

Primljen / Received: 21.12.2017.

Ispravljen / Corrected: 4.5.2018.

Prihvaćen / Accepted: 15.6.2018.

Dostupno online / Available online: 10.9.2018.

# Istraživanje primjenjivosti plovućca kao mineralnog vlakna u splitmastiks asfaltu

Autor:

Doc.dr.sc. **Sevil Köfteci**, dipl.ing.građ.

Sveučilište Akdeniz

Tehnički fakultet

Odjel za građevinarstvo

Antalya, Turska

[skofteci@akdeniz.edu.tr](mailto:skofteci@akdeniz.edu.tr)

Prethodno priopćenje

**Sevil Köfteci**

## Istraživanje primjenjivosti plovućca kao mineralnog vlakna u splitmastiks asfaltu

Splitmastiks asfalt (SMA) vrsta je asfaltnog zastora kolničkih konstrukcija koji se u pravilu upotrebljava na cestama namijenjenim teškom prometnom opterećenju. Kako je SMA vruća asfaltna mješavina diskontinuiranog sastava, u mješavini se koriste vlakna da bi se spriječilo ocjeđivanje bitumenskog veziva sa zrna agregata. SMA mješavine koriste dvije vrste vlakana: celulozna vlakna i mineralna vlakna. U radu se analizira mogućnost primjene plovućca kao mineralnog vlakna u mješavinama SMA. Dobiveni rezultati pokazuju da se plovućac može u odgovarajućem omjeru (4 %) koristiti kao zamjena za celulozna vlakna u mješavinama SMA.

**Ključne riječi:**

asfaltni kolnik, splitmastiks asfalt, plovućac, stabilizirajuće vlakno, Schellenbergovo ispitivanje

Scientific Paper - Preliminary report

**Sevil Köfteci**

## Investigation on the usability of pumice as mineral fibre in stone mastic asphalt

The stone mastic asphalt (SMA) is a type of asphalt surfacing for pavement structures that is normally used on roads destined to heavy vehicle traffic. Because SMA is a gap-graded hot mix asphalt, fibres should be used in order to prevent draining of bitumen between aggregate grains. Two types of fibres are used in SMA: cellulose fibres and mineral fibres. The paper investigates the usability of pumice as mineral fibre in SMA mixes. The obtained results show that pumice can be used in an appropriate proportion (4%) as an alternative to cellulose fibres in SMA mixes.

**Key words:**

asphalt pavement, stone mastic asphalt, pumice, stabilizing fibre, Schellenberg test

Vorherige Mitteilung

**Sevil Köfteci**

## Untersuchung der Anwendbarkeit von Bims als Mineralfaser im Splittmastixasphalt

Splittmastixasphalt (SMA) ist eine Art des Asphaltbelags für Fahrbahnkonstruktionen, der in der Regel für Straßen verwendet wird, die für eine hohe Verkehrsbelastung bestimmt sind. Da SMA eine heiße Asphaltmischung mit einer diskontinuierlichen Zusammensetzung ist, werden in der Mischung Fasern verwendet, um das Ablassen des Bitumenbindemittels von den Aggregatkörnern zu verhindern. In den Mischungen des SMA werden zwei Faserarten verwendet: Zellulosefasern und Mineralfasern. In der Abhandlung wird die Möglichkeit der Anwendung von Bims als Mineralfaser in den Mischungen des SMA analysiert. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass Bims in einem entsprechenden Verhältnis (4 %) in den Mischungen des SMA als Ersatz für Zellulosefaser verwendet werden kann.

**Schlüsselwörter:**

Straßenasphalt, Splittmastixasphalt, Bims, stabilisierende Faser, Schellenberg-Untersuchung

