeg betona, iako i to nije najbolji pokazatelj, s obzirom da je svaka mešavina imala različit granulometrijski sastav. Vrednost vodocementnog faktora za ovih pet mešavina je varirala između 0.399 i 0.418. Sastav svih pet betonskih mešavina dat je u tabeli 3.

Tabela 3 – Učešće komponenti u betonskim mešavinama

Mešavina	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
m_c (kg/m ³)	395	394	395	398	394
m_a (kg/m ³)	1837	877	1348	1473	1230
m_{RAP} (kg/m ³)	-	876	449	345	552
m_v (kg/m ³)	185	191	186	181	192
m_{ad} (kg/m ³)	1,98	1,97	1,98	1,99	1,97
ω	0,415	0,417	0,408	0,399	0,418

Prilikom spravljanja betonskih mešavina sa RAP-om, isti je doziran zajedno sa prirodnim agregatom. Vreme umešavanja komponenti, sa postepenim dodavanjem vode, trajalo je od tri do pet minuta. Prilikom umešavanja materijala, primećeno je da vreme umešavanja u velikoj meri utiče na potrebnu količinu vode. Razlog za to može biti kidanje zrna RAP-a na manje komade.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 KARAKTERISTIKE SVEŽEG BETONA

Rezultati ispitivanja betonskih mešavina u svežem stanju dati su u tabeli 4. Kod mešavina sa dodatkom RAP-a izmerene su nešto niže vrednosti sleganja u poređenju sa kontrolnom mešavinom. Razlog za lošiju ugradljivost i obradljivost betona može biti u granulometrijskom sastavu RAP-a. Na osnovu prolaza na sitima, može se videti u kojoj meri je RAP siromašan sadržajem sitnih zrna, koja su od značaja za pomenute karakteristike betona. Pored granulometrijskog sastava, sadržaja sitnih čestica, površina zrna agregata u velikoj meri utiče na obradljivost svežeg betona [8]. To je bilo naročito izraženo kod mešavina M-2 i M-4 kod kojih je rečna frakcija 0/4 mm zamenjena dosta krupnijim RAP-om iste granulacije. Prisustvo bitumena i krupnijih zrna RAP-a je uticalo i na smanjenje kohezivnosti betona (videti sliku 4). Ipak, treba imati u vidu da odstupanja u pogledu konzistencije nisu značajna i da svih pet mešavina pripada istoj klasi konzistencije S3.

Vrednost zapreminske mase svežeg betona opada dodavanjem RAP-a, što je posledica prisustva bitumena, koji ima znatno nižu zapreminsku masu od prirodnog agregata. Na sadržaj vazduha i temperaturu svežeg betona, RAP nije imao uticaj.

Tabela 4 – Rezultati ispitivanja svežeg betona

Mešavina	Δh (mm)	V_s (%)	$\gamma_{b,sv}$ (kg/m ³)	T (°C)
M-1	120	2,5	2420	22,0
M-2	110	2,6	2340	21,0
M-3	120	2,5	2380	21,5
M-4	100	2,4	2399	22,0
M-5	110	2,7	2370	22,0



Mešavina M-2



Mešavina M-1

Slika 4 – Uticaj RAP-a na kohezivnost betonske mešavine

3.2 KARAKTERISTIKE OČVRSLOG BETONA

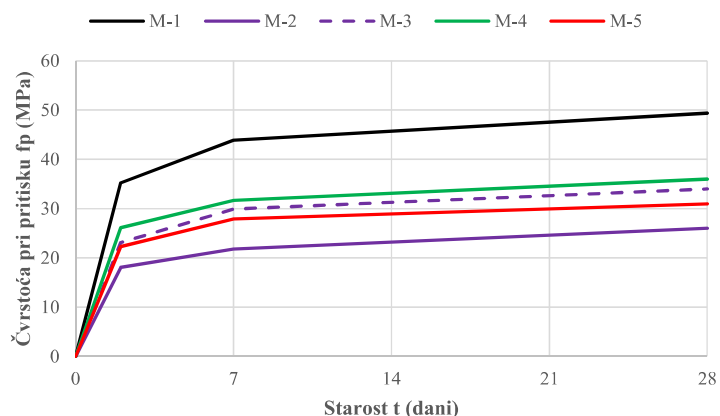
3.2.1 Čvrstoća pri pritisku

Ispitivanje čvrstoće pri pritisku vršeno je prema standardu SRPS EN 12390-3, na betonskim kockama ivice 15 cm, pri starostima od 2, 7 i 28 dana. Dobijeni rezultati ispitivanja prikazani su na slici 5.

