

Primljen / Received: 20.12.2020.
Ispravljen / Corrected: 12.2.2021.
Prihvaćen / Accepted: 2.4.2021.
Dostupno online / Available online: 10.6.2021.

Ispitivanje upotrebe tekstilnog otpada u mješavini splitmastiksasfalta (SMA)

Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Julide Oner**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Usak, Turska
Tehnički fakultet
Odjel za građevinarstvo
julide.oner@usak.edu.tr
Autor za korespondenciju



Ferhat Ozdas, dipl.ing.građ.
Sveučilište Usak, Turska
Institut za preddiplomsko obrazovanje
ferhatozdas@hotmail.com

Prethodno priopćenje

Julide Oner, Ferhat Ozdas

Ispitivanje upotrebe tekstilnog otpada u mješavini splitmastiksasfalta (SMA)

Na globalnoj razini preferiraju se splitmastiksasfaltni kolnici koji su otporniji na teška prometna opterećenja. Sadržaj splitmastiks asfaltnog kolnika čini 70-80 % krupnozrnati agregat, 8-12 % punila, 5-7 % veziva te približno 0,3 do 0,5 % vlakana. Zbog diskontinuirane granulometrije i velikog postotka veziva, splitmastiksasfalt omogućava dreniranje bitumena iz agregata. Unutar ovog istraživanja provedena su Marshallova i Schellenbergova ispitivanja na uzorcima pripremljenim s različitim količinama tekstilnog otpada i vlakana celuloze. Rezultati ispitivanja pokazali su da se tekstilni otpad može koristiti umjesto tradicionalnih vlakana.

Ključne riječi:

splitmastiksasfalt, drenaža, tekstilni otpad, vlakno celuloze, prihvatljivo za okoliš

Research Paper

Julide Oner, Ferhat Ozdas

Investigation of textile waste usage in stone mastic asphalt (SMA) mixtures

Stone mastic asphalt pavements are preferred worldwide as they are more resistant to heavy traffic loads. The stone mastic asphalt pavement design involves the use of 70-80% of coarse aggregate, 8-12% of filler, 5-7% of binder, and approximately 0.3-0.5% of fibre. The gap-graded structure and high binder content of stone mastic asphalt cause bitumen to drain down from aggregates. Marshall test and Schellenberg bitumen drainage test are performed in this research on samples prepared with different quantities of textile waste and cellulose fibre. The results of the research show that textile waste can be used instead of traditional fibres.

Key words:

stone mastic asphalt, drainage, textile waste, cellulose fibre, eco-friendly

Vorherige Mitteilung

Julide Oner, Ferhat Ozdas

Prüfung im Hinblick auf die Verwendung des Textilabfalls in der Mischung des Splitmastikasphalts (SMA)

Auf der globalen Ebene werden die Fahrbahnen aus Splitmastikasphalt bevorzugt, welche gegen die großen Verkehrsbelastungen widerstandsfähig sind. Der Inhalt der Fahrbahn aus Splitmastikasphalt besteht aus dem 70-80%-igen grobkörnigen Granulat, aus 8-12% Füllmitteln, 5-7% des Bindemittels, sowie ungefähr 0,3 bis 0,5% der Fasern. Wegen der diskontinuierlichen Granulometrie und einem hohen Prozentsatz des Bindemittels ermöglicht der Splitmastikasphalt die Dränung des Bitumens aus dem Aggregat. Innerhalb dieser Forschung wurden die Prüfungen von Marshall und Schellenberg auf den Proben durchgeführt, welche mit den verschiedenen Mengen des Textilabfalls und der Zellulosefasern vorbereitet wurden. Die Prüfungsergebnisse haben gezeigt, dass der Textilabfall anstatt der traditionellen Fasern genutzt werden kann.

Schlüsselwörter:

Splitmastikasphalt, Dränung, Textilabfall, Zellulosefaser, umweltfreundlich

1. Uvod

U današnje vrijeme države su ovisne o autocestama i prijevozu tereta. Potrebne su nove mreže autocesta jer je povećan obujam prometa. Iz tog razloga vrlo je važan nacrt mreža autocesta koji zahtijeva velike kapitalne izdatke [1, 2]. Zadovoljavajućim projektom dimenzioniranja kolnika trebao bi takav kolnik biti pogodan, trajan, otporan na deformacije, ekonomičan i prihvatljiv za okoliš [3-5]. Savitljivi kolnik najpoželjniji je konstrukcija autoceste na svijetu [6-8].

Projekti savitljivih kolnika primjenjuju četiri različita granulometrijska sastava asfalta kao što su diskontinuirani granulometrijski sastav, gusti granulometrijski sastav, kontinuirani granulometrijski sastav te monozrnati sastav. Diskontinuirani granulometrijski sastav čini mješavina poroznog asfalta koji ima mali postotak sitnog agregata i visok postotak udjela šupljina. U projektima asfaltbetona najupotrebljavanija je mješavina gustog granulometrijskog sastava koja omogućava kontinuitet i minimalni postotak udjela šupljina u sastavu agregata. Mješavine od splitmastiksasfalta (SMA) su kolnici koji imaju velik udio krupnog agregata te otvorenu teksturu vozne površine [9].

SMA najprije se razvio u Njemačkoj šezdesetih godina prošlog stoljeća kako bi se postigao trajniji asfaltni kolnik u odnosu na tradicionalne asfaltbetone (gusti granulometrijski sastav), a koji bi spriječio deformacije koje izazivaju gume s čavlama [9]. Trajnost asfalta povećava se zbog činjenice da se radi o mješavini asfalta sa skeletnom strukturom agregata i većim udjelom veziva koji popunjava kamenu mješavinu [10]. Iako su troškovi izgradnje 20-25 % veći u odnosu na tradicionalne asfaltbetone kad su uzeti u obzir početni i završni troškovi zajedno, dugoročno gledano SMA ima značajne prednosti [11, 12]. Glavne su značajke upotrebe SMA njegova trajnost, velika otpornost na stalne deformacije i abrazije, otpornost na vlagu, spore vremenske promjene, niži stupanj buke [11-13]. Zbog tih superiornih svojstava, preferira se na raskrižjima, autobusnim stajalištima, parkiralištima, kosinama, mostovima, lukama i rutama koje prometuju teškim opterećenjima [14]. U sastavu SMA kolnika, težinski promatrano, 70 do 80 % je krupnozrnati agregat, 8-12 % punilo, 5-7 % vezivo i približno 0,3-0,5 % vlakna [15, 16]. Tijekom proizvodnje, prijevoza i ugradnje asfalta, bitumen je dreniran iz agregata zbog svoje viskoznosti i velikog udjela. Nepoželjna je situacija bitumen dreniran iz agregata [17]. Problem dreniranja može se spriječiti uporabom vlakana celuloze, mineralnih vlakana ili polimera. Općenito, prednost se daje vlaknima celuloze ili mineralnim vlaknima kako bi se smanjila drenaža. Ta tradicionalna vlakna koja se naveliko koriste u SMA povećavaju troškove kolnika jer su skupa. Postoje različita istraživanja u literaturi o upotrebi jeftinijih vlakana kako bi se zamijenili različiti uobičajeno korišteni aditivi [10, 16]. Slijede primjeri o takvim istraživanjima.

Oda i dr. [2] ispitali su upotrebu sisala i kokosovih ostataka umjesto tradicionalnih vlakana kako bi se smanjili troškovi splitmastiksasfaltnog kolnika. Autori su utvrdili da kokosovi ostaci i sisal imaju pozitivan utjecaj na mehanička svojstva

mješavine te smanjuju drenažu bitumena u usporedbi s tradicionalnim vlaknima (celuloza, poliester).

Bindu i Beena [18] ispitali su utjecaj aditiva poput kokosa, sisala, vlakana banane, plastičnog otpada i polipropilena na mješavinu SMA, a s ciljem da uklone otpad. Postigli su pozitivne rezultate u ispitivanjima drenaže mješavina koje su pripremljene dodavanjem optimalne količine vlakana u iznosu od 0,3 %, plastičnog otpada u iznosu od 7 % te polipropilena u iznosu od 5 %, a odnose se na maseni postotak u mješavini. Autori su otkrili, na temelju rezultata ispitivanja drenaže, da su mješavine pripremljene sa sisalom i vlaknima banane dale slične vrijednosti, a najbolji rezultat dala je mješavina s vlaknima kokosa.

