



Получена: 14.05.2021 г.

Приета: 16.08.2021 г.

ПОСТИГАНЕ НА ЦЕЛИТЕ ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ ЧРЕЗ ВЛАГАНЕ НА СТРОИТЕЛНИ ОТПАДЪЦИ В НОВИ АСФАЛТОВИ СМЕСИ

Г. Грозев¹, В. Филипова²

Ключови думи: устойчиво развитие, устойчивост, рециклиране, асфалт за рециклиране, асфалтови смеси

РЕЗЮМЕ

Съгласно техническата спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“ раздел 5103.6. Асфалт за рециклиране, е допустимо влагане на до 10% асфалт за рециклиране в износващи се пластове и до 20% в долен пласт на покритието и в основни пластове от пътната настилка.

На 25 септември 2015 г. е проведено общо събрание на ООН, на което е приета резолюцията „Преобразуване на нашия свят: Програма за устойчиво развитие до 2030 г.“. Деветата цел за устойчиво развитие (Индустрия, иновация и инфраструктура) и Цел № 12 (Отговорно потребление и производство) засягат пряко строителството и експлоатацията на пътищата.

Насоките на Цел № 12 налагат да се обърне внимание върху консумацията и материалното оползотворяване във всички сфери на индустрията. Насока № 12.5 – до 2030 г. да се намали съществено образуването на отпадъци чрез предотвратяване, намаляване, рециклиране и повторна употреба – има за индикатор „Национална степен на рециклиране“, измерена в тонове рециклирани материали. Това сочи, че е необходимо да бъдат предприети мерки за увеличаване на количеството рециклирани материали във всички сфери на индустрията, една от които е и пътното строителство.

¹ Георги Грозев, инж. докторант, кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgigrozev@abv.bg

² Весела Филипова, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: vesela_filipova@abv.bg

1. Въведение

Асфалтът е един от основните материали при пътно строителство, следователно се използва и в най-голямо количество. Пожелателният характер на допуските, приети от Агенция „Пътна инфраструктура“, а именно влагане на до 10% асфалт за рециклиране в износващи се пластове и до 20% в долен пласт на покритието и в основни пластове от пътната настилка, както и твърде малкото процентно съдържание на асфалт за рециклиране, не са достатъчен фактор и норматив, който да принуди строителната индустрия в България да въведе практики за рециклиране на асфалт.

Проведен е експеримент, целта на който е да бъде изследвана и доказана възможността за влагане на по-големи количества асфалт за рециклиране в новопроизведените асфалтови смеси.

Влагането на по-големи количества асфалт за рециклиране в новите асфалтови смеси спомага за това да бъде постигната по-висока степен на материално оползотворяване и да бъдат удовлетворени изискванията, поставени от ООН чрез резолюцията „Преобразуване на нашия свят: Програма за устойчиво развитие до 2030 г.“

Насока 12.5 от целите за устойчиво развитие, изисква по-високи нива на рециклиране, измерени чрез индикатора си „Национална степен на рециклиране“, измерен в тонове рециклирани материали годишно. Чрез насърчаване на повторното влагане на асфалт за рециклиране в новите смеси и променяне на неговия характер от допустим към задължителен, е възможно постигане на по-висока оценка по индикатора.

При направеното изследване е използван асфалтов отпадък, образуван при реконструкция на съществуваща улица в гр. София. Същият, като конструктивен елемент, е загубил своите експлоатационни качества. Суровините, от които е изграден обаче, не са загубили способността да изпълняват своите функции повторно.

Изготвени са четири рецепти за различни асфалтови смеси при различни съдържания на асфалта за рециклиране. Проведен е пълен набор от лабораторни изисквания, които да докажат годността на асфалтовите смеси съгласно действащите стандарти.

Първоначалният замисъл беше да се изготвят следните рецепти за асфалтови смеси с асфалт за рециклиране:

- Рецепта № 1: AC12,5 изн. 50/70 с 10% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 2: AC16 бин. 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 3: AC31,5 осн. А0 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 4: AC31,5 осн. А0 50/70 с 40% съдържание на асфалт за рециклиране.

В следствие, поради несъвместимостта на асфалта за рециклиране с изискванията за зърнометрия за смес AC12,5 изн. 50/70 беше взето решение първоначалната концепция да бъде променена и бяха изготвени следните рецепти:

- Рецепта № 1: AC16 бин. 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 2: AC16 бин. 50/70 с 20% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 3: AC31,5 осн. А0 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране;
- Рецепта № 4: AC31,5 осн. А0 50/70 с 40% съдържание на асфалт за рециклиране.