U poređenju sa kontrolnom mešavinom (M-1), pri starosti od 28 dana, na ostalim mešavinama su zabeleženi sledeći padovi čvrstoće: 47% (M-2), 31% (M-3), 27% (M-4) i 37% (M-5). Na ovakve rezultate uticale su kako količina, tako i krupnoća upotrebljenih zrna. Naime, kontrolna mešavina sadrži 38% zrna krupnoće 0/4 mm, pa je kod mešavine M-4 ukupna količina RAP-a svega $0.38 \times 0.5 = 19\%$, za razliku od mešavina M-2 i M-3, gde je količina RAP-a 25%, odnosno 50%. U slučaju mešavine M-5 ukupna količina krupnog RAP-a je $0.62 \times 0.5 = 31\%$. Kada se na to doda, da je nosilac čvrstoće betona - zrna krupnoće 16/31.5 mm, zamenjen zrnima krupnoće 16/22.4 mm, pri čemu se tu nalaze zrna dobijena spajanjem manjih, gradacija je očekivana.

Dodatno pad čvrstoće pri pritisku se može objasniti i time, što je RAP obavijen slojem bitumena, koji je neuporedivo mekši materijal, u odnosu na agregat. Upitna je i sama veza između RAP-a, odnosno bitumena, i cementnog kamena. Strugani asfalt, koji se u dobroj meri sastoji od više manjih zrna spojenih u jedno, sadrži i nešto zarobljenog vazduha. Uz to su na komadima RAP-a zalepljeni i fini peskovi, uz koje pri kontaktu sa cementnom pastom nastaju šupljine [9], pa kontaktna zona definitivno postaje slabo mesto u strukturi betona. Prilikom

izlaganju uzoraka opterećenju, nesumnjivo je da će doći do loma baš u tim zonama, jer se čvrstoća cementnog kamena i prirodnog agregata ne može meriti sa čvrstoćom bitumenskog maltera.



Slika 5 – Čvrstoća pri pritisku

3.2.2 Čvrstoća pri savijanju i modul elastičnosti

U tabeli 5 date su izmerene vrednosti čvrstoće pri savijanju, modula elastičnosti i zapreminske mase u očvrslom stanju. Kao i kod čvrstoće pri pritisku, sa povećanjem sadržaja RAP-a opadaju i čvrstoća pri savijanju i statički modul elastičnosti, s tim što su vrednosti redukcija čvrstoće pri savijanju, niže u poređenju sa čvrstoćom pri pritisku. Ovo je u najvećoj meri posledica velike duktilnosti bitumena. Pad statičkog modula elastičnosti je u jako dobroj korelaciji sa padom čvrstoće pri pritisku.

U tabeli 5 osim izmerenih vrednosti (E) prikazane i računске vrednosti modula ($E_{rač}$), dobijene na osnovu formule (1) [10]. Zapaža se da u slučaju kontrolne mešavine, postoji mala razlika između izmerene i računске vrednosti modula elastičnosti, dok u slučaju mešavina sa RAP-om postoji veliko odstupanje ovih vrednosti, što ukazuje na to da se predmetna zavisnost ne može koristiti kod betonskih mešavina sa RAP-om.

$$E = 9,25 \cdot \sqrt[3]{(f_c + 10)} \quad (1)$$

Tabela 5 – Čvrstoća pri savijanju, statički modul elastičnosti i zapreminska masa

Mešavina	f_{zs} (MPa)	E (GPa)	$E_{rač}$ (GPa)	γ_b (kg/m ³)
M-1	6,3	37,5	36,0	2410
M-2	4,5	20,0	30,5	2338
M-3	5,6	27,5	32,5	2378
M-4	5,9	31,0	33,0	2400
M-5	5,2	23,0	32,0	2366

3.2.3 Trajnost betona

Sa aspekta trajnosti betona ispitani su otpornost betona na dejstvo mraza, otpornost na dejstvo mraza i soli, otpornost na habanje i vodonepropustljivost.

Ispitivanjem otpornosti na dejstvo mraza, za najjaču klasu M-200, ni na jednoj mešavini nije zabeležen pad čvrstoće. To znači da dodatak upotreba RAP-a u betonima nema štetan uticaj sa aspekta otpornosti na dejstvo mraza. Ovo je posledica kako prisustva bitumena, kao izuzetno duktilnog materijala tako i sadržaja vazduha u svežem betonu, koji je bio nepromenljiv.