Arshad i dr. [19] dodali su aditive prirodnog vlakna (kenaf) i sintetičkog vlakna (Viatop66) mješavini splitmastiksasfalta (SMA) kako bi se poboljšalo svojstvo drenaže bitumena. Rezultati eksperimentalnog istraživanja pokazali su da je optimalna količina bitumena u mješavini s kenaf aditivom bila najmanja te su autori pokazali da je ona najbolja u borbi protiv pojave kolotruga u kolniku. Autorima se predložilo da u istraživanju mogu koristiti prirodna vlakna umjesto sintetičkih vlakana.

Rajesh i dr. [14] ispitali su upotrebu vlakana celuloze dobivenih iz bambusove stabljike kao stabilizatora koji će smanjiti trošak splitmastiksasfaltnog sloja kolnika. Iz tog razloga autori su pripremili uzorke asfalta s različitim udjelom bitumena te s 0,3 % vlakana celuloze. Rezultati istraživanja pokazali su da su uzorci splitmastiksasfalta pripremljeni s vlaknima bambusa stabilniji i otporniji na dreniranje.

Xavier i dr. [16] analizirali su istraživanja o aditivima koji sprječavaju drenažu bitumena u postojećoj literaturi. Autori su predložili sprječavanje dreniranja mješavine dodavanjem vlakana celuloze, vlakana minerala i polimera, a s ciljem da se poveća otpornost na deformacije ili kolotražnje te da se omogući trajnost i održivost kolnika. U pripremi uzoraka primijenjena je Marshallova metoda za izvedbu mješavine. Istraživanje je pokazalo da se vlakna ananasa koja su bogata celulozom mogu koristiti kao stabilizirajući aditiv u SMA u budućim istraživanjima.

Baby i dr. [20] u svojim eksperimentalnim istraživanjima ispitali su uporabu mramorne prašine i vlakana kokosa u splitmastiksasfaltnim kolnicima. Prema rezultatima Marshallovog ispitivanja, autori su odredili optimalnu količinu bitumena koji iznosi 4 %, udio šupljina u iznosu od 5,84 % te optimalnu količinu vlakana u iznosu od 0,3 %. Rezultati istraživanja pokazali su da su vlakna kokosa povećala stabilnost mješavine za 61,12 % i mogu se koristiti umjesto sintetičkih vlakana s ciljem sprječavanja dreniranja bitumena.

Shekar i dr. [21] ispitali su upotrebu šećerne trske i kokosovih ostataka u SMA mješavinama umjesto kuglica konvencionalnih vlakana.

Na osnovi dobivenih podataka u istraživanju, optimalni udio bitumena u odnosu na 4 % udjela šupljina u smislu otpadnog materijala dodanog mješavini je 6,77 % u kuglicama celuloze, 6, 0% u šećernoj trski i 5,3 % u kokosu. Štoviše, rezultati istraživanja

pokazali su da su SMA mješavine pripremljene uporabom kokosovih ostataka najotporniji aditivi za dreniranje.

Kofteci [10] je istražio mogu li se mineralna vlakna plovućca koristiti umjesto vlakana celuloze u splitmastiksasfaltnim mješavinama. Naglasak je rezultata istraživanja da uporaba mineralnih vlakana plovućca u iznosu od 4 % u SMA mješavinama može biti alternativna vlaknima celuloze.

Mansor i dr. [22] usporedili su vlakna šećerne trske s Viatop66 sintetičkim vlaknima koja se upotrebljavaju u SMA mješavinama. U rezultatima eksperimentalnog istraživanja odredila se vrijednost dreniranja mješavine koja sadržava šećernu trsku u iznosu od 0,02 %, dok je vrijednost dreniranja mješavine koja sadržava sintetička vlakna Viatop66 iznosila 0,19 %. Nadalje, prema rezultatima ispitivanja kolotražnja iz Hamburga, smatra se da su uzorci SMA asfalta pripremljeni sa šećernom trskom bili otporniji na pojavu kolotruga.

Aslan i Aktaş [7] usmjerili su se na uporabu različitih količina minerala plovućca i dijatomita kao mineralnih vlakana u splitmastiksasfaltnim mješavinama. U okviru eksperimentalnih istraživanja autori su odredili optimalni sadržaj bitumena i test drenaže bitumena prema Marshallovom nacrtu. Rezultati ispitivanja pokazali su da se drenaža bitumena spriječila u uzorcima SMA pripremljenima dodavanjem minerala plovućca (1,5 %) i dijatomita (0,5 %) u najmanjem postotku vlakana.

Suraj i dr. [3] istražili su utjecaj vlakana sisal celuloze na splitmastiksasfaltnu uzorku. U eksperimentalnom istraživanju provelo se ispitivanje drenaže, ispitivanje vlačnosti i ispitivanje puzanja na uzorcima koji su se pripremili dodavanjem 0,3 % vlakana sisal celuloze. Autori su zaključili da su se mehanička svojstva kolnika poboljšala dodavanjem sisal vlakana splitmastiksasfaltnim mješavinama.

Kumar i Ravitheja [1] su ispitali vlakna kokosa, sisala i banane kako bi istražili tehnička svojstva prirodnih aditiva u splitmastiksasfaltnim mješavinama. Provedeno je Marshallovo ispitivanje i indirektno vlačno ispitivanje uporabom 0,3 % mase mješavine neovisno o vrsti vlakna. Rezultati su pokazali da su mehanička svojstva asfaltnih mješavina pripremljenih s vlaknima kokosa omogućila bolje rezultate u usporedbi s mješavinama pripremljenima s vlaknima sisala i banane.

Mirza i dr. [23] istražili su učinak vlakana stakla u mješavini gustog granulometrijskog sastava i u mješavini agregata procjednog betona. U obje mješavine upotrijebljen je optimalni udio bitumena i to u iznosu od 5,5 % te optimalni udio vlakana u iznosu od 0,3 %. Naglasak rezultata istraživanja bio je na vlaknima stakla koja su znatno smanjila drenažu u objema mješavinama.

Nazir i dr. [24] ispitali su utjecaj prirodnih vlakana jute na mješavinu gustog granulometrijskog sastava, kao i na mješavinu diskontinuiranog sastava. U istraživanju se koristilo 5,5 % optimalnog udjela bitumena te 0,3 % optimalnog udjela vlakana u objema mješavinama. Naposljetku, autori su utvrdili da su aditivi vlakana jute znatno smanjili drenažu u obje mješavine.

Razahi i Chopra [12] istraživali su upotrebu vlakana poput vlakna sisala, kokosa i konoplje u industriji autocesta te naglasili

važnost vlakana sisala i kokosa. Autori su utvrdili da je optimalni udio vlakana bio 0,3 %. Znanstvenici su utvrdili da su se vlakna sisala i kokosa pokazala otpornijima u asfaltnoj mješavini te su bila učinkovita u sprječavanju protoka (istjecanju) mješavine.

Udayabhanu i dr. [15] ispitali su upotrebu vlakana sunčane (smeđe) konoplje i kenafa u SMA mješavini. Među važnijim rezultatima istraživanja isticala su se poboljšanja Marshallovih svojstava SMA kolnika kojeg čine prirodna vlakna te smanjenja drenaže bitumena za 0,21 % u slučaju sunčane konoplje i 0,23 % u slučaju kenafa, što je utvrđeno ispitivanjem dreniranja.

Kopylov i Burenina [25] usmjerili su se na upotrebu prirodnog zeolita umjesto tradicionalnih vlakana kako bi se smanjila drenaža bitumena. Autori su zaključili da se prirodni zeolit može koristiti u splitmastiksasfaltnim kolnicima tako što se uspoređuje s kontrolnim uzorkom koji sadržava stilobit.