## 1. Uvod

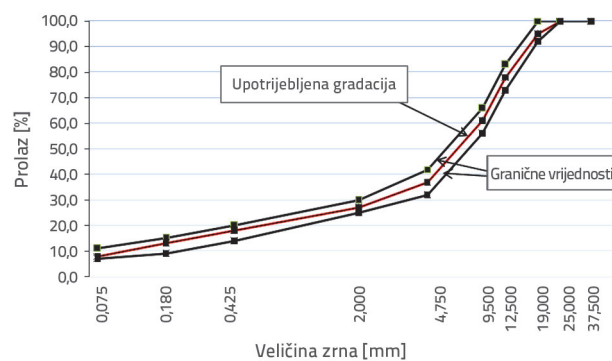
Prometni su sustavi izuzetno značajni za gospodarski napredak svake države. Moglo bi se općenito utvrditi da su autoceste prometni sustav koji je danas najčešće u upotrebi. Kolničke konstrukcije autocesta moraju biti otporne na pojavu deformacija, naročito deformacija nastalih djelovanjem teških teretnih vozila. Splitmastiks asfalt (SMA) razvijen je u Njemačkoj šezdesetih godina prošlog stoljeća radi dobivanja otporanog materijala pogodnog za primjenu na cestama s teškim prometnim opterećenjem [1, 2]. SMA je vruća asfaltna mješavina (eng. *hot mix asphalt* - HMA) diskontinuiranog sastava koja je projektirana kako bi se što više povećala trajnost i otpornost na pojavu deformacija (kolotruga) [3]. Karakteristika takvog granulometrijskog sastava je veliki razmak između zrna agregata zbog visokog udjela krupnozrnatog agregata. Zbog toga se postiže velika otpornost na pojavu kolotruga i to pomoću izravnog kontakta između pojedinačnih zrna. S druge strane, visoki udio veziva (koji obično varira u rasponu od 5,5 do 7,0 posto od težine mješavine) omogućuje povećanje trajnosti zbog veće debljine bitumenskog filma kojim su obavijena zrna agregata [4]. Stabilizirajući aditivi ovdje djeluju kao nositelji veziva. Njihova je zadaća da za vrijeme obavljanja radova poput miješanja, prijevoza, ugradnje i zbijanja stabiliziraju visok udio veziva koji je potreban mastiksu. Na taj se način sprečava ocjeđivanje vezivnog sredstva s minerala [5]. Kod visokih temperatura i velikih opterećenja pogodna je upotreba tvrdog bitumenskog veziva. Kao zamjena za vlakna može se koristiti vezivo modificirano polimerom (kao što je EVA ili SBS) [6]. Općenito se kao sredstvo za sprečavanje procjeđivanja u mješavinama SMA koriste celulozna ili mineralna vlakna [7, 8]. S obzirom na to da je cijena celuloznih vlakana prilično visoka, danas se velika pažnja pridaje mogućnosti korištenja drugih vrsta vlakana ili aditiva, te su na tu temu provedena brojna istraživanja [9-11]. Plovučac je porozna vrsta stijene, vrlo česta u Turskoj, pa je cijena tog materijala relativno niska. U ovom se radu analizira i uspoređuje utjecaj plovučca kao mineralnog vlakna, na svojstva mješavine SMA. Dvije se metode mogu primijeniti za određivanje intenziteta procjeđivanja. Prva je ispitivanje Schellenbergovom metodom pri kojoj se uglavnom koriste laboratorijske čaše. Druga je metoda ispitivanje procjeđivanja kroz žičanu košaru, pri kojoj se procjeđena mješavina SMA određuje je pomoću žičane košare izrađene od standardne žice otvora 6,3 mm. Za

pripremu kontrolnih uzoraka korištena su celulozna vlakna. Za pripremu uzoraka korišten je cestograđevni bitumen. Marshallovi uzorci izrađeni su kako bi se odredio razmak između agregata za mješavine s optimalnim udjelom vlakana. Također, izračunane su vrijednosti omjera indirektno vlačne čvrstoće (eng. *indirect tensile strength ratio* - ITS), kako bi se odredila osjetljivost uzoraka na utjecaj vode. Dobiveni rezultati uspoređeni su s granicama koje su definirane u odgovarajućim tehničkim uvjetima.

## 2. Eksperimentalni dio

### 2.1. Materijali

Istraživanja su provedena u Laboratoriju za istraživanje kolničkih konstrukcija Sveučilišta Akdeniz, u Antalyaju u Turskoj. Za potrebe istraživanja korišten je bitumen penetracije 50/70, kakav se u Antalyji najčešće upotrebljava u cestogradnji pa je zato i odabran za potrebe ovog istraživanja. U istraživanju je kao bazalni materijal korišten krupnozrnati i sitnozrnati agregat s lokacije Kütahya u Turskoj. Mješavine SMA projektirane su prema granulometrijskoj krivulji koja je prikazana na slici 1. Mješavina SMA koja je pripremljena i analizirana za potrebe istraživanja je splitmastiks asfalt za vezni sloj. Uzorci su pripremljeni u skladu s tehničkim uvjetima, [12]. Kriteriji za projektiranje mješavine SMA prikazani su u tablici 1.

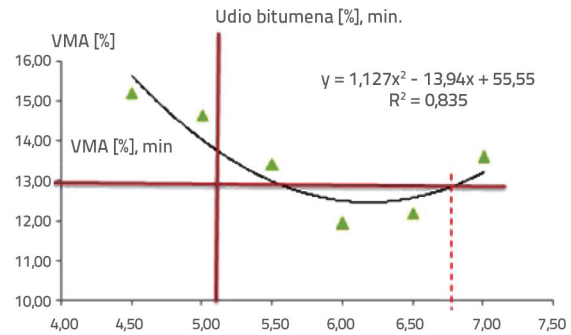
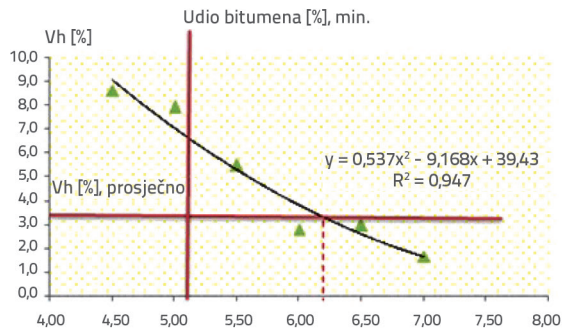


Slika 1. Granulometrijska krivulja agregata korištenog u istraživanju

Vrijednost dobivena ispitivanjem bazalnog agregata metilenskim modrilom iznosi 3 g/kg, što je očekivano jer se bazalt odlikuje izuzetno čvrstom strukturom. To znači da je

