

# Prilog istraživanju mješavina s recikliranim asfaltnim agregatom

---

**Androjić, Ivica; Dimter, Sanja**

*Source / Izvornik:* **Građevinar, 2013, 65, 37 - 43**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:133:836072>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-26**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK  
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

*Repository / Repozitorij:*

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



Primljen / Received: 3.7.2012.

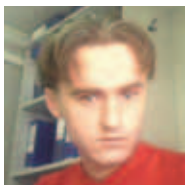
Ispravljen / Corrected: 15.1.2013.

Prihvaćen / Accepted: 20.1.2013.

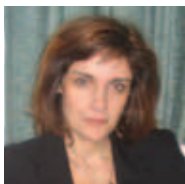
Dostupno online / Available online: 15.2.2013.

# Prilog istraživanju mješavina s recikliranim asfaltnim agregatom

## Autori:



Ivica Androjić, mag.ing.aedif.  
Osijek-Koteks d.d.  
[ivica.androjić@osijek-koteks.hr](mailto:ivica.androjić@osijek-koteks.hr)



Prof.dr.sc. Sanja Dimter, dipl.ing.građ.  
Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku  
Građevinski fakultet  
[sdimter@gfos.hr](mailto:sdimter@gfos.hr)

Stručni rad

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

## Prilog istraživanju mješavina s recikliranim asfaltnim agregatom

U radu su opisana ispitivanja mogućnosti primjene recikliranog asfalta u proizvodnji asfaltnih mješavina. Ispitivanjima u laboratoriju istražena je pogodnost za primjenu recikliranog asfalta te projektiran sastav asfaltnih mješavina BNHS-22 s 10%, 15% i 20% recikliranog asfalta nakon čega je izvedena pokusna proizvodnja projektiranih asfaltnih mješavina. Dobiveni rezultati omogućili su donošenje zaključaka o primjenjivosti i potrebnom udjelu recikliranog asfalta, tehnologiji proizvodnje te mogućim uštedama u proizvodnji novih asfaltnih mješavina.

### Ključne riječi:

reciklirani asfalt, asfaltna mješavina, tehnologija proizvodnje, uštede

Professional paper

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

## Use of recycled asphalt in the bituminous base course

Possibilities for using recycled asphalt in the asphalt mix manufacturing process are described in the paper. The applicability of recycled asphalt was tested in laboratory, and asphalt mixes BNHS-22 containing 10%, 15% and 20% of recycled asphalt were designed. The trial production of asphalt mixes designed in this way was then operated. The results obtained have led to conclusions about the applicability and necessary proportion of recycled asphalt, manufacturing technology, and possible savings in the manufacture of new asphalt mixes.

### Key words:

recycled asphalt, asphalt mix, production technology, cost savings

Fachbericht

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

## Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen in Asphaltmischungen

In der vorliegenden Arbeit ist die mögliche Anwendung von rezykliertem Asphalt in der Herstellung von Asphaltmischungen erforscht. Durch experimentelle Versuche in Laborbedingungen ist die Eignung von rezykliertem Asphalt für Asphaltmischungen untersucht und die Zusammensetzung von BNHS-22 Mischungen mit 10%, 15% und 20% rezykliertem Asphalt entworfen worden. Anschließend ist eine Versuchsherstellung der zusammengestellten Asphaltmischungen durchgeführt worden. Die erhaltenen Ergebnisse haben Schlussfolgerungen bezüglich der Verwendbarkeit von rezykliertem Asphalt, der erforderlichen Mischungsanteile, der Fertigungstechnik und der möglichen Einsparungen im Herstellungsprozess von neuen Asphaltmischungen ermöglicht.

### Schlüsselwörter:

rezykliertes Asphalt, Asphaltmischungen, Fertigungstechnik, Einsparungen

## 1. Uvod

Koncept održivog razvoja, koji je Republika Hrvatska prihvatila kao odrednicu svog budućeg razvoja [1], nalaže zaštitu čovjekova okoliša te očuvanje i zaštitu neobnovljivih izvorišta prirodnih agregata.

Iako Republika Hrvatska pripada skupini zemalja s dostatnim zalihama kvalitetnog građevno tehničkog kamena, situacija nastala posljednjih godina potakla je drugačija razmišljanja o ekonomičnosti i zaštiti kvalitetnog materijala za građenje i održavanje cesta. Troškovi transporta kamenog materijala od kamenoloma do mjesta ugradnje su porasli, kao i troškovi energije u kamenolomima i cijena bitumena. Jasni zahtjevi za očuvanjem okoliša rezultirali su porastom cijene kamenog agregata te nametnuli potrebu za odabiranjem učinkovitih i ekonomičnih postupaka i alternativnih materijala za građenje i održavanje cesta [2].