Rahman i dr. [6] proveli su opsežno istraživanje o upotrebi različitih ostataka štetnih za okoliš u asfaltnoj industriji. Tijekom istraživanja u asfaltnoj mješavini ispitali su polietilen visoke gustoće, ostatke mramora, ostatke rušenja, drobljeni kaučuk, ulje za kuhanje, pepeo goriva palminog ulja, kokos, sisal, vlakna celuloze i poliestera, škrob, plastičnu bocu, ostatke stakla, ostatke cigle, ostatke keramike, pepeo hlapljivih ostataka, različiti otpad poput opušaka cigareta. Autori su naglasili da će ti ostaci zbog kojih je svijet zabrinut imati važnu ulogu u smanjenju troškova asfaltnog kolnika te u smanjenju onečišćenja okoliša i to tako što bi otklonili otpad u industriji asfalta za održivu budućnost. Cilj je ovog rada ispitati upotrebu tekstilnog otpada umjesto tradicionalnih vlakana kako bi se spriječio problem drenaže bitumena u splitmastiksasfaltnim kolnicima. Provelo se Marshallovo ispitivanje stabilnosti na uzorcima asfalta pripremljenima s tekstilnim otpadom te na kontrolnim uzorcima pripremljenima s tradicionalnim vlaknima. U okviru istraživanja određen je optimalni udio bitumena i mehaničkih svojstava uzoraka tako što su se izračunali projektni parametri na temelju Marshallovog ispitivanja stabilnosti. Osim toga, provedeno je ispitivanje drenaže bitumena po Schellenbergeru te su se usporedila svojstva drenaže splitmastiksasfaltnih uzoraka.

2. Eksperimentalno istraživanje

2.1. Materijali

Za potrebe ovog istraživanja biraju se materijali prema uredbama Opće uprave za autoceste u Turskoj [26]. Agregate čine drobljeni kamen bez primjesa, trajan i s čistim zrcima. Bazalt se koristio kao krupnozrnati agregat koji se zadržava na situ br. 4 (4,75 mm). Zbog činjenice da je bazalt teško predrobiti, a proizvodnja sitnog agregata je spora, koristio se vapnenac kao sitni agregat (i to onaj koji prolazi kroz sito br. 4). U izračunu gradacije koristio se vapnenac kao dodatno mineralno punilo. Vapnenačke vrste agregata korištene u istraživanju dobivene su iz kamenoloma Uşak Oktaş, a bazaltne vrste agregata dobivene su iz kamenoloma Uşak Gedikler. Rezultati ispitivanja tradicionalnih agregata – vapnenca i bazalta prikazani su u tablicama 1. i 2.

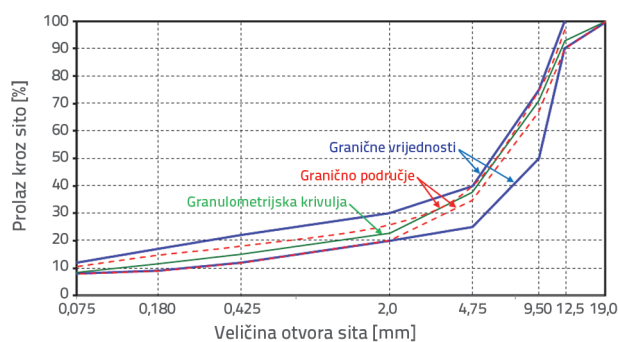
Tablica 1. Fizikalna svojstva sitnog agregata vapnenca

Ispitivanje	Specifikacija	Rezultat	Ograničenja specifikacije
Specifična težina (sitni agregat)	ASTM C 128		
Suha zasićena površina		2,531	–
Prividno		2,563	–
Upijanje vode [%]		0,820	
Specifična težina (punilo)		2,610	–

Tablica 2. Fizikalna svojstva krupnozrnatog agregata bazalta

Ispitivanje	Specifikacija	Rezultat	Ograničenja specifikacije
Specifična težina (krupnozrnati agregat)	ASTM C 127		
Suha zasićena površina		2,582	–
Prividno		2,591	–
Upijanje vode [%]		0,23	
Abrazija (Los Angeles) [%]	ASTM C 131	21	Max. 20
Indeks ravnosti [%]	ASTM D 4791	8,5	Max. 10
Trajnost [%]	ASTM C 88	8,35	Max. 10 – 20

U ovom istraživanju sastav mješavine agregata pripremljen je prema habajućem sloju (tip 1A) [26]. Slika 1. prikazuje granulometrijsku krivulju koja je unutar graničnog područja, a slika 2. prikazuje frakcije agregata.



Slika 1. Granulometrijska krivulja



Slika 2. Frakcije agregata

U ovom istraživanju kao bitumensko vezivo koristio se cestograđevni bitumen tip 50/70 dobiven iz rafinerije Izmir

Tablica 3. Rezultati konvencionalnog ispitivanja cestograđevnog čistog bitumena

Ispitivanje	Specifikacija	Rezultat	Ograničenja specifikacije
Ispitivanja uzoraka bez starenja			
Penetracija (25 °C; 0,1 mm)	TS EN 1426	59,8	50-70
Točka razmekšanja [°C]	TS EN 1427	47,6	46-54
Specifična težina [g/cm ³]	TS EN 15326	1,03	-
Plamtište [°C]	TS EN ISO 2592	350	230<
Ispitivanja uzoraka nakon kratkog starenja s RTFOT (163 °C)			
Gubitak mase [%]	TS EN 12607-1	0,04	<0,5
Trajna penetracija [%]	TS EN 1426	96,4	%50<
Povećanje točke razmekšanja [°C]	TS EN 1427	6,48	<9

Alijaža, a u skladu s normom TS EN 12591 [27]. Razlog uporabe nemodificiranog bitumena je bolje uočavanje utjecaja vlakana, i to uklanjanjem povoljnih učinaka polimera u ispitivanjima drenaže bitumena. Tablica 3. prikazuje rezultate konvencionalnog ispitivanja cestograđevnog bitumena.

Vlakna celuloze ili mineralna vlakna upotrebljavaju se kako bi se spriječio problem drenaže bitumena. U ovom istraživanju koristili su se tekstilni ostaci (otpad) umjesto tradicionalnih vlakana celuloze. Taj je tekstilni otpad pamuk koji se skuplja u predionici pamučne pređe Polat Textile Company. U tablici 4. prikazane su norme koje se tiču mehaničkih svojstava tekstilnog otpada prema Općoj upravi za autoceste u Turskoj [26]. Slika 3. prikazuje tradicionalna vlakna celuloze koja se koriste u SMA mješavini, a slika 4. prikazuje tekstilni otpad koji se koristi u SMA mješavini. Tekstilni otpad u labavom obliku prolazio je kroz sito (1,70 mm) kako bi se homogeno raspodijelio prije no što se dodao mješavini agregata.



Slika 3. Vlakna celuloze



Slika 4. Tekstilni otpad

U literaturi se općenito koristi optimalni udio vlakana celuloze u iznosu od 0,3 % težine mješavine [1, 12, 19]. U slučaju habajućeg sloja u SMA, vlakna se dodaju mješavini u iznosu od 0,3 % - 0,1 % težine mješavine ili u iznosu koji preporučuje proizvođač. U ovom radu procjenjuju se uvjeti drenaže bitumena uporabom tekstilnog otpada u iznosu od 0,3 % te vlakana celuloze u iznosu od 0,3 %, a drenažno ponašanje bitumena usporedilo se uporabom 0,1 % tekstilnog otpada te 0,2 % vlakana celuloze.

Tablica 4. Svojstva tekstilnog otpada

Svojstvo	Ograničenja specifikacije	Rezultat
Udio pepela	%18 ± %5	14
PH	7,5 ± %1	6,9
Upijanje ulja	Težina vlakna 5 ± 1 višestruk	6,0
Upijanje vlage	%5 težine	5

2.2. Marshallovo ispitivanje

Marshallovi uzorci izrađeni su prema kriterijima [26, 28, 29] SMA plana izvedbe. 1100 grama mješavine agregata pripremljeno se zagrijavanjem svakog SMA uzorka na približno 170 °C. Tekstilni otpad (0,3 % - 0,1 %) i vlakna celuloze (0,3 % - 0,2 %) odvojeno su se dodali mješavini agregata. Uzorci SMA izrađeni su dodavanjem bitumena mješavini agregata u različitom udjelu (5,5 - 6,0 - 6,5 - 7,0 %). Uzorci SMA mješavine izrađeni su na temperaturi između 130 i 140 °C, a obje su se površine uzoraka zbile s 50 udaraca po Marshallu.

