

## ОСОБЕНОСТИ ПРИ КОНЦЕПЦИЯ НА АСФАЛТОВА СМЕС ЗА ИЗНОСВАЩ ПЛАСТ С ШЛАКА

Лейла Шакър<sup>1</sup>

HFT - Университет за приложни науки Щутгарт

***Резюме:** Статията представлява обобщен доклад относно особеностите при концепция на асфалтови смеси от сплит мастик асфалт тип SMA 11 с шлага. Тук описаните изследвания бяха извършени в техническия Университет в Карлсруе в рамките на Дисертацията на автора [1]. В доклада се обръща особено внимание на различията в техническите характеристики на Шлага от стоманодобивното производство с електрически пеци (EOS) спрямо едрозърнест скален материал от естествен произход. При рецептиране на SMA 11 с EOS е взета под внимание значително по високата плътност на зърната при създаване на рецептата и корекция на изискванията към готовата асфалтова смес. Новоконцептираните асфалтови смеси са изпитани на устойчивост на пластични деформации и коловози, като е обърнато специално внимание на термичните свойства на SMA 11 с едрозърнест материал изцяло от EOS или частично в комбинация с едрозърнест светъл материал от трошен чакъл известен под наименованието „Алпина Морена (AM)“.*

***Ключови думи:** Шлага, EOS, сплит мастик асфалт, SMA, устойчивост на деформации, Алпина Морена*

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Добре развитата пътна мрежа във Федерална република Германия (ФРГ) се състои предимно от конструкции с асфалтово покритие. Асфалтовите настилки имат обаче недостатъка да се деформират пластично под влияние на прекомерно пътно натоварване съчетано с високи летни температури. Този тип деформации се изразява в напречния профил на пътната лента под формата на коловози, които пречат на повърхностното отводняване на пътя и засилват риска от появата на аквапланинг, който води до нарушение на безопасността по Пътищата. Отстраняването на тези деформации е често свързано с непредвидени големи инвестиции, наличието на които се оказва в много от случаите проблематично.

Прогнозираните високи темпове на растеж на тежкотоварния автомобилен транспорт и изменението на климата в следствие на глобалното затопляне увеличават риска от появата на горе споменатите необратими деформации. Поради тази причина се повишават постепенно изискванията към асфалтовата технология, особено спрямо състава на износващия пласт. За износващия пласт на Автомагистралите и федералните пътища в Германия се използва предимно сплит мастик асфалт (SMA) с полимерно модифициран битум, който притежава обикновено висока устойчивост на деформации, която обаче, имайки предвид очакваното повишаване на експлоатационните условия

<sup>1</sup> Лейла Шакър, проф. д-р инж., HFT Stuttgart, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart,  
e-mail: [leyla.chakar@hft-stuttgart.de](mailto:leyla.chakar@hft-stuttgart.de)

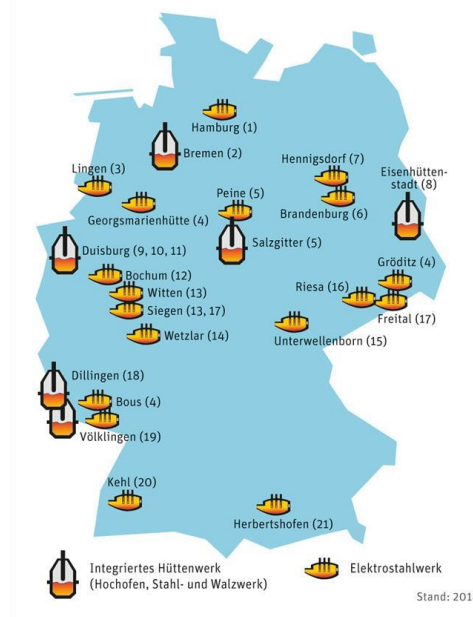
(натоварване и температура) – е за в бъдеще е недостатъчна. Поради тази причина бяха извършени изследванията описани в този доклад с цел повишаване устойчивостта на конвенционалните смеси SMA на пластични деформации при високи температури чрез използването на алтернативни каменни фракции, в случая шлага. Изследваната Шлага е придобита при производство на стомана в електрическа пещ. Този тип шлага се обозначава с акроним EOS и се отличава съществено по външен вид и технически показатели от шлагата придобита в доменна пещ известна със съкращението HOS.