Ponovna uporaba starog asfalta u postupku proizvodnje nove asfaltne mješavine sasvim sigurno pripada skupini postupaka kojima je moguće racionalnije i ekološki prihvatljivije izgraditi novi asfaltni zastor. Uobičajeni naziv, prihvaćen u svijetu, za reciklirani asfaltni materijal je RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). Radi se o asfaltu dobivenom trganjem, drobljenjem ili frezanjem postojećeg starog asfaltnog kolnika [3] koji u sebi sadrži oko 95 % kvalitetnog i dobro graduiranog agregata obavijenog bitumenom. Recikliranje asfalta je u svijetu poznato već dugi niz godina. Prva ozbiljnija istraživanja započinjaju krajem 70-ih godina pokretanjem pilot projekata u SAD-u, kada je i porasla svijest o potrebi recikliranja iz više razloga. Najvažniji razlog je bio naftni embargo uslijed kojeg se cijena bitumena naglo povećala te je postalo važno iskoristiti stari asfalt. Nadalje, razvoj mehaničkih glodalica, koje su zamijenile rijače i strojeve za grijanje i struganje, a pomoću kojih se asfalt mogao glodati bez prethodnog zagrijavanja i onečišćavanja, bitno je utjecao na prihvaćanje reciklaže. Konačno, popularnosti postupka recikliranja pridonio je i razvoj bubanjskih asfaltnih postrojenja prije kojeg su inženjeri bezuspješno pokušavali riješiti pitanje recikliranja u postrojenju u kojem se proizvodi po šaržama [4].

Danas se primjena recikliranog asfalta u novim mješavinama smatra jednom od najraširenijih primjena nekog otpadnog materijala. U SAD-u je asfalt na prvom mjestu po ponovnoj uporabi u odnosu na ostale alternativne materijale; korisno se upotrijebi više od 80 % "proizvedenog" starog asfalta. Od europskih zemalja, RAP se u visokom postotku iskorištava u Danskoj, Francuskoj, Švedskoj i Njemačkoj, a posebno zanimljiv je primjer Nizozemske gdje je udio starog asfalta 30-40 % u proizvodnji asfaltnih mješavina. Nizozemci su inače poznati po najvećem europskom postotku recikliranja različitih otpadnih materijala. Rezultat je to visoke svijesti o vrijednosti okoliša i nastojanja da se okolno tlo ne koristi za različita odlagališta otpadnih materijala [2] niti da se iscrpljuju prirodna izvorišta materijala.

Primjena recikliranog asfalta nudi koristi i uštede u proizvodnji asfaltnih mješavina. Međutim, pri projektiranju treba imati na umu da se radi o materijalu čija svojstva mogu značajno utjecati na svojstva nove asfaltne mješavine, posebno zbog bitumenskog veziva. Potrebno je pažljivo ispitati svojstva recikliranog asfalta te, posebno, njegov udio u proizvodnji nove asfaltne mješavine kako bi se u konačnici dobila asfaltna mješavina čija su svojstva jednaka svojstvima nove mješavine. U nastavku rada opisat će se laboratorijska istraživanja provedena na recikliranom asfaltu u svrhu dobivanja najboljih karakteristika asfaltne mješavine u kojoj će se iskoristiti te pokusna proizvodnja projektiranih asfaltnih mješavina.

## 2. Eksperimentalni dio

Cilj istraživanja bio je utvrditi pogodnost i potreban udio recikliranog asfalta u proizvodnji nove asfaltne mješavine radi ostvarivanja traženih svojstava mješavine te mogućih ušteda pri proizvodnji.