2. Материали, използвани при провеждане на експеримента

Както при проектиране и производство на асфалтови смеси, съставени изцяло от свежи суровини, така и при асфалтовите смеси основните компоненти, които ги съставят са скални материали, битум, минерално брашно и естествен пясък.

За целта на научния експеримент са използвани както свежи суровини, така и асфалт за рециклиране, добит при образуването на строителни отпадъци при изпълнение на реконструкция на улица в гр. София. Използваните материали са:

- асфалт за рециклиране 20 RA 0/14, добит от строителен обект, намиращ се в гр. София, район „Овча купел“, ул. „Монтевидео“;
- едрозърнест скален материал фракция 12.5/20, добит от кариера Студена;
- едрозърнест скален материал фракция 4/12.5, добит от кариера Студена;
- нефракциониран скален материал 0/4, добит от кариера Студена;
- естествен пясък;
- пътен битум 50/70;
- пътен битум 70/100.

3. Методи и процедури за изпитване на изходните материали при провеждане на експеримента

При провеждане на експеримента е извършен набор от лабораторни изследвания, които да определят характеристиките на асфалтовите смеси, изисквани от БДС EN 13108-1:2006/NA:2017.

3.1. БДС EN 932-1 „Методи за вземане на проби“

Всички проби от материали, необходими за провеждане на експеримента – асфалт за рециклиране, едрозърнести скални материали, нефракционирани скални материали са взети в съответствие с Приложение С от БДС EN 932-1. Това гарантира еднородност на характеристиките на добитите материали, осигуряващи стандартно провеждане на изпитванията.

3.2. БДС EN 12697-1 „Съдържание на разтворимо свързващо вещество“

Съгласно този стандарт се извърши екстракция, чрез която беше отделено битумното свързващо вещество от скалния материал в асфалта за рециклиране. Така отделените материали бяха съхранени за извършване на последващите лабораторни изпитвания. Екстракцията беше извършена посредством автоматизиран асфалтанализатор, който разваря битума с трихлоретилен C_2HCl_3 и изсушава пробата до постоянна маса.



Фиг. 1. Асфалт за рециклиране преди екстракция (вляво) и след екстракция (вдясно)



Фиг. 2. Асфалтанализатор

3.3. БДС EN 12697-3:2013+A1:2019 „Асфалтови смеси. Методи за изпитване. Част 3: Възстановяване на битума: ротационен изпарител“

След екстрахиране на битумното свързващо вещество от асфалта за рециклиране се пристъпи към възстановяване на битума чрез ротационен изпарител. Това е необходимо, за да се определят параметрите на битумното свързващо вещество в асфалта за рециклиране, чрез които се определят характеристиките на обединеното свързващо вещество при комбиниране на асфалта за рециклиране със свежите суровини.

Възстановяването на битума от асфалта за рециклиране се извърши посредством ротационен изпарител, който чрез ротация изпарява разтворителя трихлоретилен C_2HCl_3 и отделя чистия битум, на който след това да бъдат определени необходимите характеристики.



Фиг. 3. Възстановяване на битумно свързващо вещество чрез ротационен изпарител

3.4. БДС EN 1426 „Битуми и битумни свързващи материали. Определяне на пенетрацията с игла“

При вече възстановен битум, съгласно процедурата, описана в БДС EN 12697-3:2013+A1:2019 „Асфалтови смеси. Методи за изпитване. Част 3: Възстановяване на битума: ротационен изпарител“ се пристъпи към определяне на характеристиките на възстановения битум – пенетрация и температура на омекване на битума.

Бяха извършени три измервания за определяне на пенетрацията на възстановения битум. Процедурата беше изпълнена и за свежите битуми 50/70 и 70/100, участващи в проектния състав на новите смеси.



Фиг. 4. Определяне на пенетрация чрез пенетрометър

3.5. БДС EN 1427 „Определяне на температурата на омекване. Метод пръстен с топче“

Температурата на омекване е основен параметър на битума, използван за производство на асфалтови смеси. Той показва температурата, при която битумът преминава от твърдо в течно състояние. Температурата на омекване беше определена посредством автоматизиран уред, който осигурява плавно повишение на температурата, съгласно изискванията на стандарта. Извършиха се два броя изпитвания. Процедурата беше изпълнена и за свежите битуми 50/70 и 70/100, участващи в проектния състав на новите смеси.