Specifična volumenska težina (Dp) odredila se mjerenjem težine na zraku, težine u vodi i zasićene površinske težine za svaki od uzoraka SMA-a izvađenih iz Marshallova kalupa pri sobnoj temperaturi kao što to prikazuje slika 5. Nakon izračuna teoretske maksimalne specifične težine (Dt), iz grafičkih prikaza dobio se udio šupljina (Vh), udio šupljine između agregata (VMA) i šupljine ispunjene bitumenom (VFA) te optimalni udio bitumena u mješavini SMA-a. Rezultati deformacije i stabilnosti dobiveni su provedbom ispitivanja stabilnosti po Marshallu. U sljedećim poglavljima u tablici 5. sažeti su rezultati koji su iščitani iz grafičkih prikaza.



Slika 5. Marshallov uzorak asfalta SMA

2.3. Ispitivanje po Schellenbergu

Ispitivanje po Schellenbergu koristi se kako bi se izmjerila količina drenaže bitumena u splitmastiksasfaltnim mješavinama. Ispitivanje drenaže bitumena po Schellenbergu, koje se primjenjuje za vlakna celuloze, pripremljeno je u skladu s normom TS EN 12697-18 [30]. Uzelo se 1000 g mješavine SMA-a pripremljene

Tablica 5. Sažete vrijednosti ispitivanja po Marshallu

Svojstva \ Mješavine	Vlakna celuloze	Tekstilni otpad	Vlakna celuloze	Tekstilni otpad	Ograničenja specifikacije	Specifikacija
Stabilizator [%]	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3 - 0,1	-
Optimalni bitumen [%]	6,70	6,50	6,60	6,40	>5,80	TS EN 12697-1
Dp [g/cm ³]	2,271	2,277	2,274	2,281	-	-
Dt [g/cm ³]	2,352	2,358	2,355	2,361	-	-
Vh [%]	3,50	3,50	3,50	3,50	2 - 4	TS EN 12697-8
VMA [%]	16,84	16,48	16,66	16,24	>16,00	TS EN 12697-8
VFA [%]	79,0	78,2	78,5	77,9	-	-
Deformacija [mm]	4,42	4,48	4,28	4,31	-	-
Stabilnost [kg]	814	838	798	812	-	-

na temperaturi između 130–140 °C i labavo smjestilo u staklenu čašu koja se prethodno zagrijavala 15 minuta u pećnici na temperaturi od 110 °C. Mješavina u staklenoj čaši težila je točno 0,1 g, a vrh je staklene čaše bio pokriven. Uzorci mješavine SMA-a ostavljeni su jedan sat u pećnici na 175 °C, što prikazuje slika 6. Na kraju, mješavina asfalta izrađena je iz pećnice bez drmanja i izvagana s preciznošću 0,1 g. Postotak drenaže postigao se doziranjem filtriranih ostataka bitumena u čaši u odnosu na težinu mješavine. Prema specifikaciji, postotak drenaže bitumena po Schellenbergu trebao bi biti najviše 0,3 % [26].



Slika 6. Pripremljeni uzorci SMA mješavine za ispitivanje po Schellenbergu

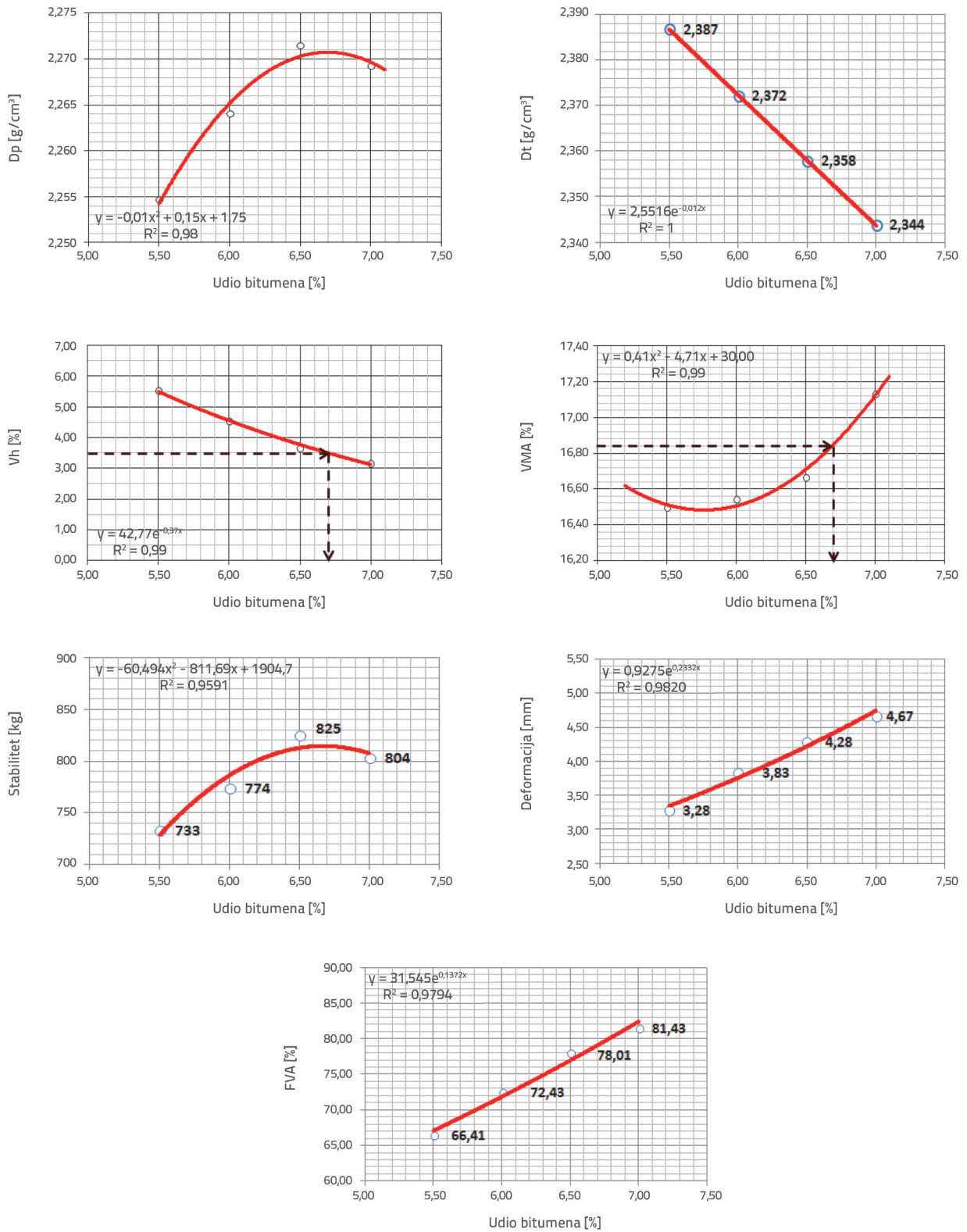
U ovom istraživanju najprije se postigao udio drenažne količine mješavine tekstilnog otpada i vlakana celuloze u optimalnom udjelu bitumena. Zatim su se drenažne količine mješavine SMA usporedile s različitim udjelima bitumena (5,5–6,0–6,5–7,0 %) i s različitim udjelima vlakana (0,1 % tekstilnog otpada, 0,2 % vlakana celuloze).