### 2.1. Ispitivanje svojstava recikliranog asfalta

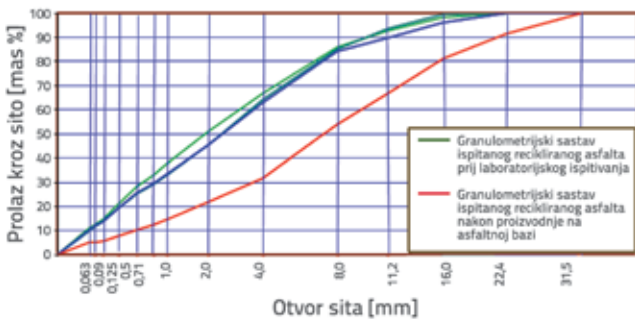
Reciklirani asfalt korišten u ispitivanju dobiven je strojnim glodanjem postojećeg asfaltnog kolnika u jednom sloju pri rekonstrukciji raskrižja državne ceste D7 i županijske ceste Ž 4202 u Vrpolju. Na slici 1. prikazan je reciklirani asfalt koji je ispitivan za izradu pokusnih receptura i pokusne proizvodnje asfaltnih mješavina.



Slika 1. Deponirani reciklirani asfalt

Granulometrijski sastav reciklirane asfaltne mješavine određen je prema normi HRN EN 12697-2 [5] i prikazan na slici 2. U granulometrijskom dijagramu vidljivo je znatno odstupanje u sastavu ispitanih recikliranih mješavina asfalta do kojeg dolazi zbog strojnog glodanja postojećeg asfaltnog kolnika u jednom sloju. Ukupno su ispitane četiri reciklirane asfaltne mješavine koje se po svom granulometrijskom sastavu [5] mogu razvrstati u skupine AB-11 i BNS-32.

Prethodna laboratorijska ispitivanja asfaltnih uzoraka temelje se na obradi tri reciklirane mješavine koje po svom granulometrijskom sastavu odgovaraju asfaltnoj mješavini AB-11. Naknadnim uzorkovanjem reciklirane mješavine iz podnožja deponija na asfaltnom postrojenju i laboratorijskom obradom ustanovljen je i udio sastava koji odgovara bitumeniziranoj asfaltnoj mješavini BNS-32.



Slika 2. Granulometrijski sastav recikliranih asfaltnih mješavina [5]

Numeričke vrijednosti ispitanih uzoraka granulometrijskog sastava mješavina i topivog udjela cestograđevnog bitumena određenog prema HRN EN 12697-1 [6] prikazane su u tablici 1. U tablici 1. su iskazane minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti sastavnih komponenata ispitanih uzoraka reciklirane mješavine za vrijeme i nakon izvođenja laboratorijskih ispitivanja.

Tablica 1. Granulometrijski sastav ispitanih uzoraka reciklirane mješavine

Sito [mm]	0,063 [%]	0,09 [%]	0,125 [%]	0,25 [%]	0,50 [%]	0,71 [%]	1,0 [%]	2,0 [%]	4,0 [%]	8,0 [%]	11,2 [%]	16,0 [%]	22,4 [%]	31,5 [%]	Bitumen [%]
Srednja vrijednost	9,40	10,70	12,30	17,10	22,80	26,40	30,10	41,20	56,70	77,80	86,30	94,30	98,40	100	5,03
Minimalne vrijednosti	6,30	6,30	6,90	8,80	11,50	13,50	15,80	22,80	32,70	56,00	68,70	83,40	93,70	100	3,16
Maksimalne vrijednosti	11,10	12,70	14,60	21,00	28,40	33,10	37,70	50,80	66,80	86,00	93,50	99,50	100,0	-	6,05

Tablica 2. Granulometrijski sastav projektirane asfaltne mješavine BNHS-22

Sito [mm]	0,063 [%]	0,09 [%]	0,125 [%]	0,25 [%]	0,50 [%]	0,71 [%]	1,0 [%]	2,0 [%]	4,0 [%]	8,0 [%]	11,2 [%]	16,0 [%]	22,4 [%]	Bitumen [%]
Srednja vrijednost	6,70	6,90	7,60	9,90	13,80	17,00	20,80	32,50	49,90	77,60	88,70	97,40	100,0	5,03

## 2.2. Izrada pokusnih receptura s recikliranim asfaltom

### 2.2.1. Sastavni materijali za izradu asfaltnih mješavina

Za izradu asfaltnih mješavina upotrijebljeni su sljedeći materijali:

- kameno brašno (*kamenolom Hercegovac – Radlovac d.d.*),
- kamena sitnež frakcija 0/4, 4/8, 8/16, 16/31,5 (*kamenolom Hercegovac – Radlovac d.d.*),
- cestograđevni bitumen 50/70 (*MOL-Republika Mađarska*),
- reciklirane asfaltne mješavine s gradilišta rekonstrukcije raskrižja D7 i Ž 4202 u Vrpolju.