Što se tiče otpornosti na dejstvo mraza i soli, ne može se sa sigurnošću izvesti zaključak o uticaju RAP-a na ovu karakteristiku. Prilikom ispiranja uzoraka, uočeno je kako komadi RAP-a izlagani dejstvu mraza i rastvora soli ostaju neoštećeni. Razlog nepostojanja jasne zavisnosti između količine upotrebljenog RAP-a i otpornosti betona na dejstvo mraza i soli može biti zbog nehomogenosti RAP-a i slabijih karakteristika kontaktne zone RAP-cementna matrica.

Prilikom ispitivanja vodonepropustljivosti betona, izveden je zaključak, da nema značajnog uticaja RAP-a na ponašanje betona izloženog visokom pritisku vode. Naime, bitumen je sam po sebi vodonepropustljiv. Imajući u vidu i da se vodocementni faktor svih mešavina kretao u veoma uskim granicama, za očekivati je da se dobiju betoni sa ujednačenim prodorima vode.

Ispitivanja su pokazala da beton sa sadržajem RAP-a ima manju otpornost na habanje, nego kontrolni beton, što je i očekivano s obzirom na pad čvrstoće pri pritisku. I pored toga sve mešavine su zadovoljile klasu otpornosti na habanje XM2.

Tabela 6 – Rezultati ispitivanja trajnosti betona

Mešavina	EKV (%)	Δm (mg/mm ²)	Δh (mm)	HBW (cm ³ /50cm ²)
M-1	109	0,305	18	12,6
M-2	102	0,278	20	16,5
M-3	107	0,366	20	12,7
M-4	107	0,248	18	14,0
M-5	101	0,463	21	13,6
Zahtevano	≤ 75*	≤ 0,3*	≤ 30*	≤ 17*

*prema SRPS U.M1.206 za klase M-200, MS-S1, V-II i XM2, respektivno.

4. ZAKLJUČAK

Ekperimentalna ispitivanja prikazana u ovom radu obuhvatila su ispitivanja četiri betonske mešavine sa delimičnom zamenom (25% i 50%) sitnog i krupnog prirodnog agregata RAP-om. Sledeći zaključci se mogu izvesti:

- Mešavine sa dodatkom RAP-a imaju malo kruću konzistenciju u poređenju sa kontrolnom.
- Sa povećanjem sadržaja RAP-a opadaju čvrstoća pri pritisku, čvrstoća pri zatezanju i modul elastičnosti. Ipak zbog svoje duktilnosti, kod čvrstoće pri savijanju zabeležena je manja redukcija čvrstoće u poređenju sa kontrolnom mešavinom.

- Sa aspekta trajnosti betona dodatak RAP-a nije imao štetan efekat ni na jedan od ispitivanih parametara.

Uzimajući u obzir izuzetnu trajnost, manju redukciju čvrstoće pri savijanju, kao i činjenicu da smanjenjem modula elastičnosti, nešto fleksibilnija konstrukcija, izaziva pojavu manjih naprezanja, čime se kompenzuje manja čvrstoća pri savijanju, jasno je da je primena betona sa RAP-om za izradu krutih kolovoznih konstrukcija moguća. Ovome dodatno ide u prilog i pozitivan efekat upotrebe RAP-a sa ekološkog aspekta, kao i veća žilavost betona sa dodatkom RAP-a [11].

LITERATURA

- [1] EAPA 2009, Production, Use, Propertis, and Occupational Exposure Reduction Tehnologies and Trends, dostupno na https://epa.org/wp-content/uploads/2018/07/global_perspective.pdf
- [2] Eurostat, Waste generation 2016, dostupno na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics#Total_waste_generation
- [3] Republički zavod za statistiku, Stvoreni i tretirani otpad, 2018, dostupno na: <https://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G20191171.pdf>
- [4] Carpenter, A.C.; Gardner, K.H. Use of industrial by-products in urban roadway infrastructure, 2009
- [5] West, R.; Coupland, A. High RAP asphalt pavements: Japan practice-lessons learned, NAPA 2015
- [6] Thomas J. Kazmierowski, Robert B. McGennis, Harold Paul Application of Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Asphalt Shingles in Hot-Mix Asphalt, доступно на: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec188.pdf>
- [7] WBCSD, "The Cement Sustainability Initiative," World Business Council for Sustainable Development, 2009, dostupno na: <http://www.wbcdcement.org/pdf/CSIRecyclingConcrete-FullReport.pdf>.
- [8] Mihailo Muravljov, "Osnovi teorije i tehnologije betona", Beograd 2000, str.76. i 77.
- [9] Anol Mukhopadhyay and Xijun Shi, VALIDATION OF RAP AND/OR RAS IN HYDRAULIC CEMENT CONCRETE: TECHNICAL REPORT, 2017
- [10] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, 1987
- [11] Baoshan Huang, Guoqiang Li, Xiang Shu, Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements, 2005