3. Rezultati analize

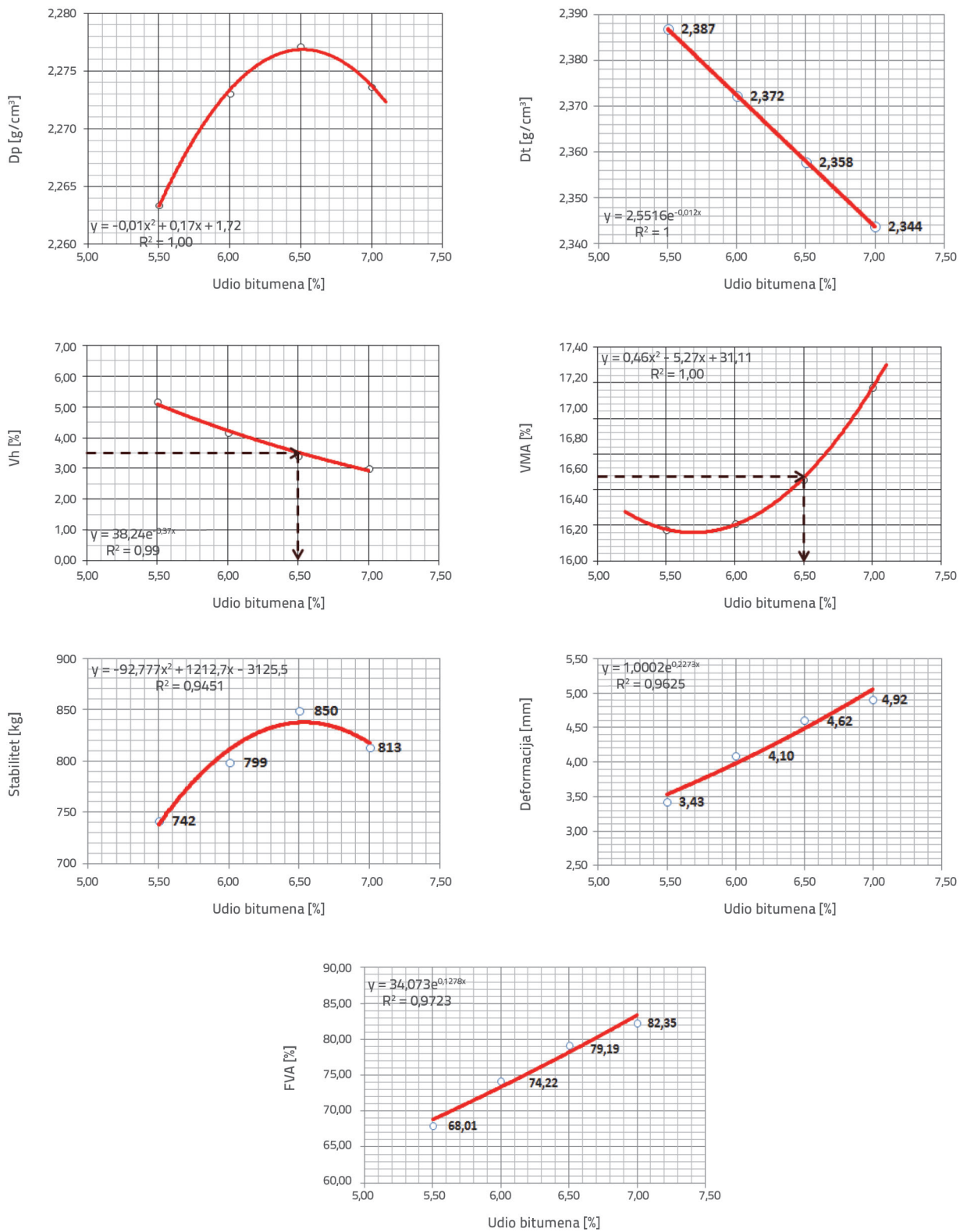
3.1. Rezultati ispitivanja po Marshallu

Rezultati ispitivanja po Marshallu koji se tiču SMA mješavina koje sadržavaju 0,3 % vlakana celuloze, 0,3 % tekstilnog otpada,

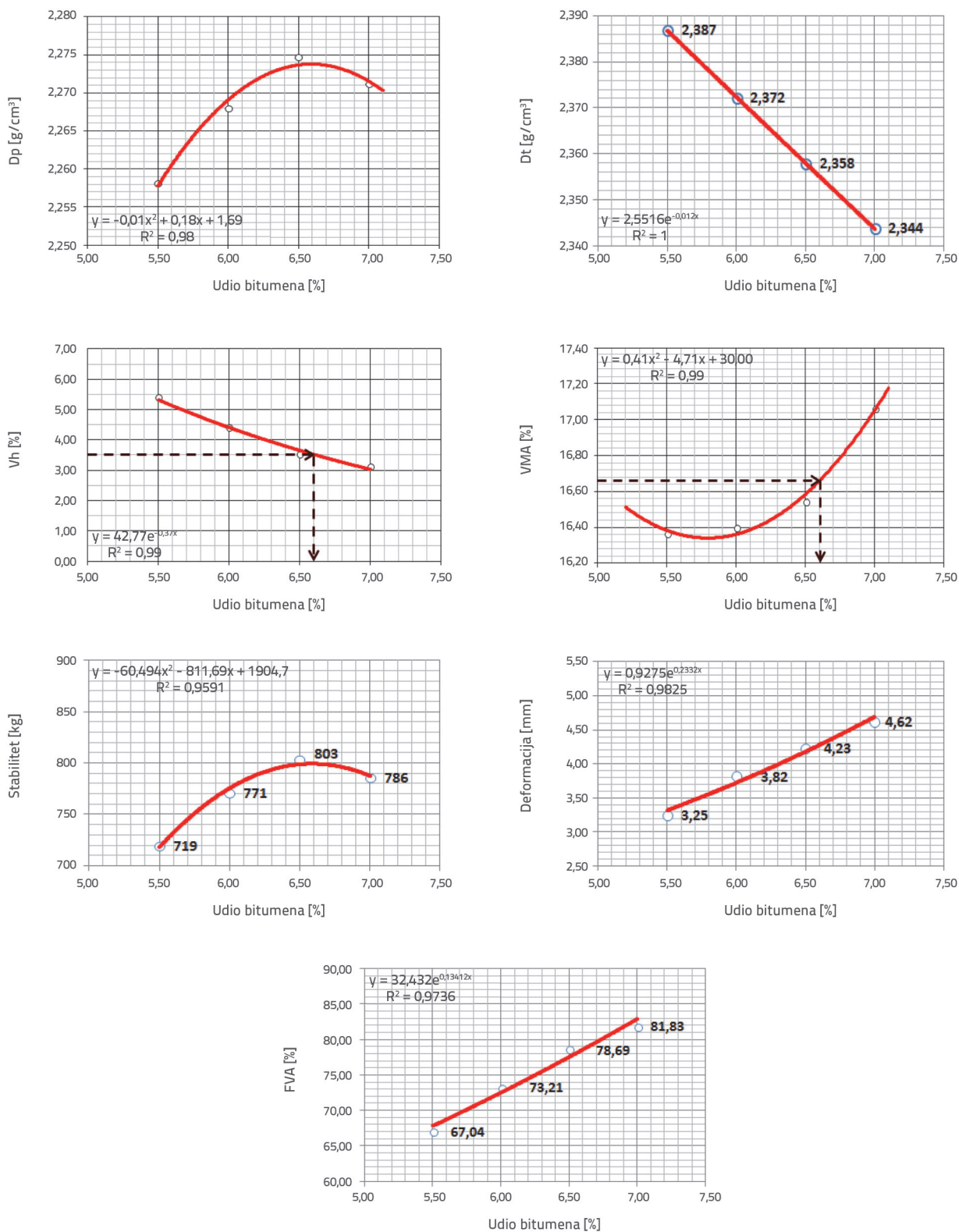
0,2 % vlakana celuloze, odnosno 0,1 % tekstilnog otpada prikazani su na slikama 7., 8., 9. i 10. S druge strane, slike 7. do 10. prikazale su vrijednosti specifične volumenske težine (Dp, g/cm³), teoretske maksimalne specifične težine (Dt, g/cm³), udio šupljina (Vh, %), udio šupljina između mineralnih agregata (VMA, %), šupljine ispunjene bitumenom (VFA, %), deformacije (mm) i stabilnosti (kg). Udio šupljina općenito se koristi kako bi se odredila optimalna količina bitumena u mješavinama SMA. Kada udio šupljina svake mješavine SMA dođe do 3,5 % u brojkama, optimalni udjeli bitumena dobivaju se odvojeno, a prazličitina između agregata (VMA) koja odgovara 3,5 % udjela šupljina postiže se u skladu s ograničenjima specifikacije. Na temelju Opće uprave o odredbama za autoceste u Turskoj, vrijednost udjela šupljina za habajući sloj SMA-a je 2 do 4 % (3 do 4 % u toplijim podnebljima), udio šupljina između agregata u mješavini agregata tip 1A je minimalno 16 %, a udio bitumenskog veziva je minimalnih 5,8 % [26]. Tablica 5. prikazuje vrijednosti određene iz grafičkih prikaza, a u skladu su s optimalnim udjelom bitumena. Grafički prikazi pokazuju da se određuje 6,70 % optimalnog udjela bitumena za SMA mješavinu koja sadržava 0,3 % vlakana celuloze, 6,50 % za mješavinu sa 0,3 % tekstilnog otpada, 6,60 % za mješavinu s 0,2 % vlakana celuloze te 6,40 % za mješavinu s 0,1 % tekstilnog otpada. Kada se procjenjuju vrijednosti optimalnog udjela bitumena u istom tipu SMA mješavina, povećanje upotrebe stabilizatora povećalo je optimalni udio bitumena, a specifična se volumenska težina (Dp) smanjivala. Brojke su pokazale da je optimalni udio bitumena u mješavini s tekstilnim otpadom manji nego u mješavini s vlaknima celuloze. Dok se teoretska specifična težina (Dt) SMA mješavine mijenjala obrnuto u odnosu na količinu bitumena, šupljina između agregata (VMA) te šupljina ispunjena bitumenom (VFA) mijenjala se proporcionalno s količinom bitumena. Vrijednost deformacije dobivena ispitivanjem stabilnosti po Marshallu pokazala je promjenu koja se podudara s rezultatima stabilnosti. Najniža stabilnost postignuta je u slučaju mješavine s 0,2 % vlakana celuloze, dok je mješavina SMA s 0,3 % tekstilnog otpada pokazala najvišu vrijednost stabilnosti. Višoj stabilnosti po Marshallu pridonijele su mješavine SMA pripremljene s