Za izradu pokusnih receptura u laboratoriju ispitane su tri mješavine recikliranog asfalta koje sadrže različite udjele cestograđevnog bitumena u iznosima od 5,2 %, 5,50 % i 6,10 % [6]. Na temelju dobivenih rezultata recikliranih asfaltnih mješavina u laboratoriju projektiran je granulometrijski sastav s optimalnim udjelom cestograđevnog bitumena 50/70 od 4,90 %, a što je prikazano u tablici 2.

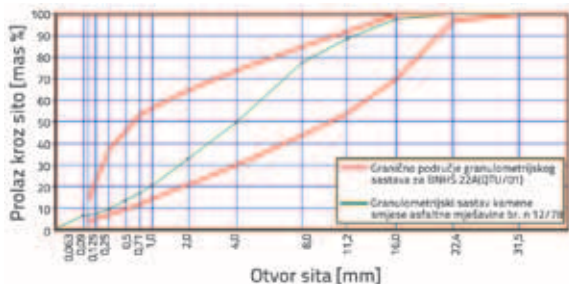
Laboratorijskim ispitivanjima određen je granulometrijski sastav mješavine [5], gustoća asfaltnih uzoraka prema HRN EN 12697-5 [7], gustoća asfaltnih mješavina prema HRN EN 12697-6 [8] te udio šupljina i ispunjenost šupljina prema HRN EN 12697-8 [9]. Granične vrijednosti propisane su Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama, knjiga III, toč.5-04. [10]. Utvrđene su recepture za izradu asfaltne mješavine

BNHS-22 s 10 %, 15 % i 20 % udjela recikliranog asfalta u svom sastavu.

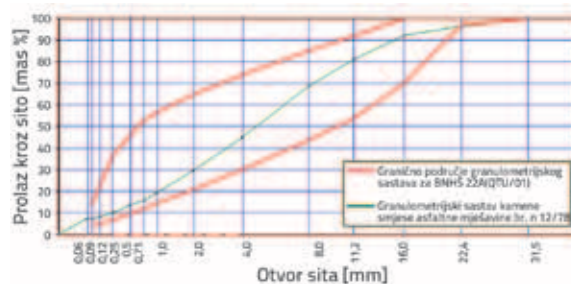
Granulometrijski sastav kamene mješavine za projektiranu asfaltnu mješavinu BNHS-22 s 10 % recikliranog asfaltnog materijala u svom sastavu prikazan je na slici 3.

Na slici 4. prikazan je granulometrijski sastav kamene mješavine za projektiranu asfaltnu mješavinu s 15 % recikliranog asfaltnog materijala.

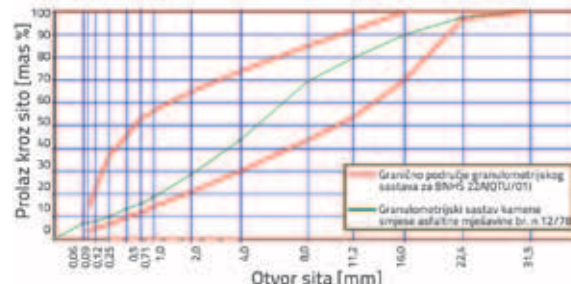
Granulometrijski sastav kamene mješavine za projektiranu asfaltnu mješavinu s 20 % recikliranog materijala prikazan je na slici 5.



Slika 3. Granulometrijski sastav asfaltne mješavine s 10% recikliranog asfalta [5]



Slika 4. Granulometrijski sastav asfaltne mješavine s 15% recikliranog asfalta [5]



Slika 5. Granulometrijski sastav asfaltne mješavine s 20% recikliranog asfalta [5]

Tablica 3. Rezultati fizikalno-mehaničkih svojstava mješavina izrađenih u laboratoriju i proizvedenih na asfaltnom postrojenju