Tablica 1. Vrijednosti i tehnički uvjeti za projektiranje splitmastiks asfalta

Opis	Vezni sloj	Tehnički uvjeti
Broj udaraca za izradu uzoraka	50	TS EN 12697-30
Udio šupljina ispunjenih zrakom [%]	3-4	TS EN 12697-8
Šupljine u mineralnom agregatu, (VMA) % min.	13	TS EN 12697-8
Ispuna šupljina bitumenom, [%] min.	5.2	TS EN 12697-1
Koeficijent procjeđivanja, [%] max.	0.3	TS EN 12697-18
Indirektna vlačna čvrstoća, [%] min.	80	AASHTO T 283
Relativna dubina kolotruga, 30.000 ciklusa, 60 °C [%] max.	6	TS EN 12697-22



Slika 2. Određivanje vrijednosti optimalnog udjela bitumena (OBR) pomoću postotka šupljina u mineralnom agregatu (VMA) i udjela šupljina ispunjenih zrakom (Vh)

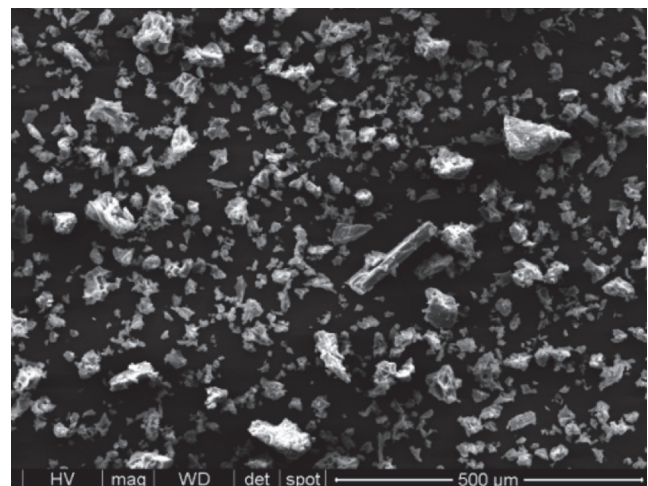
stopa gline u sitnozrnatom agregatu vrlo visoka. Zbog toga je u ovom istraživanju korišteno punilo vapnenačkog podrijetla iz Antalye, Turska. U eksperimentalnim je ispitivanjima korištena Marshallova metoda za projektiranje mješavina. Ispitano je osamnaest uzoraka za šest različitih udjela bitumena prema uputama iz AASHTO T 245-97 [13] kako bi se odredio optimalni udio bitumena (eng. *optimum bitumen rate* - OBR) u uzorcima. Uzorci su ohlađeni na sobnu temperaturu i izvađeni iz kalupa. Na temelju podataka o težini i visini uzoraka izrađene su krivulje: udio šupljina ispunjenih zrakom (Vh) i postotak šupljina u mineralnom agregatu (eng. *voids in mineral aggregates* - VMA) u odnosu na količinu bitumena. Te su krivulje prikazane na slici 2., a korištene su za određivanje optimalnog udjela bitumena. Na temelju podataka o projektiranju koji su prikazani u tablici 2., vrijednost OBR izračunane su pomoću izraza (1):

$$OBR = 3.25 \left[ \frac{2.65}{SG_{agg}} \right] \sum^{0.2} SSA \quad (1)$$

Plovućac je podrijetlom iz turske pokrajine Isparta. Taj je materijal usitnjen u laboratoriju na dvije frakcije. Granulometrijski sastav prve eksperimentalne grupe varirao je od 0,180 mm do 0,075 mm. Druga se grupa sastojala od zrna sitnijih od 0,075 mm. Svojstva plovućca analizirana su XRF metodom tj. rentgenska fluorescentna analiza (eng. *X-Ray Fluorescence* - XRF) i SEM analizom tj. analizom pomoću pretražnog elektronskog mikroskopa (eng. *Scanning Electron Microscope* - SEM). Ispitivanje XRF metodom provedeno je kako bi se odredio mineraloški sastav plovućca te njihov pojedinačni udio. Rezultati ispitivanja XRF prikazani su u tablici 2.

S obzirom na to da je plovućac porozna vrsta stijene koja se često nalazi u Turskoj, njegova je cijena relativno niska. Na slici 3. je vidljiv mikroskopski prikaz strukture plovućca korišten u ovom istraživanju. Na slici se lako može uočiti porozna

struktura tog materijala. Upravo se zbog tog svojstva plovućac koristi kao sredstvo za zadržavanje bitumena u zoni između zrna agregata.



Slika 3. Prikaz strukture plovućca pomoću mikroskopa SEM analize

## 2.2. Schellenberg-Von Weppenovo ispitivanje procjeđivanja

Schellenbergovo i Von Weppenovo ispitivanje procjeđivanja provedeno je kako bi se odredila količina procjeđivanja bitumena. Ovo se ispitivanje obično provodi za vlakna koja se baziraju na celulozi te je dobro poznato u stručnoj literaturi. U istraživanju je izmjerena sposobnost plovućca u sprječavanju procjeđivanja. Svojstva ovog mineralnog vlakna najviše ovise o njegovom podrijetlu. To mineralno vlakno nije komercijalni proizvod te je lako dostupno i cijena mu je niska.