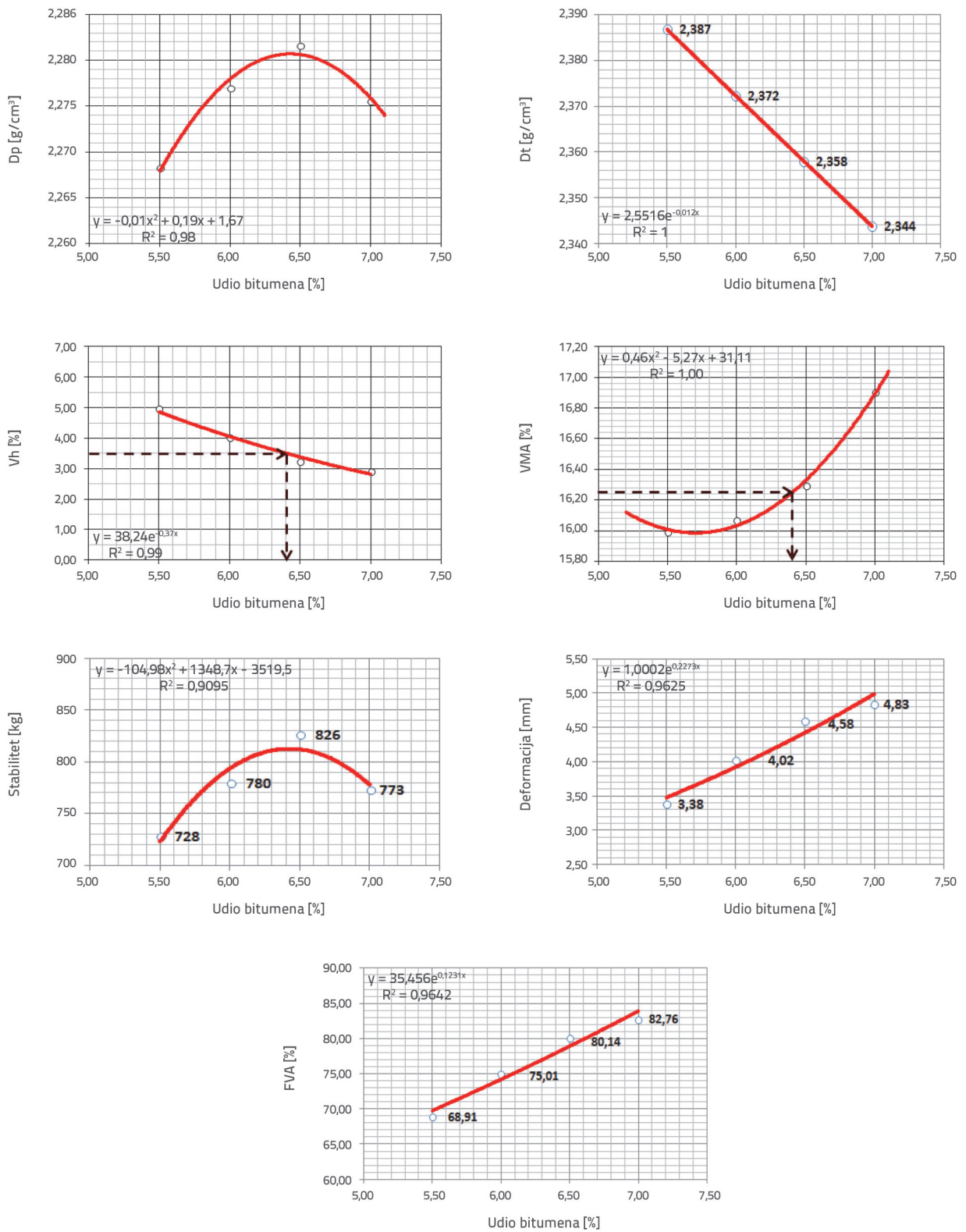
Slika 7. Rezultati ispitivanja po Marshallu za mješavine SMA koje uključuju 0,3 % vlakana celuloze



Slika 8. Rezultati ispitivanja po Marshallu za mješavine SMA koje uključuju 0,3 % tekstilnog otpada



Slika 9. Rezultati ispitivanja po Marshallu za mješavine SMA koje uključuju 0,2 % vlakana celuloze

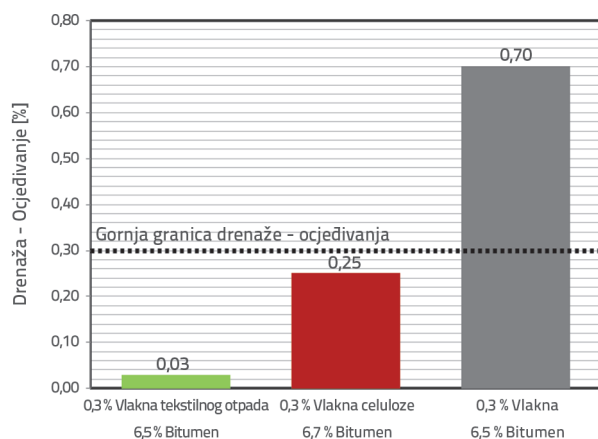


Slika 10. Rezultati ispitivanja po Marshallu za mješavine SMA koje uključuju 0,1 % tekstilnog otpada

tekstilnim otpadom. Štoviše, ispitivanje po Marshallu, kao što je i očekivano, nije se moglo provesti na uzorku SMA bez vlakana (0,0 % vlakana) zbog problema drenaže bitumena iz agregata u SMA mješavini koja se koristila u ovom istraživanju.