Sita [mm]	10% recikliranog asfalta		15% recikliranog asfalta		20% recikliranog asfalta		Zahtjevi prema OTU [10]	
	laboratorij	asfaltna baza	laboratorij	asfaltna baza	laboratorij	asfaltna baza	min.	maks.
0,063	7,2	7,0	7,3	7,5	7,5	7,2		
0,090	7,9	7,2	7,9	7,5	8,2	7,3	4	14
0,125	8,7	8,0	8,7	8,3	9,1	8,1		
0,250	10,2	10,4	10,4	10,2	11,0	10,2	7	37
0,500	13,7	14,0	13,8	13,5	14,3	13,4		
0,710	15,8	16,9	15,9	16,0	16,5	15,7	12	53
1,000	17,9	20,3	17,8	19,1	18,7	18,6		
2,000	26,0	31,1	25,3	29,5	26,5	28,6	21	65
4,000	36,9	45,6	35,4	44,7	37,2	43,8	30	74
8,000	57,1	68,8	56,6	68,8	58,6	69,5	44	85
11,200	70,7	81,6	70	81,2	73,5	80,1	54	92
16,000	89,7	88,6	89,9	92,3	90,9	89,9	70	100
22,400	100,0	100	98,7	96,4	98,5	97,6	97	100
31,500	100,0	100	100	100	100	100	100	100
Bitumen [%]	4,79	4,72	4,64	4,37	4,74	4,12	4,0	6,0
Gustoća asfaltnog uzorka [t/m <sup>3</sup> ]	2525	2519	2521	2511	2515	2483		
Gustoća asfaltne mješavine [t/m <sup>3</sup> ]	2631	2627	2641	2637	2626	2642		
Udio šupljina [%]	4,03	4,11	4,54	4,78	4,13	6,02	2,0	5,0
Šupljine u kamenj smjesi [%]	15,89	15,77	16,01	15,54	15,91	16,05		
Ispuna šupljina bitumenom [%]	74,64	73,43	71,62	69,24	73,44	62,50	70,0	86,0

### 2.2.2. Ispitivanja fizikalno-mehaničkih svojstava asfaltnih mješavina

U tablici 3. su prikazani usporedni rezultati svojstava laboratorijski izrađenih uzoraka i asfaltnih mješavina proizvedenih na asfaltnom postrojenju. Dobiveni rezultati su uspoređeni s uvjetima koji su propisani u Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama, knjiga III [10].

Iz dobivenih rezultata prikazanih u tablici 3. vidljiva su znatna odstupanja u granulometrijskom sastavu mješavina i topivom udjelu cestograđevnog bitumena između laboratorijskih asfaltnih mješavina i mješavina proizvedenih na asfaltnom postrojenju. Znatna odstupanja se pojavljuju uslijed neravnomjernosti sastava reciklirane mješavine i povećanja njenog udjela u proizvedenim asfaltnim mješavinama. Gustoće asfaltnih mješavina kreću se u vrijednostima od 2626 do 2642 t/m<sup>3</sup>. Proizvedene asfaltne mješavine sa 15 % i 20 % recikliranog materijala u svom sastavu imaju nižu ispunjenost šupljina bitumenom (69,24 % i 62,50 %) u odnosu na OTU, knjiga III [10] koji propisuju minimalno 70 % ispunjenosti šupljina bitumenom. Udio šupljina asfaltne mješavine sa 20 % recikliranog materijala u svom sastavu iznosi 6,02 % te također ne zadovoljava uvjete propisane OTU, knjiga III [10] prema kojima je maksimalni udio šupljina 5,0 %.

### 2.2.3. Pokusna proizvodnja asfaltnih mješavina s recikliranim asfaltom

Nakon provedenih laboratorijskih ispitivanja pristupilo se pokusnoj proizvodnji asfaltne mješavine *BNHS-22* s različitim udjelima recikliranog asfalta (10 %, 15 % i 20 %) u svom sastavu. Ukupno su proizvedene 72 tone asfaltne mješavine od kojih 20 tona s 10 % recikliranog asfalta, 26 tona s 15 % recikliranog asfalta i 26 tona s 20 % recikliranog asfalta u ukupnoj masi asfaltne mješavine. Na slici 6. prikazana je pokusna proizvodnja asfaltne mješavine *BNHS-22* s 10 % recikliranog asfalta u svom sastavu.



Slika 6. Pokusna proizvodnja asfaltne mješavine s 10 % recikliranog asfalta

Na asfaltnom postrojenju doziranje se recikliranog asfalta obavljalo bez predgrijavanja, direktnim doziranjem u miješalicu. S obzirom na princip rada samog postrojenja, trebalo je zagrijati mineralnu mješavinu na približno 200°C, što je određeno proizvoljno. Temperatura proizvedene asfaltne mješavine od 149°C kontrolirana je mjerenjem digitalnim termometrom.