Pojedinačne faze ispitivanja prikazane su na slici 4. Ispitivanje je provedeno prema [14]. Količina od 1000 g ( $W_1$ ) mješavine

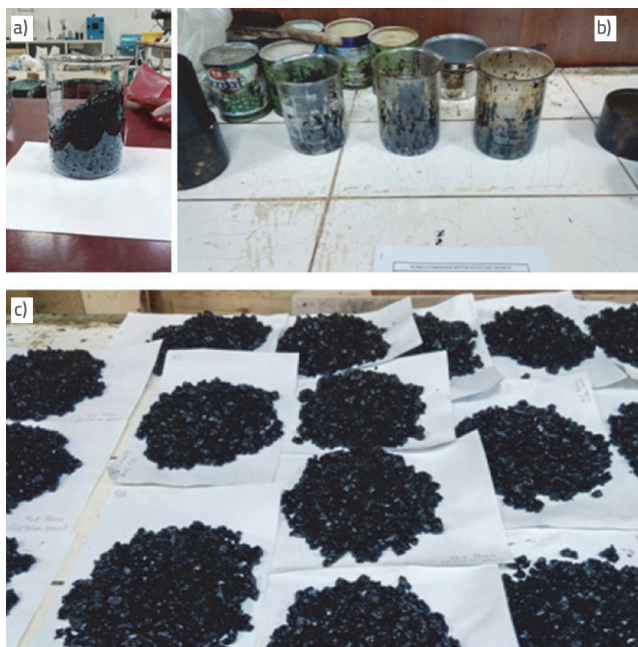
Tablica 2. Rezultati ispitivanja XRF metode

	SiO <sub>2</sub> [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	MgO [%]	CaO [%]	Na <sub>2</sub> O [%]	K <sub>2</sub> O [%]	TiO <sub>2</sub> [%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]	MnO [%]	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	SO <sub>3</sub> [%]	LOI [%]	A,Za [%]	Ukupno [%]
Plovućac	60,94	15,26	3,16	0,57	3,24	4,56	6,21	0,36	0,23	0,10	0,02	0,43	3,77	-	99,70

splitmastiks asfalta pripravljena je u skladu s prikazanom granulometrijskom krivuljom. Laboratorijska je čaša grijana 15 minuta u pećnici na temperaturi od 110°C.

1. Agregat je stavljen u zagrijanu laboratorijsku čašu (slika 4.a).
2. Laboratorijska čaša stavljena je u pećnicu gdje je grijana 60±1 minutu na temperaturi od 170°C.
3. Laboratorijska čaša izvađena je iz pećnice i agregat je izvađen iz čaše (slika 4.b).
4. Izmjerena je težina ohlađene mješavine ( $W_2$ ), a dopušteno odstupanje iznosilo je 0,1 g (slika 4.c)
5. Koeficijent procjeđivanja (eng. *drain-down ratio* - DR) izračunan je pomoću izraza (2):

$$DR = 100 \times \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (2)$$



Slika 4. Faze ispitivanja Schellenbergovom metodom

### 2.3. Ispitivanje procjeđivanja kroz žičanu košaru

Ispitivanje procjeđivanja kroz žičanu košaru druga je metoda koja je u ovom istraživanju primijenjena za određivanje količine procjeđivanja bitumena. Ispitivanje je u skladu s normom AASHTO T305, 2014 [15]. Pomoću tog ispitivanja praćeno je procjeđivanje bitumena za vrijeme proizvodnje, skladištenja, prijevoza i ugradnje [16]. Materijali korišteni u ispitivanju prikazani su na slici 5. Prethodno spomenute nezbijene mješavine pripravljene su i stavljene u žičanu košaru izrađenu od standardne mreže s promjerom otvora od 6,3 mm (slika 5.a). Žičane košare postavljene su na tanjure čija je težina izmjerena prije ispitivanja ( $W_1$ ). Obje su košare stavljene u pećnicu zajedno s tanjurima i u njoj su grijane tri sata na temperaturi od 170°C. Nakon tri sata, košare i tanjuri izvađeni su iz pećnice (slika 5.b).

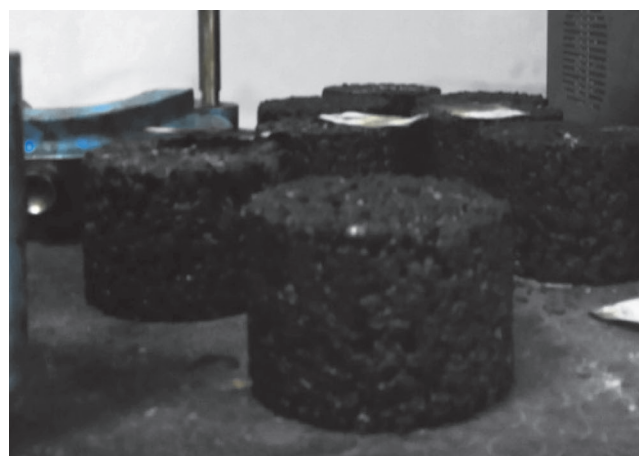
Izmjerena je težina tanjura ( $W_2$ ), a koeficijent procjeđivanja (DR) izračunan je pomoću izraza (2).