3.2. Rezultati ispitivanja po Schellenbergu

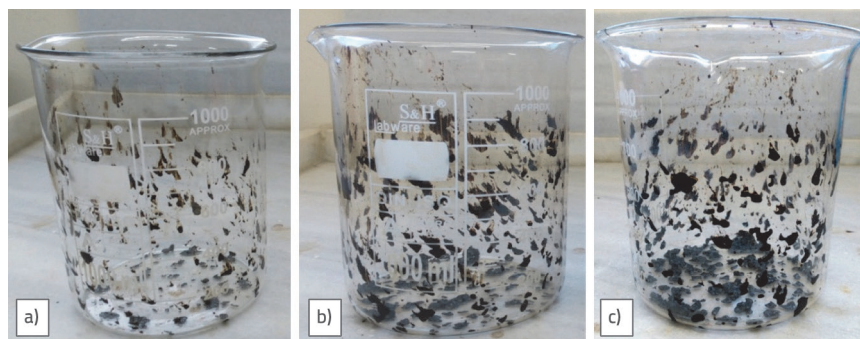
Na osnovi odredaba Opće uprave za autoceste u Turskoj provodi se ispitivanje drenaže bitumena prema nacrtu kriterija koji su u skladu s normom TS EN 12697-18 [26, 30]. Količina drenaže mješavine SMA prema normi bi trebala biti maksimalnih 0,3 % [26]. Slike 11. i 13. prikazuju rezultate ispitivanja po Schellenbergu, a koji se tiču mješavina SMA koje sadržavaju različite količine vlakana celuloze i tekstilnog otpada. Slika 11. prikazuje optimalni udio bitumena u mješavinama s tekstilnim otpadom i vlaknima celuloze koji su dodani mješavini s udjelom od 0,3 % težine mješavine, a slika 12. prikazuje preostale količine drenaže u čaši. Dok je udio drenaže tekstilnog otpada bio 0,03 %, udio drenaže vlakana celuloze bio je 0,25 % u odnosu na referentni uzorak mješavine. Mješavina SMA pripremljena s tekstilnim otpadom pokazuje visoke performanse jer, ne samo da ima niži optimalni udio bitumena, već znatno sprječava drenažu.



Slika 11. Rezultati ispitivanja po Schellenbergu

Tablica 6. Sažetak rezultata ispitivanja drenaže po Schellenbergu

Stabilizator [%]	Optimalni udio bitumena [%]	Udio drenaže - ocjeđivanja [%]	Ograničenja specifikacije [%]	Specifikacija
0,3 % vlakna celuloze	6,70	0,25	< 0,30	TS EN 12697-18
0,3 % tekstilni otpad	6,50	0,03	< 0,30	
0,2 % vlakna celuloze	6,60	0,27	< 0,30	
0,1 % tekstilni otpad	6,40	0,07	< 0,30	



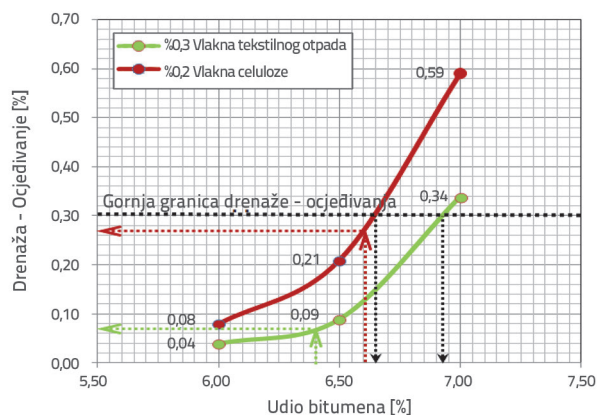
Slika 12. a) Tekstilni otpad, b) Vlakna celuloze, c) Bez vlakana

Slika 11. također prikazuje procjenu uvjeta pod kojima se odvija drenaža mješavine bez vlaknastih aditiva (0,0 % vlakana) sa 6,5 % bitumena. Određena je vrijednost drenaže bitumena iz agregata s udjelom od 0,70 % prekoračivši pritom gornju granicu drenaže od 0,3 % koja se odnosi na mješavinu bez vlaknastih aditiva. Količina dreniranog sadržaja pokazuje da postoji problem drenaže bitumena u gradaciji agregata tipa 1A koji se koristio u ovom istraživanju.

Tablica 6. prikazuje količinu dreniranog sadržaja s optimalnim udjelom bitumena. Prema toj tablici ustanovljen je udio od 0,27 % dreniranog sadržaja koji odgovara optimalnom udjelu bitumena (6,60 %) u mješavini s 0,2 % vlakana celuloze, a udio od 0,07 % dreniranog sadržaja koji odgovara optimalnom udjelu bitumena (6,40 %) ustanovljen je u mješavini s 0,1 % tekstilnog otpada. Iako se količina tekstilnog otpada u mješavini koristila 50 % manje nego količina vlakana celuloze, mješavina s tekstilnim otpadom pokazala je veće performanse u smislu manje drenaže pri istom udjelu bitumena ili optimalnom udjelu bitumena.

S druge strane, količine dreniranog bitumena dobile su se dodavanjem različitih udjela bitumena (6,0 - 6,5 - 7,0 %) i različitog udjela vlakana (0,1 % tekstilnog otpada, 0,2 % vlakana celuloze) mješavinama SMA, kao što to prikazuje slika 13. Rezultati ispitivanja SMA mješavina po Schellenbergu pokazali su da, kad je mješavina pripremljena s udjelom bitumena od 6,0 - 6,5 - 7,0 %, količina dreniranog tekstilnog otpada iznosila je 0,04-0,09-0,34 %, a količina je dreniranih vlakana celuloze iznosila 0,08 - 0,21 - 0,59 %. Zaključilo se da su mješavine s tekstilnim otpadom ili celulozom znatno smanjile drenažu bitumena iz agregata. Još se jedno tumačenje sa slike 13. treba uzeti u obzir, a to je da je mješavina s 0,2 % vlakana celuloze

premašila gornju granicu drenaže (0,30 %) nakon 6,65 % udjela bitumena, dok je mješavina s 0,1 % tekstilnog otpada premašila gornju granicu drenaže nakon 6,92 % udjela bitumena.



Slika 13. Rezultati po Schellenbergu

Iz tog razloga povećanje udjela vlakana u izvedbi SMA povećava optimalni udio bitumena, a samim time povećava ukupne troškove izvedbe kolnika. Kako se koristila optimalna količina vlakana od 0,3 % u istraživanjima SMA, ispitivanje po Marshallu provedeno je uporabom 0,3 % tekstilnog otpada na početku, a dobio se optimalni udio bitumena od 6,50 %. Uporaba 0,1 % tekstilnog otpada pokazala je velike performanse u borbi protiv drenaže premašivši gornju granicu drenaže (0,3 %) nakon 6,92 % bitumena. Posljedično, kada se tekstilni otpad koristi umjesto vlakana celuloze kako bi se spriječila drenaža bitumena u splitmasksasfaltnim kolnicima, to će pridonijeti smanjenju troškova asfaltnog kolnika te smanjenju onečišćenja okoliša.

4. Zaključak

U ovom istraživanju procijenila se upotreba tekstilnog otpada umjesto tradicionalnih vlakana celuloze s ciljem da se smanji problem drenaže u splitmasksasfaltnim slojevima kolnika. Kad se asfaltna mješavina bez vlakana testirala sa 6,50 % bitumena, ustanovilo se da je premašena gornja granica specifikacije koja se drenirala u udjelu od 0,70 %. Gradacija frakcija agregata izabranih u ovom istraživanju pokazala je da bitumen ima problem drenaže.

LITERATURA

- [1] Kiran Kumar, N.L.N., Ravitheja, A.: Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives, *Materials Today: Proceedings*, 19 (2019) 2, pp. 397-402.
- [2] Oda, S., Fernandes, J.L., Ildefonso, J.S.: Analysis of use of natural fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures, *Construction and Building Materials*, 26 (2012) 1, pp. 13-20.
- [3] Suraj, B.V., Sri, M.U., Anil, N.C., Naidu, S.: A Laboratory study of bituminous mixes using a natural fibre, *International Journal for Research Trends and Innovation*, 4 (2019) 9, pp. 18-27.
- [4] Androjić, I., Kaluđer, G.: Influence of recycled filler on asphalt mix properties, *GRAĐEVINAR*, 69 (2017) 3, pp. 207-214, <https://doi.org/10.14256/JCE.1601.2016>

Prema ispitivanju po Schellenbergu, dreniralo se 0,25 % mješavine s vlaknima celuloze kad je bila pripremljena s optimalnim udjelom bitumena, a mješavina s tekstilnim otpadom drenirala se u udjelu 0,03 %. Upotreba tekstilnog otpada ili vlakana celuloze u mješavini SMA smanjila je drenažu bitumena.