Za proizvodnju asfaltne mješavine s 15 % udjela recikliranog asfalta trebalo je zagrijati mineralnu mješavinu na 220°C. Izmjerena temperatura proizvedene asfaltne mješavine iznosila je 145°C. Za primijenjenu recikliranu mješavinu asfalta uočena je neujednačenost sastava mješavine. Upotrijebljena reciklirana mješavina dobivena je pretežito glodanjem bitumeniziranog nosivog sloja s nižim udjelom cestograđevnog bitumena što je u konačnici rezultiralo i smanjenim udjelom bitumena u proizvedenoj asfaltnoj mješavini. Uočeni nedostaci rezultirali su smanjenom uštede u doziranju cestograđevnog bitumena, a što je prikazano u tablici 5. Na slici 7. prikazana je dozirana reciklirana mješavina na pokretnoj traci u čijem sastavu se može uočiti prisutnost kamenih zrna iz nosivih slojeva kolničke konstrukcije. Uklanjanje krupnijih zrna u recikliranoj asfaltnoj mješavini izvedeno je na predstupu otvora 22mm.

Za proizvodnju asfaltne mješavine s 20 % udjela recikliranog asfalta trebalo je zagrijati mineralnu mješavinu na 235°C. Izmjerena temperatura proizvedene asfaltne mješavine iznosila je 144°C. U pokusnoj proizvodnji asfaltne mješavine s 20 % recikliranog asfalta uočeno je da dozirani reciklirani materijal znatno odstupa u svom sastavu u odnosu na prethodna laboratorijska ispitivanja. Naknadnim laboratorijskim ispitivanjem reciklirane mješavine određen je granulometrijski sastav prikazan u tablici 4.

Iz granulometrijskog sastava vidljivo je znatno odstupanje u odnosu na prethodna tri ispitana uzorka reciklirane mješavine. Udio cestograđevnog bitumena ispitivanog uzorka iznosio je 3,16 %, a što predstavlja znatno niži udio u odnosu na maksimalnu ispitanu vrijednost od 6,05 %.



Slika 7. Reciklirani asfalt dobiven glodanjem bitumeniziranog nosivog sloja

Tablica 4. Granulometrijski sastav recikliranog asfalta određen naknadnim ispitivanjem [5]

Sito [mm]	0,063 [%]	0,09 [%]	0,125 [%]	0,25 [%]	0,50 [%]	0,71 [%]	1,0 [%]	2,0 [%]	4,0 [%]	8,0 [%]	11,2 [%]	16,0 [%]	22,4 [%]	Bitumen [%]
Srednja vrijednost	6,30	6,30	6,90	8,80	11,50	13,50	15,80	22,80	32,70	56,00	68,70	83,40	93,70	3,16

Tablica 5. Planirane i ostvarene uštede u proizvedenim asfaltnim mješavinama

Bitumenizirani nosivi habajući sloj BNHS-22	10 % recikliranog asfalta	15 % recikliranog asfalta	20 % recikliranog asfalta
Ostvarena ušteda mineralne mješavine	oko 11 %	oko 19 %	oko 23 %
Očekivani udio cestograđevnog bitumena prije proizvodnje na temelju laboratorijskih ispitivanja	4,90 – 5,10 %	4,80 – 5,00 %	4,80 – 5,00 %
Planirana ušteda u doziranju cestograđevnog bitumena	5,20-6,00 kg/t (10,50 - 12,20 %)	7,80-9,10 kg/t (15,80 - 18,50 %)	10,40-12,10 kg/t (21,20 - 24,70 %)
Stvarna ušteda cestograđevnog bitumena	4 kg/t (8,33 %)	4,20 kg/t (8,57 %)	3,00 kg/t (6,12 %)

Usporedbe asfaltnih mješavina s obzirom na udio recikliranog asfalta u njima te iskazane vrijednosti planiranih i ostvarenih ušteda u sastavnim komponentama proizvedene asfaltnje mješavine prikazane su u tablici 5. Vrijednosti stvarnih ušteda cestograđevnog bitumena su bitno manje od planiranih ušteda dobivenih na temelju laboratorijskih ispitivanja uzoraka recikliranih mješavina, a što se objašnjava neravnomjernošću sastava recikliranih mješavina.