Slika 5. Postavljeno ispitivanja sa žičanom košarom

### 2.4. Određivanje udjela šupljina ispunjenih zrakom i šupljina u mineralnom agregatu

Kako bi se zadovoljili kriteriji za projektiranje mješavina SMA, šupljine ispunjene zrakom i postotak šupljina u mineralnom agregatu (VMA) određene su pomoću Marshallovih uzoraka. Prema rezultatima koji su dobiveni tijekom ispitivanja procjeđivanja, najpovoljniji stupanj procjeđivanja bitumena postiže se s dodatkom 4 % plovućca. Kod uzoraka u kojima je aditiv bio zastupljen u iznosu od 6 %, problemi su nastali tijekom procesa miješanja. Iz tog su razloga Marshallovi uzorci pripremljeni s 4 % mineralnih vlakana i sa 6,5 % optimalnog udjela bitumena. U kontrolnim je mješavinama korišteno 0,25 % celuloznih vlakana, što je zapravo količina koju preporučuje proizvođač. Marshallovi uzorci (cilindri promjera 102 mm i visine 64 mm) pripremljeni su od bazaltnog agregata težine 1150 g i bitumena penetracije 50/70. Marshallov je uzorak prikazan na slici 6.



Slika 6. Marshallovi uzorci pripremljeni za eksperimentalni postupak

Marshallovi uzorci pripremljeni su kako je opisano u normi AASHTO T 245-97, 2015. Agregati bazaltnog i vapnenačkog porijekla pomiješani su u propisanom omjeru, a prema granulometrijskoj krivulji koja je prikazana na slici 1. Pripremljene mješavine agregata zagrijane su na temperaturu



otprilike 170°C. Zatim je u spremnik miješalice dodan agregat i zagrijani bitumen, nakon čega je slijedilo miješanje u trajanju od 120 sekundi. Prema *Turskim tehničkim uvjetima za gradnju autocesta*, temperatura mješavine ne smije biti niža od 145°C. Kako bi se tijekom miješanja uzeo u obzir ovaj zahtjev, temperatura mješavine mjerena je pomoću infracrvenog termometra. Nakon miješanja, mješavine bitumena i agregata ugrađene su u zagrijane čelične kalupe zbijanjem Marshallovim čekićem. Sljedećeg dana, nakon što su se ohladili kalupi te nakon otvrdnjavanja mješavine, uzorci su izvađeni iz čeličnih kalupa. Izmjerena je težina svakog uzorka na zraku i u vodi, kao i visina te površinska težina u zasićenom stanju. Izračunan je također obujam, relativna gustoća, maksimalna teorijska relativna gustoća, udio šupljina ispunjenih zrakom te udio šupljina u mineralnom agregatu.

## 2.5. Ispitivanje osjetljivosti na vodu

Omjer indirektna vlačne čvrstoće (eng. *Indirect Tensile Strength Ratio - ITR*) obično se koristi kako bi se ocijenila osjetljivost uzoraka asfaltne mješavine na djelovanje vode. Osjetljivost na vodu izuzetno je znaĉajan pokazatelj ponašanja asfaltnih kolnika, a naroĉito kod splitmastiks asfalta zbog diskontinuiranog sastava agregata. U ovom radu, raspodjela preporuĉenih novih vlakana u mješavini znatno utjeĉe na postupak miješanja pa stoga i na osjetljivost na djelovanje vode. U ovom ispitivanju – koje je provedeno prema normi AASHTO T 283 – uzorci su podijeljeni u dvije kategorije, tj. na kondicionirane i nekondicionirane uzorke. Kondicionirani uzorci zasićeni su vodom (50 do 80 %) u vakuumskom eksikatoru uz vibriranje te su bili zamrznuti 16 sati na temperaturi od -18°C. Nakon 16 sati koliko su bili zamrznuti, kondicionirani uzorci uronjeni su u vodu zagrijanu na temperaturu od 60°C. 24 sata nakon toga i kondicionirani i nekondicionirani uzorci uronjeni su u vodu zagrijanu na 25°C i u toj su vodi ostavljeni dva sata. Na kraju su svi uzorci razbijeni nanošenjem vertikalnog opterećenja brzinom od približno 51 mm/min pomoću Marshallovog ispitivaĉa. Omjer indirektna vlačne čvrstoće (ITSR) izraĉunan je pomoću izraza (3):

$$ITSR = \frac{S_{t2}}{S_{t1}} \quad (3)$$

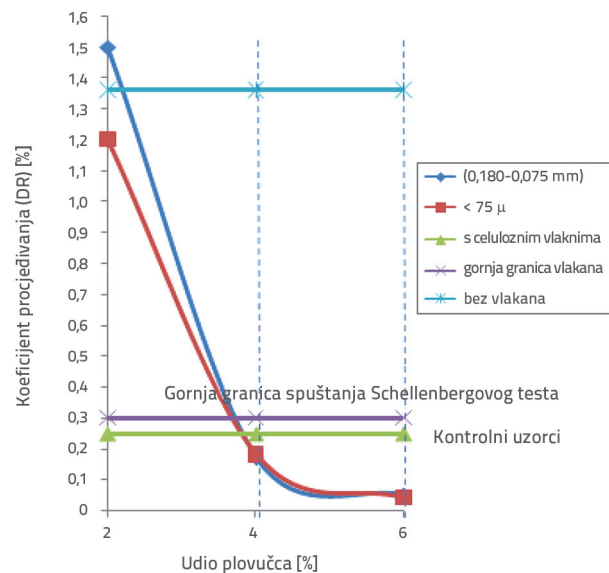
gdje su  $S_{t1}$  i  $S_{t2}$  aritmetičke sredine vrijednosti indirektnih vlačnih čvrstoća nekondicioniranih tj. kondicioniranih uzoraka.