Тъй като количеството шлага, като вторичен продукт при производството на стомана в електрически пещи е ограничено, част от изследванията анализират поведението на асфалтови смеси SMA спрямо устойчивостта на деформации при комбинация на EOS с конвенционални скални материали. Обемната плътност на EOS е средно 20 до 40% по-висока от тази на конвенционалните скални материали. Това води до по-високи разходи за транспорт, които могат да бъдат намалени чрез комбинация с естествени скални материали.

Целта на изследванията е да се анализира до каква степен е възможно да се повлияе положително устойчивостта на SMA 11 на пластични деформации чрез употребата на едрозърнест материал изцяло или частично от EOS. Качествените характеристики на SMA 11 с едрозърнест материал от EOS бяха сравнени с един конвенционален SMA 11 с едрозърнест скален материал от „трошен чакъл“. Използваният трошен чакъл е придобит от речните корита и тераси на река Рейн и е известен под наименованието „Алпина Морена (АМ)“. Този скален материал се счита за най-използваният материал за изграждане на асфалтови пътни настилки във федерална провинция Баден Вюртемберг.

## 2. АСФАЛТОВА СМЕС

Смесите сплит мастик асфалт SMA 11 за всички изследвания бяха произведени с полимерно модифициран битум 25/55-55 А от Shell, трошен пясък 0/2 мм от чакъл, каменно брашно от варовикова скала и целулозна добавка Viatop® 66 (целулозни фибри.66 М.-% и битум 34 М.-%). Смесите се различават единствено по вида и произхода (EOS или АМ) на Фракциите 2/5, 5/8 и 8/11 мм.

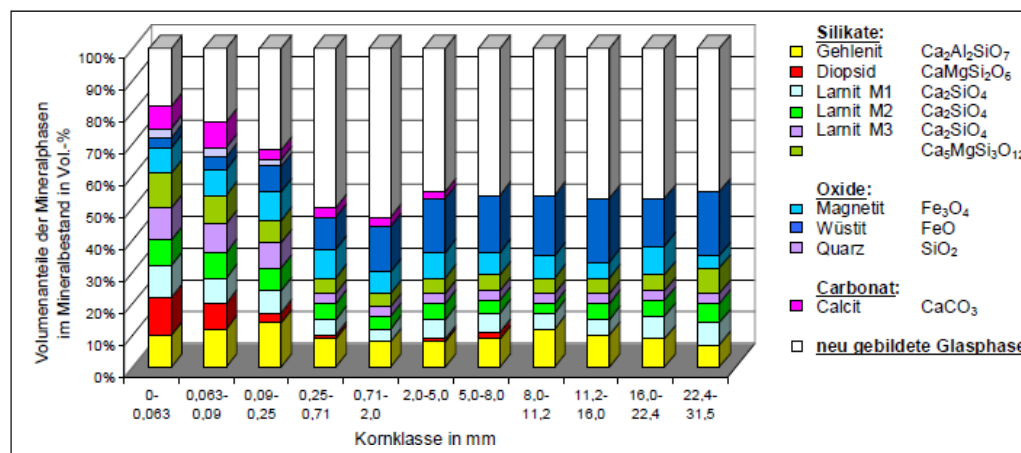


Фигура 1: Производители на стомана в Германия [2]

### 2.1. Технически характеристики на EOS и АМ

Годишното производство на стомана във Федерална република Германия по данни от 2014 година е от порядъка на 43 милиона тона. Две трети от които се произвеждат в доменни пещи и останалата една трета в електрически пещи. Изследваният EOS е придобит във Баден Вюртемберг (производител (20) във Фиг. 1) като вторичен продукт при металургичния процес. Шлакът придобива след изстиване и втвърдяване каменовидна форма. След процеса на трошене EOS се пресява на различни фракции, които могат да се използват поотделно и да се дозират прецизно. Използваният EOS подлежи на качествен контрол и намира от 2003 година приложение при производството на асфалтови смеси и изграждането на пътни настилки.

Във Фиг. 2 се вижда минералогичният фазов състав на изследвания EOS в зависимост от зърнометричния състав от 0 до 32 мм. Обемните съотношения на минералните фази в зърнените фракции по-големи от 2 мм са почти еднакви, така че не се очакват големи разлики в свойствата на трите използвани фракции.



Фигура 2: Минералогичният фазов състав в зависимост от големината на фракцията [1]

Химическият състав на шлаката зависи от производствения процес на стоманата. Табл. 1 показва диапазона на химическия състав на EOS получен при производството на нелегирана и ниско легирана стомана EOS<sup>1)</sup> и на високо легирана стомана EOS<sup>2)</sup>.