### 3. Analiza rezultata

Svojstva recikliranog asfalta u velikoj mjeri ovise o svojstvima materijala, vrsti asfaltnog sloja od kojeg je dobiven i tehnologiji uklanjanja. Zbog toga mogu postojati značajne razlike između mješavina u kvaliteti, veličini zrna i ravnomjernosti sastava. Ispitani uzorci mješavine recikliranog asfalta sadržavali su različite udjele cestograđevnog bitumena u iznosima od 3,16 %, 5,20 %, 5,50 % i 6,10 %, što je predstavljalo široki raspon i otežavalo je projektiranje uzoraka asfaltnih mješavina. Utvrđene su recepture za izradu asfaltnih mješavina bitumeniziranoga nosivog habajućeg sloja *BNHS-22* s 10 %, 15 % i 20 % udjela recikliranog asfalta u svom sastavu i s optimalnim udjelom cestograđevnog bitumena 50/70 od 4,90 %.

Usljed neravnomjernosti sastava i povećanja udjela reciklirane mješavine uočena su odstupanja u proizvedenim asfaltnim mješavinama u odnosu na vrijednosti dobivene laboratorijskim ispitivanjima. Gustoće asfaltnih mješavina kretale su se od 2626 do 2642 t/m<sup>3</sup>, a gustoće asfaltnih uzoraka od 2483 do 2525 t/m<sup>3</sup>. Asfaltnje mješavine s 15 % i

20 % recikliranog materijala u svom sastavu imale su manju ispunjenost šupljina bitumenom (69,24 % i 62,50 %) u odnosu na vrijednosti propisane OTU, knjiga III [10] prema kojima je definirano minimalno 70 % ispunjenosti šupljina bitumenom. Udio šupljina asfaltnje mješavine s 20 % recikliranog materijala u svom sastavu iznosio je 6,02 % te također nije zadovoljio uvjete propisane OTU, knjiga III [10] prema kojima je maksimalni udio šupljina 5,0 %.

Usljed izvođenja strojnog glodanja postojećeg asfaltnog kolnika u jednom sloju došlo je do znatnih odstupanja granulometrijskih sastava recikliranog asfalta. U recikliranoj mješavini uočena su i kamena zrna iz nosivih slojeva kolničke konstrukcije. Da bi se izbjegla ovakva neujednačenost sastava, odnosno postigao kontrolirani sastav recikliranog asfalta, glodanje je potrebno izvesti u segmentima zavisno od vrste asfaltnog sloja i tako dobiveni materijal pažljivo odvojiti i deponirati.

Na asfaltnom postrojenju doziranje se recikliranog asfalta vršilo bez predgrijavanja, direktnim doziranjem u miješalicu. Mineralna se mješavina zagrijavala na temperaturama 200–235 °C (ovisno o udjelu recikliranog asfalta) te je konačna temperatura asfaltnje mješavine s recikliranim asfaltom iznosila 144–149 °C. Tijekom pokusne proizvodnje uočeno je da znatno viši udio vlage u recikliranom asfaltu iziskuje i višu potrebnu temperaturu zagrijavanja mineralne mješavine. Smanjivanje vlažnosti izraženo u postotku recikliranog asfalta bilo bi moguće jednostavnim natkrivanjem deponiranog materijala.

## 4. Zaključak

U radu su opisani rezultati laboratorijskih ispitivanja i rezultati pokusne proizvodnje asfaltnih mješavina sa 10 %, 15 %, 20 % recikliranog asfalta koji je dobiven glodanjem starih asfaltnih slojeva. Laboratorijskim ispitivanjem se nastojala utvrditi pogodnost recikliranog asfalta za primjenu u novoj asfaltnoj mješavini te projektirati sastav asfaltnih mješavina BNHS-22 s različitim udjelima recikliranog asfalta. Pokusnom proizvodnjom u asfaltnoj bazi proizvedene su projektirane mješavine s različitim udjelima recikliranog asfalta. Uočene su i poteškoće vezane za tehnologiju proizvodnje, zbog svojstava recikliranog asfalta. Zaključci su sljedeći:

- Asfaltna mješavina s 15 % i 20 % recikliranog materijala u svom sastavu imaju su manju ispunjenost šupljina bitumenom (69,24 % i 62,50 %) u odnosu na Opće tehničke uvjete za radove na cestama koji propisuju minimalno 70 % ispunjenosti šupljina bitumenom.
- Da bi se izbjegle neujednačenosti sastava reciklirane asfaltna mješavine, odnosno postigao njezin kontrolirani sastav, glodanje treba izvesti u segmentima zavisno od vrste asfaltnog sloja i tako dobiveni materijal odvojeno deponirati.
- Na asfaltnom postrojenju doziranje se recikliranog asfalta obavlja bez predgrijavanja, direktnim doziranjem u miješalicu. Uočeno je da znatno viši udio vlage u recikliranoj asfaltnoj mješavini iziskuje i višu potrebnu temperaturu za zagrijavanje mineralne mješavine. Prilikom glodanja recikliranog asfalta vlaže se noževi zbog smanjivanja njihove temperature te uslijed toga dolazi do povećanja vlažnosti uklonjenog materijala. Osim toga, reciklirani je materijal na deponiju izložen oborinama. Problemi povećane vlažnosti mogli bi se djelomično riješiti dovoljnim

odležavanjem recikliranog materijala u natkrivenom deponiju.