## 3. Rezultati

### 3.1. Rezultati Schellenbergovog ispitivanja

U ovom su radu korištene dvije frakcije plovuĉca (0,180 - 0,075 mm) i (< 75 μ) kako bi se odredio utjecaj veličine vlakana. Plovuĉac je dodan u mješavinu u koliĉini od 2, 4 i 6 %. Na slici 7. prikazani

su rezultati procjeđivanja za kontrolne uzorke (s peletima od celuloznih vlakana obloženih bitumenom), uzorke bez vlakana te za dva uzorka različite veličine mineralnih vlakana plovuĉca.



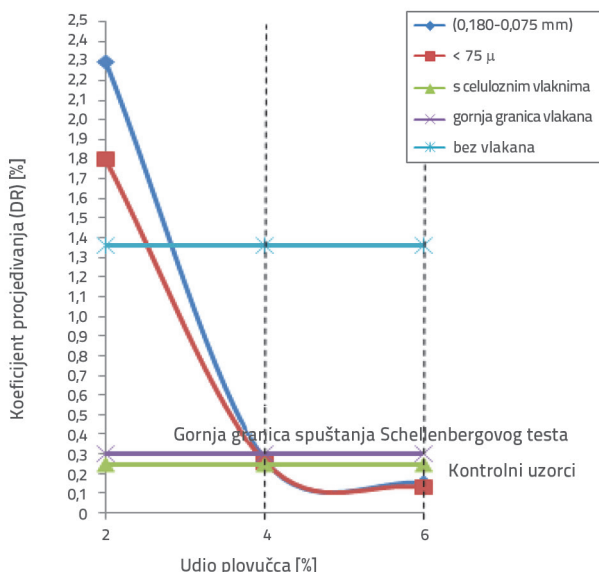
Slika 7. Grafiki prikaz rezultata Schellenbergovog ispitivanja

Na slici 7. vidimo da veličina mineralnih vlakana ne utjeĉe na rezultate ispitivanja procjeđivanja. Rezultati su bili vrlo bliski, naroĉito kada je koliĉina vlakana iznosila 4 % i 6 %. Vrijednost DR za uzorke bez vlakana iznosila je 1,36 %. To se moglo i očekivati s obzirom na to da bitumen lako prolazi između zrna agregata kada nema vlakana. Kod uzoraka s celuloznim vlaknima vrijednost DR iznosila je 0,25 %. Kako su u mješavini korištena celulozna vlakna, bitumen se nije procjeđivao između zrna agregata. To drugim rijeĉima znaĉi da celulozna vlakna zadržavaju bitumen u prostoru između zrna agregata. Vrijednosti DR za 4 % i 6 % mineralnog vlakna iznosile su 0,16 % tj. 0,18 %. Prema kriterijima za projektiranje mješavina SMA, vrijednost DR ne smije biti veća od 0,3 %. Uzorci koji su sadržavali 4 % i 6 % plovuĉca udovoljavaju tom kriteriju. Međutim, eksperimentalni rezultati upućuju na znatno smanjenje obradivost mješavine, i to naroĉito za vrijeme miješanja u slučaju kada je koliĉina vlakana povećana na 6 %. U tom slučaju dolazi i do smanjenja koliĉine bitumena kojima su obavljena zrna agregata. Osim toga, povećava se koliĉina bitumena potrebna za mješavinu. Zbog toga su ispitivanja nastavljena samo s udjelom vlakana od 4 %. Tijekom Schellenbergovog ispitivanja obavljeno je ispitivanje sa 6 % vlakana kako bi se u potpunosti definirao utjecaj koliĉine plovuĉca kada se koristi kao mineralno vlakno u mješavinama SMA.

### 3.2. Rezultati ispitivanja procjeđivanja kroz žičanu košaru

Kako se žičana košara može lakše oĉistiti negoli laboratorijska ĉaša, autor smatra da je ta metoda pogodnija za mjerenje procjeđivanja. I u ovom ispitivanju su korištene dvije frakcije

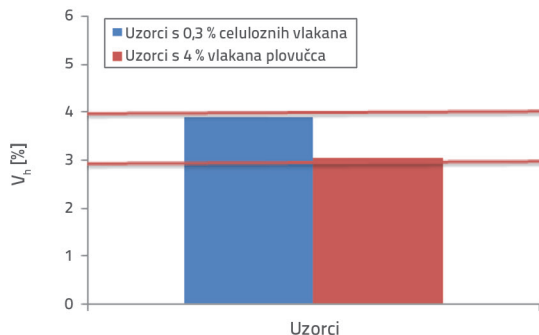
plovučca. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 8. Postoci gubitka težine viši su u usporedbi s rezultatima dobivenim Schellenbergovim ispitivanjem. To se moglo i očekivati zbog pribora koji je korišten pri ispitivanjima. Kao i kod drugog ispitivanja procjeđivanja, i ovdje rezultati pokazuju da veličina mineralnih vlakana gotovo uopće ne utječe na rezultate procjeđivanja kod uzoraka koji sadržavaju 4 % i 6 % vlakana. Zbog navedenih razloga, Marshalllovi uzorci su pripremljeni s 4 % vlakana.