Таблица 1: Химически състав на различни видове шлака [3]

	HOS/HS	LDS	EOS <sup>1)</sup>	EOS <sup>2)</sup>	SEKS <sup>3)</sup>
CaO	39 - 41	46 - 53	26 - 38	37 - 40	33 - 61
SiO <sub>2</sub>	34 - 37	13 - 16	11 - 16	14 - 28	9 - 24
MgO	7 - 12	1 - 4	3 - 10	7 - 13	6 - 13
Mn <sub>ges.</sub>	0,2 - 0,6	1,8 - 4,8	3,5 - 5,5	2,6 - 4,1	0,2 - 4,9
Fe <sub>ges.</sub>	0,2 - 0,6	14 - 19	24 - 40	6 - 7	0,6 - 9,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 - 12	1 - 4	3 - 6	5 - 13	3 - 27
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0,01	0,2 - 0,4	0,7 - 2,7	5 - 19	< 0,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,01	1,2 - 1,8	0,5 - 0,8	< 0,1	< 0,03
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,5 - 1,2	< 0,07	< 0,08	< 0,08	k. A.
S <sub>ges.</sub>	1,0 - 1,7	< 0,2	k. A.	< 0,4	0,5 - 2,0
CaO/SiO <sub>2</sub>	0,9 - 1,2	2,8 - 5,0	1,9 - 2,6	1,3 - 2,3	1,3 - 6,2
(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	1,2 - 1,4	3,0 - 5,2	2,2 - 3,1	1,6 - 2,9	1,7 - 7,8

<sup>1)</sup> aus Erzeugung nicht/niedrig legiert; <sup>2)</sup> aus Erzeugung hoch legiert; <sup>3)</sup> aus Sekundärmetallurgie; k. A. = keine Angaben

Както е известно, разликите в производения процес на различните производители води до разлики в свойствата на EOS. Използваният EOS има тъмносив цвят, което води до тъмни пътни настилки, които се нагряват по силно от настилки с референтния материал АМ. Техническите характеристики са от порядъка даден в Табл. 2.

Таблица 2: Технически характеристики на изследвания EOS [1]

Свойство	Метод за изпитване	Стойност	Изисквания
Коефициента на формата	EN 933-4	2 М.-%	<i>Sl</i> <sub>20</sub>
Постоянство на обема	EN 1744-1, 19.3	0,6 Vol.-%	<i>V</i> <sub>3,5</sub>
Мразоустойчивост	EN 1367-1	0,5 М.-%	<i>F</i> <sub>1</sub>
Мразоустойчивост с 1%-тов NaCl разтвор	EN 1367-6	0,6 М.-%	5 М.-%
Съпротивление на дробимост, коефициент на Лос Анджелис	EN 1097-2	18	<i>LA</i> <sub>20</sub>
Съпротивление на дробимост SZ	EN 1097-2	15,6 М.-%	<i>SZ</i> <sub>18</sub>
Устойчивост на термичен шок	EN 1367-5	0,1 М.-%	-
Съвместимост на добавъчен материал с битум / след 6 часа	EN 12697-11, A	85 %	-
Обемна плътност на зърната в сухо състояние	EN 1097-6	3,600 - 3,708 g/cm <sup>3</sup>	
Устойчивост на полиране	EN 1097-8	64	<i>PSV</i> <sub>51</sub>
Процентно съдържание на частици с натрошени и раздробени повърхности	EN 933-5	<i>C</i> <sub>100/0</sub>	<i>C</i> <sub>95/1</sub>

Изследваната АМ отговаря на изискванията съгласно TL Asphalt-StB [4] за тип SMA 11 S дадени в Табл. 2 (вж. Категориите в последната колона).