Pri istom udjelu stabilizatora (0,3 %), zanimljivo je da je tekstilni otpad znatno smanjio drenažu u usporedbi s vlaknima celuloze. Kada se 0,2 % vlakana celuloze i 0,1 % tekstilnog otpada odvojeno koristilo u mješavini SMA, a u skladu s 3,50 % zračne šupljine, ustanovio se optimalni udio bitumena u mješavini s vlaknima celuloze od 6,60 %, dok je on iznosio 6,40 % u mješavini s tekstilnim otpadom. Procijenila su se ponašanja drenaže pri različitim udjelima bitumena i s različitim udjelom stabilizatora budući da je povećanje udjela vlakana u izvedbi SMA povećalo optimalni udio bitumena. Iako se mješavina s tekstilnim otpadom koristila 50 % manje nego mješavina s vlaknima celuloze, mješavina s tekstilnim otpadom pokazala je bolja svojstva jer je manje drenirala. Prema rezultatima ispitivanja uzoraka SMA po Marshallu, mješavina s 0,3 % tekstilnog otpada pokazala je najveći kapacitet nosivosti, a mješavina s 0,2 % vlakana celuloze pokazala je najmanji kapacitet nosivosti. Uočeno je da mješavine SMA s tekstilnim otpadom pridonose Marshallovoj stabilnosti. Kada se uzmu u obzir rezultati ispitivanja po Marshallu i ispitivanja drenaže zajedno, pokazalo se da mješavina SMA pripremljena s tekstilnim otpadom ima bolja svojstva u usporedbi s mješavinom pripremljenom s vlaknima celuloze kada se gledaju kao referentni uzorak. Iz tog razloga smatra se da će upotrebom tekstilnog otpada umjesto skupih vlakana celuloze koja se koriste u mješavini SMA kolnika kako bi se smanjila drenaža pridonijeti smanjenju troškova asfaltnih kolnika i smanjenju onečišćenja okoliša tako što se upotrebljava otpadni materijal. U središtu ovog istraživanja bilo je iskorištavanje tekstilnog otpada i tradicionalnih vlakana celuloze koje se usporedilo s rezultatima ispitivanja po Marshallu i rezultatima ispitivanja drenaže bitumena po Schellenbergeru s ciljem da se smanji drenaža bitumena. Mješavina SMA koja sadržava tekstilni otpad znatno je smanjila drenažu bitumena pokazavši pritom potencijal upotrebe umjesto vlakana koja se koriste u SMA slojevima kolnika. U budućim istraživanjima SMA preporučuje se ispitivanje osjetljivosti na djelovanje vode, ispitivanje indirektnog vlačnog testa te ispitivanje otpornosti na kolotražnje kako bi se potvrdila svojstva SMA mješavine s tekstilnim otpadom.

- [5] Kütük, T., Günbey, R.E.: Investigation of nano ulexite mineral effects on mechanical behaviour of warm mix asphalt pavements, *GRAĐEVINAR*, 72 (2020) 6, pp. 503-513, <https://doi.org/10.14256/JCE.2568.2018>
- [6] Rahman, M.T., Mohajerani, A., Giustozzi, F.: Recycling of waste materials for asphalt concrete and bitumen: A review, *Materials*, 13 (2020) 7, pp. 1495-1503.
- [7] Aslan, Ş., Aktaş B.: Use of diatomite and pumice as stabilizers in stone mastic asphalt mixtures, *Revista de la Construcción*, 17 (2018) 3, pp. 531-541.
- [8] Šimun, M., Mihaljinac, S.: Asphalt pavement surface course with recycled rubber, *GRAĐEVINAR*, 71 (2019) 8, pp. 639-650, <https://doi.org/10.14256/JCE.2703.2019>
- [9] Sanlier, I.: Stone mastic asphalt (SMA) applications within the scope of the northern marmara highway project, performance comparisons and cost analysis, MSc Thesis, Sakarya University, Turkey, 2018.
- [10] Köfteci, S.: Investigation on the usability of pumice as fibre in stone mastic asphalt, *GRAĐEVINAR*, 70 (2018) 8, pp. 695-701, <https://doi.org/10.14256/JCE.2310.2017>
- [11] Aslan, S.: Usability of industrial and natural waste materials in hot mix asphalt mixtures, MSc Thesis, Erciyes University, Turkey, 2015.
- [12] Razahi, M.M., Chopra, A.: A review of using sisal fiber and coir fiber as additives in stone matrix asphalt, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7 (2020) 2, pp. 1692-1697.
- [13] Salas, M.Á., Pérez-Acebo, H.: Introduction of recycled polyurethane foam in mastic asphalt, *GRAĐEVINAR*, 70 (2018) 5, pp. 403-412, <https://doi.org/10.14256/JCE.2181.2017>
- [14] Rajesh, Y., Nadiu, P.S., Kumar, P.S.: Experimental study – the use of bamboo fiber using SMA methodology in coarse aggregates, *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 3 (2017) 10, pp. 72-88.
- [15] Udayabhanu, V., Jagannadharao, P., Pavan Kumar, N.V.L.N.: Study on the Marshall properties with sunhemp and kenaf as stabilizer additives in stone mastic asphalt, *International Journal for Innovative Engineering and Management Research*, 9 (2020) 5, pp. 29-34.
- [16] Xavier, R.M., Martin, B., Babu, L.A., Jose, L.E., Roy, L.: A review on fiber modified stone matrix asphalt, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5 (2018) 3, pp. 3018-3020.
- [17] Kabadayı, E.: Investigation of the use of the ulexite as a filler in stone mastic asphalt mixtures, MSc Thesis Karadeniz Technical University, Turkey, 2019.
- [18] Bindu, C.S, Beena, K.S.: Influence of additives on the drain down characteristics of stone matrix asphalt mixtures, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (2014) 7, pp. 83-88.
- [19] Arshad, A.K., Mansor, S., Shafie, E., Hashim, W.: Performance of stone mastic asphalt mix using selected fibres, *Jurnal Teknologi*, 78 (2016) 7-2, pp. 99-103.
- [20] Baby, B., Baby, B.T., Xavier, J.P., Hafis, M., Vipinan, D.: Effect of coir fiber on stone matrix asphalt (SMA) with marble waste as filler, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5 (2018) 2, pp. 1899-1902.
- [21] Shekar, P.C., Rajath, B.H., Vishwas, J.S.: Experimental investigation of stone mastic asphalt by varying mix design, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5 (2018) 5, pp. 300-305.
- [22] Mansor, S., Zainuddin, N.I., Aziz, N.A., Razali, M., Joohari, M.I.: Sugarcane bagasse fiber – an eco-friendly pavement of SMA, *AIP Conference Proceedings*, pp. 1-6, 2020.
- [23] Mirza, E.M.A., Kumar, E.D., Bhat, E.A.A.: Use of glass fibre in bituminous mixes, *International Journal For Technological Research in Engineering*, 6 (2019) 9, pp. 5468-5469.
- [24] Nazir, M.M., Chandel, E.R., Lohani, D.T.: Use of jute fibre in bituminous mixes, *International Journal For Technological Research In Engineering*, 6 (2019) 7, pp. 5184-5185.
- [25] Kopylov, V.E., Burenina, O.N.: The stabilizing additive from natural zeolite for stone mastic asphalt, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 753 (2020), pp.1-6.
- [26] General Directorate of Highways, *Highway Construction Specifications*, Ankara, Turkey, 2013.
- [27] Turkish Standards Institute, TS EN 12591, Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens, Ankara, Turkey, 2011.
- [28] Turkish Standards Institute, TS EN 12697-34, Bituminous mixtures – Test methods – Part 34: Marshall test, Ankara, Turkey, 2012.
- [29] Turkish Standards Institute, TS EN 13108-5, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 5: Stone Mastic Asphalt, Ankara, Turkey, 2016.
- [30] Turkish Standards Institute, TS EN 12697-18, Bituminous mixtures – Test methods – Part 18: Binder drainage, Ankara, Turkey, 2018.