Slika 8. Rezultati procjeđivanja kroz žičanu košaru

### 3.3. Rezultati određivanja šupljina ispunjenih zrakom i šupljina u mineralnom agregatu

Kako je tijekom postupka miješanja uočena smanjena obradivost mješavine uz povećanje potrebne količine bitumena, odlučeno je da se udio plovučca u mješavini ograniči na 4 %. Kako bi se kontrolirao razmak između zrna agregata pripremljeni su Marshalllovi uzorci. Ti su uzorci korišteni za određivanje količine šupljina ispunjenih zrakom i šupljina u mineralnom agregatu. Prema slici 9., vrijednosti šupljina ispunjenih zrakom, isto kao i vrijednosti šupljina u mineralnom agregatu, povećavaju se usporedno s povećanjem udjela plovučca. To se moglo i očekivati



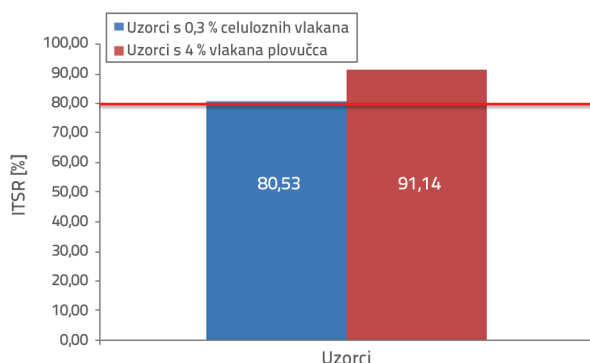
Slika 9. Vrijednosti V<sub>h</sub> i VMA Marshalllovi uzoraka

jer je količina mineralnih vlakana veća od količine celuloznih vlakana. Vjeruje se da su vlakna plovučca popunila šupljine između zrna agregata.

Osim toga, prema *Turskim tehničkim uvjetima za gradnju autocesta* iz 2013. godine, udio šupljina ispunjenih zrakom (V<sub>h</sub>) trebao bi se zadržati u rasponu od 3 % do 4 %, a udio šupljina u mineralnom agregatu (VMA) trebao bi iznositi barem 13 % za vezni sloj mješavina SMA. Dijagram vrijednosti V<sub>h</sub> dobivenih iz Marshalllovi uzoraka, prikazan na slici 9., pokazuje da su vrijednosti V<sub>h</sub> unutar raspona predviđenog u tehničkim uvjetima. Na istoj slici vidimo da su vrijednosti VMA također u skladu s tehničkim uvjetima. To znači da količina plovučca u ispitivanju ne utječe negativno na mješavinu u pogledu razmaka između zrna agregata.

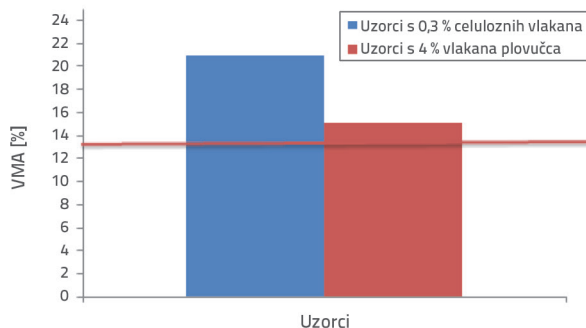
### 3.4. Rezultati ispitivanja osjetljivosti na vodu

Osjetljivost aditiva na djelovanje vode određena je na temelju omjera ITSR, kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Vrijednosti ITSR dobivene tijekom ispitivanja osjetljivosti na vodu

Prema *Turskim tehničkim uvjetima za gradnju autocesta* iz 2013. godine, vrijednost ITSR ne bi smjela biti niža od 80 %. Kako se vidi na slici 10., svi ispitani uzorci udovoljavaju tom zahtjevu. Međutim, uzorci koji sadrže plovučac otporniji su na oštećenje uslijed djelovanja vlage. Dakle, analiza vrijednosti ITSR pokazuje da mineralna vlakna plovučca povoljno utječu na vrijednost ITSR u mješavinama. Potvrda tog zaključka su i veće vrijednosti V<sub>h</sub> i



VMA. Zrna plovuĉca ispunjavaju šupljine između zrna agregata. Kako su šupljine ispunjene plovuĉcem, smrzavanje i naglo odmrzavanje nisu uzrokovali oštećenja u tim prostorima. Zbog toga je povećana otpornost uzoraka na vertikalna aksijalna opterećenja.