## 2.2. Рецептурен състав на асфалтовите смеси SMA 11 S

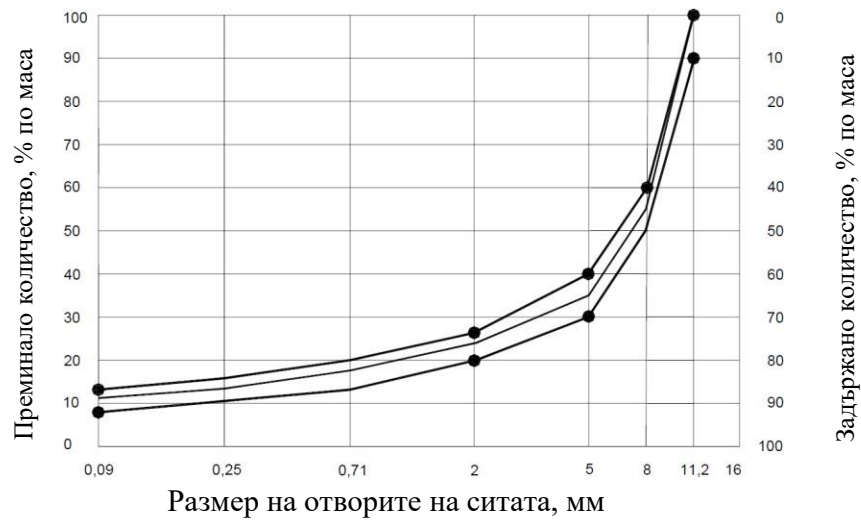
Избрана е асфалтова смес SMA 11 S с битумно съдържание 6,9 М.-% (от което 0,2 М.-% е съдържанието на битума от Viator® 66), 0,5 М.-% Viator® 66 (съдържащ 0,3 М.-% фибри) и зърнометричен състав, отговарящ на графичното изображение във Фиг. 3, разположен между долната и горната граница съгласно TL Asphalt-StB за оптималния зърнометричен състав.

Ако плътността на зърната в сместа от скални фракции е константна, следва зърнометричният състав в % по маса (М.-%) да отговаря на този в % по обем (Vol.-%). Скалните материали от естествен произход, които намират приложение в производството на асфалта в Германия имат обаче плътност на зърната от порядъка на 2,4 до 3,1 g/cm<sup>3</sup>. За да може при комбинация на скални фракции с доста различаваща се плътност на зърната да се постигнат подобни обемни пропорции, се избират пропорциите по маса (зърнометричен състав) в определени граници. Границите за оптималния зърнометричен състав са така избрани, че да обхванат зърнометричния състав от комбинацията на (каменно брашно, дребно- и едрозърнести фракции) с плътност на зърната варираща между 2,4 до 3,1 g/cm<sup>3</sup> (вж. Фиг. 4).

Тъй като плътността на зърната на EOS е над 3,1 g/cm<sup>3</sup> се налага корекция на долната граница за оптималния зърнометричен състав (вж. Фиг. 5).

За да може да се определи влиянието на АМ (МММ) и EOS (ЕЕЕ) върху експлоатационните свойства на асфалтовите смеси се избират подобни обемни пропорции.

NATIONAL TRANSPORT INFRASTRUCTURE CONFERENCE  
WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION, 2019



Фигура 3: Зърнометричен състав на асфалтовата смес SMA 11 S с АМ



Фигура 4: Граници за оптималния зърнометричен състав SMA 11 S



Фигура 5: Граници за оптималния зърнометричен състав SMA 11 S с EOS

За тази цел се коригират масовите пропорции на сместа с АМ със съотношението на плътността на зърната EOS/АМ чрез следната формула:

$$(1) \quad Mi^E = Mi^M * \rho_i^E / \rho_i^M, \text{ където:}$$

$Mi^E$  Маса на фракция  $i$  от EOS в g

$Mi^M$  Маса на фракция  $i$  от АМ в g

$\rho_i^E$  Обемна плътност на зърната в сухо състояние на фракция  $i$  от EOS в g/cm<sup>3</sup>

$\rho_i^M$  Обемна плътност на зърната в сухо състояние на фракция  $i$  от АМ в g/cm<sup>3</sup>

EOS и АМ имат различни геометрични свойства, затова се получават по този начин приблизително еднакви обемни пропорции в минералните смеси (EEE и MMM). При комбинация на двата материала (EOS (E) и АМ (M)) във фракциите 2/5, 5/8 и 8/11 мм се получават следните варианти: (MME, MEM, EMM, MEE, EEM и EME). Съдържанието на битум се взема също еднакво по обем. В Табл. 4 е изразено битумното съдържание в % по маса. Тъй като повърхността на каменните зърна EOS притежава пореста структура е необходимо да се завиши битумното съдържание.