- Dobiveni rezultati upućuju na moguće uštede u proizvodnji asfaltnih mješavina. Ušteda na mineralnoj mješavini iznosi od 11 do 23 %, ovisno o udjelu recikliranog asfalta, a ušteda na doziranju cestograđevnog bitumena iznosi 6 do 8,5 %. Navedene uštede cestograđevnog bitumena su, zbog neravnomjernosti sastava recikliranih asfaltnih mješavina, znatno niže od onih planiranih iznosa uštede dobivenih laboratorijskim ispitivanjima.

Danas se primjena recikliranog asfaltnog agregata u novim asfaltnim mješavinama smatra jednom od najraširenijih primjena nekog otpadnog građevinskog materijala u svijetu. Svoju mogućnost iskorištenja je reciklirani asfaltni agregat potvrdio tijekom višegodišnje primjene u cestogradnji razvijenih europskih zemalja - u početku na pokusnim dionicama pod stvarnim uvjetima, a kasnije kao standardni materijal. Europske zemlje koje dugi niz godina primjenjuju reciklirani asfalt u proizvodnji novih asfaltnih mješavina imaju tehničke propise [11] koji definiraju svojstva materijala, svojstva asfaltnih mješavina, način određivanja postotnog udjela recikliranog asfalta u mješavinama i tehnologiju izvedbe.

Kod nas su, još uvijek, na snazi Opći tehnički uvjeti za radove na cestama koji ne nude mogućnost primjene recikliranog asfaltnog agregata u proizvodnji asfaltnih mješavina (niti bilo kojeg drugog nestandardnog materijala), ali skoro objavljivanje novih propisa o asfaltnim mješavinama trebalo bi i to promijeniti. Rezultati opisani u ovom radu predstavljaju korak u daljnjem istraživanju asfaltnih mješavina s recikliranim asfaltnim agregatom, a sve s ciljem dobivanja potpunijeg uvida u svojstva i ponašanje takvih mješavina.

## LITERATURA

- [1] Aničić, D., Čulo, K.: *Građevinski inženjeri na putu u Europu*, PROJEKT CARDS 2001, Europska unija i Građevinski fakultet Osijek, Osijek, 2004.
- [2] Dimter, S.: *Mogućnost primjene otpadnih materijala u graditeljstvu*, Petogodišnji program stručnog usavršavanja u građevinarstvu, Građevinski fakultet Osijek, 2005-2010.
- [3] Schwabe, Ž.: *Recikliranje asfaltnih kolničkih konstrukcija*, Gospodarenje prometnom infrastrukturom, Dani prometnica 2009, Zagreb, rujan 2009. 189-239.
- [4] Roberts, F., Kandhal, P., Brown, E.: *Vruće asfaltna mješavine, materijali, projektiranje i ugradnja*, drugo izdanje (prijevod s engleskog jezika), Hrvatski savez građevinskih inženjera: Institut građevinarstva Hrvatske, 2003.
- [5] HRN EN 12697-2:2003 Bitumenske mješavine – Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom – 2. dio: Određivanje granulometrijskog sastava
- [6] HRN EN 12697-1:2003 Bitumenske mješavine – Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom – 1. dio: Topljivi udio veziva
- [7] HRN EN 12697-5 Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom – 6. dio: Određivanje gustoće asfaltnih mješavina
- [8] HRN EN 12697-6 Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom – 6. dio: Određivanje gustoće asfaltnih uzoraka
- [9] HRN EN 12697-8 Ispitne metode za asfalt proizveden vrućim postupkom – 6. dio: Određivanje šupljina u asfaltnim uzorcima,
- [10] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, knjiga 3., Kolnička konstrukcija, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 2001.
- [11] Sherwood, P.T.: *Alternative materials in road construction*, A guide to the use of recycled and secondary aggregates, second edition, Thomas Telford Publishing, London, 2003