#### 4. Zaključak

U ovom se radu analizira mogućnost korištenja plovuĉca kao mineralnog vlakna u mješavinama SMA. Kako bi se odredio potencijal ocjeđivanja bitumena, provedeno je Schellenbergovo ispitivanje te ispitivanje pomoću žičane košare. Ispitivanja su provedena na mješavinama SMA sa 2 %, 4 % i 6 % vlakana, te na kontrolnim mješavinama. Dokazano je da su mješavine koje sadrže 4 % i 6 % vlakana u skladu sa zahtjevima tehniĉkih uvjeta. Međutim, kada udio aditiva iznosi 6 %, obradivost mješavine se pogoršava te istovremeno raste potrebni udio bitumena. Zbog toga su Marshallovi uzorci pripremljeni samo za udio vlakana od 4 %. Marshallovi uzorci pripremljeni su kako bi se odredile vrijednosti  $V_h$  i VMA za kontrolu udjela šupljina između zrna

agregata. Uzorci su podijeljeni u dvije kategorije. Vlakna celuloze ulaze u prvu grupu, a vlakna plovuĉca u drugu. Određene su vrijednosti  $V_h$  i VMA te su dobiveni rezultati uspoređeni s graniĉnim vrijednostima iz tehniĉkih uvjeta. Vrijednosti  $V_h$  i VMA udovoljavaju graniĉnim uvjetima koji su zadani u *Turskim tehniĉkim uvjetima za gradnju autocesta* iz 2013. godine. Rezultati ispitivanja provedenih kako bi se odredila osjetljivost na utjecaj vode pokazuju da se vrijednosti ITRS poboljšavaju s dodatkom mineralnih vlakana zato što zrna plovuĉca ispunjavaju šupljine između zrna agregata. Pretražnim elektronskim mikroskopom istražena su i ocijenjena konstrukcijska svojstva porozne strukture plovuĉca. Preliminarni rezultati pokazuju da se ponašanje asfaltnih kolniĉkih konstrukcija može optimizirati dodavanjem 4 % plovuĉca u mješavinu SMA.

#### Zahvala

Ovo je istraživanje provedeno pod pokroviteljstvom odjela BAP (Odjela za koordinaciju znanstveno-istraživaĉkih projekata pri Sveučilištu Akdeniz u Turskoj), šifra projekta: FYL-2015-752.

#### LITERATURA

- [1] Khodaii, A., Haghshenas, H.F., Tehrani, H.K., Khedmati, M.: Application of Response Surface Methodology to Evaluate Stone Matrix Asphalt Stripping Potential, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17 (2013) 1, pp. 117-121.
- [2] Woodward, D., Millar, P., Lantieri, C., Sangiorgi, C., Vignali, V.: "The wear of Stone Mastic Asphalt due to slow speed high stress simulated laboratory trafficking, *Construction and Building Materials*, 110 (2016), pp. 270-277, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.031>
- [3] Pavement Interactive, Information on <http://www.pavementinteractive.org/article/stone-matrix-asphalt>, Date of Access: 10.11.2016, Subject: Stone mastic asphalt
- [4] Putman, B.J., Amirkhani, S.N.: Utilization of waste fibres in stone matrix asphalt mixtures, *Resources, Conservation and Recycling*, 42 (2004), pp. 265-274, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.04.005>
- [5] Drüschiner, L., Schafer, V.: Stone Mastic Asphalt Guide, German Asphalt Association, pp. 5-8, 2000.
- [6] Chiu, C., Lu, L.: A laboratory study on stone matrix asphalt using ground tire rubber, *Construction and Building Materials*, 21 (2007), pp. 1027-1033, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.02.005>
- [7] Oda, S., Fernandes J.R., Ildefonso, J.S.: Analysis of use of natural fibres and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 26 (2012), pp.13-20.
- [8] Yadykina, V., Tobolenko, S., Trautvain, A., Zhukova, A.: The Influence of Stabilizing Additives on Physical and Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt Concrete, *Procedia Engineering*, 117 (2015), pp. 376 - 381, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.181>
- [9] Sengul, C.E., Oruc, S., Iskender, E., Aksoy, A.: Evaluation of SBS modified stone mastic asphalt pavement performance, *Construction and Building Materials*, 41 (2013), pp. 777-783, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.065>
- [10] Herraiz, T.R., Herraiz, J.I.R., Domingo, L.M., Domingo, F.C.: Posidonia oceanica used as a new natural fibre to enhance the performance of asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 102 (2016), pp. 601-612, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.193>
- [11] Manosalvas-Parades, M., Gallego, J., Saiz, L., Bermejo, J.M.: Modified binders an an alternative to cellulose fibre-SBS polymers in Stone Mastic Asphalt, *Construction and Building Materials*, 121 (2016), pp. 727-732, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.028>
- [12] General Directorate of Highways, Highway Construction Specifications, Ankara, Turkey, General Directorate of Highway Press, 2013 (in Turkish).
- [13] Setyawan, A.: Design and properties of hot mixture porous asphalt for semi-flexible pavement application, *Media Teknik Sipil*, 5 (2005) 2, pp. 41-45
- [14] Blazejowski, K.: Stone Mastic Asphalt: Theory and Practice, CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, 2011.
- [15] AASHTO T305, Standard Method of Test for Determination of drain down Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures, American Association of State Highway and Transport Officials, 2014.
- [16] Bindu, C.S., Beena, K.S.: Influence of Additives on the Drain Down Characteristics of Stone Mastic Asphalt Mixtures, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (2014), pp. 83-88, <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0307014>