Таблица 4: Битумно съдържание на асфалтовите смеси

Състав на асфалтовите смеси	MMM	EMM	MEM	EEM	MME	EME	MEE	EEE
	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]	[М.-%]
Битумно съдържание	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9	5,8	5,6
Минерална смес,	93,1	93,3	93,5	93,7	93,9	94,1	94,2	94,4
<b>Сума</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

### 3. РЕЗУЛТАТИ

Техническите характеристики на асфалтовите смеси и на произведените от тях маршалови пробни тела са дадени в Табл. 5. Обемната плътност на пробните тела за изчисляване на съдържанието на въздушни пори е установена по метода с потапяне под вода. Вариантите с количество EOS по високо от 20 % имат високо съдържанието на въздушни пори поради голямата порьозност на EOS и надхвърлят граничните стойности, затова бяха изследвани допълнителни характеристики, като например уплътняемостта, чувствителност на пробното тяло към вода и устойчивостта на пластични деформации по метод Б на EN 12696-25 при циклично уплътняване. Тези характеристики бяха използвани като критерии за оценка на смесите (вж. Табл. 5).

### 4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

При сравнение на вариантите може да се установи, че с увеличаване на съдържанието на EOS се увеличава устойчивостта на уплътняване до приблизително 30 %. Индиректната якост на опън на EEE е по-висока от тази на MMM. Комбинираните варианти се подреждат между двата референтни варианта. Всички варианти имат коефициент на индиректна якост на опън ITRR по-голям от 80 % и се считат за устойчиви към вода, като устойчивостта се увеличава с увеличаване на съдържанието на EOS. Всички варианти водят до скорост на пластичните деформации при циклично натоварване (10.000 цикла) по-малка от 9 % / 10000 п, така че

изследваните смеси се вписват в категория 1 (строителен клас SV/I, подходящ за автомагистрала и федерални пътища) за експлоатационен период от поне 10 години. Средно всички варианти, с изключение на MMM, са също подходящи за експлоатационен период от поне 20 години (<5 ‰ / 10000 n). Устойчивостта на пластични деформации също се увеличава с увеличаване на количеството на EOS в асфалтовата смес.

**Таблица 5: Техническите характеристики на асфалтовите смеси**

Характеристика	MMM	EMM	MEM	EEM	MME	EME	MEE	EEE
Плътност на зърната в минералната смес [g/cm <sup>3</sup> ]	2,652	2,771	2,886	3,012	3,194	3,326	3,456	3,596
Максимална плътност на асфалтовата смес [g/cm <sup>3</sup> ]	2,397	2,495	2,589	2,692	2,838	2,946	3,047	3,163
Обемна плътност на пробните тела [g/cm <sup>3</sup> ]	2,319	2,396	2,482	2,561	2,632	2,708	2,807	2,870
Съдържание на въздушни пори в пробните тела [Vol.-%]	3,3	4,0	4,1	4,9	7,2	8,1	7,9	9,3
Съдържание на битум в асфалтовите пробни тела [Vol.-%]	15,3	15,4	15,5	15,5	15,4	15,3	15,6	15,4
Съдържание на пори в минералната смес [Vol.-%]	18,6	19,3	19,6	20,3	22,6	3,4	23,5	24,7
Уплътняемост D [21 Nm] при брой на ударите за уплътняване (2 X 50)	29,2	29,5	30,6	33,0	34,7	36,4	35,4	38,2
Чувствителност на пробното тяло към вода [ITSR %]	80,6	93,5	96,9	81,4	89,5	94,1	84,5	100,5
Скорост на деформации при 50 °C [‰·10 <sup>-4</sup> /n]	5,8	4,7	3,5	4,5	3,1	2,1	1,7	1,8

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изследванията показват, че използването на EOS в асфалтови смеси SMA 11 S подобрява устойчивостта на пластични деформации. При проектиране на SMA с EOS трябва обаче да се обърне особено внимание на значително по-голямата плътност на зърната от EOS. Освен това, с увеличаване на съотношението на EOS в асфалтовата смес, се увеличава и съпротивлението при уплътняване, така че при полагането на асфалта е необходима по-висока енергия на уплътняване.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Chakar, L.: Optimierung des Verformungswiderstandes von Splittmastixasphalt durch Modifikation mit Elektroofenschlacke, Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen, Band 58, KIT Scientific Publishing 2009.
- [2] Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2014, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf, Aktualisierte Fassungen ausgewählter Statistiken online unter: [www.stahl-online.de/statistiken](http://www.stahl-online.de/statistiken).



[3] DRISSEN, P. (2004): Eisenhüttenschlacken – industrielle Gesteine, Report des FehS-Institutes 1/2004.

[4] Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, Ausgabe 2007, Fassung 2013 (TL Asphalt-StB 07/13), FGSV-Nr. 797.