Фиг. 5. Определяне температурата на омекване

3.6. БДС EN 12697-2 „Определяне разпределението на размера на частиците“

Определянето на зърнометричния състав на суровините за производство на асфалтови смеси е от фундаментално значение, тъй като той е необходим при определяне проектния състав на сместа.

Пресевният анализ беше изпълнен с комплект сита, съгласно стандарта, който осигури достатъчно прецизно определяне на зърнометричния състав на асфалта за рециклиране, който да послужи при по-нататъшното проектиране на сместа. Същата процедура беше изпълнена и за свежите скални фракции 12.5/20, 4/12.5 и 0/4.

Определянето на зърнометричния състав на суровините за производство на асфалтови смеси е от фундаментално значение, тъй като той е необходим при определяне проектния състав на сместа.

4. Методи и процедури за изпитване на изходните материали при провеждане на експеримента

След като бяха определени параметрите на суровините за производство на асфалтовите смеси с асфалт за рециклиране, се пристъпи към изготвяне на рецептите съгласно изискванията на стандарти БДС EN 13108-1:2006 „Асфалтови смеси. Изисквания за материалите. Част 1: Асфалтобетон“, БДС EN 13108-8:2006 „Асфалтови смеси. Изисквания за материалите. Част 8: Асфалт за рециклиране“ и БДС EN 13108-20:2006 „Асфалтови смеси. Изпитване на типа“.

Първоначалната концепция за изпълнение на експеримента беше да бъдат изготвени 4 броя рецепти за асфалтови смеси с асфалт за рециклиране: АС12,5 изн. 50/70 с 10% съдържание на асфалт за рециклиране; АС16 бин. 50/70 с 20% съдържание на асфалт за рециклиране; АС31,5 осн. А0 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране; АС31,5 осн. А0 с 40% съдържание на асфалт за рециклиране.

В последствие рецептата за АС12,5 изн. 50/70 с 10% съдържание на асфалт за рециклиране отпадна поради наличие на скални късове с размер, по-голям от 12,5 mm в асфалта за рециклиране. Поради тази причина тя беше заменена с рецепта за АС16 бин. 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране.

След като бяха установени характеристиките на всички материали, използвани за изготвянето на рецептите, всяка от тях беше разработена на няколко етапа.



Фиг. 6. Подготовка на материалите – дозиране, квартуване, загряване

4.1. Етап 1: Определяне на битумните съдържания за пробните замеси

Определиха се пет начални битумни съдържания за всяка една от рецептите. Минималното битумно съдържание за всяка рецепта беше избрано със стойност, 0,5% по-малка от минималното битумно съдържание, съгласно изискванията на БДС EN 13108-1:2006/NA:2017. По този начин се осигурява по-точен и достоверен резултат при изследване на повече стойности, които започват от по-ниска граница.

За всяко битумно съдържание беше изчислено процентното участие на битума от асфалта за рециклиране и свежия битум, който се добавя, съгласно процентното съдържане на асфалт за рециклиране в сместа.

След определяне на процентното участие на битума от асфалта за рециклиране и свежия битум, бяха изчислени характеристиките на смесения битум съгласно БДС EN 13108-1:2006:

$$a \cdot \lgpen_1 + b \cdot \lgpen_2 = (a+b) \cdot \lgpen_{\text{mix}}, \quad (1)$$

където \lgpen_{mix} е изчислена пенетрация на свързващото вещество в сместа, съдържаща асфалт за рециклиране, 0,1 mm;

\lgpen_1 – пенетрация на свързващото вещество, възстановено от асфалта за рециклиране, 0,1 mm;

\lgpen_2 – пенетрация на добавеното свързващо вещество, 0,1 mm;

a и b – части по маса от свързващото вещество от асфалта за рециклиране (a) и от добавеното свързващо вещество (b) в сместа; $a + b = 1$

$$T_{R\&B\text{mix}} = a \cdot T_{R\&B1} + b \cdot T_{R\&B2}, \quad (2)$$

където $T_{R\&B\text{mix}}$ е изчислената температура на омекване на свързващото вещество в сместа, съдържаща асфалт за рециклиране, t °C;

$T_{R\&B1}$ – температурата на омекване на свързващото вещество, възстановено от асфалта за рециклиране, t °C;

$T_{R\&B2}$ – температурата на омекване на добавеното свързващо вещество, t °C;

a и b – части по маса от свързващото вещество от асфалта за рециклиране (a) и от добавеното свързващо вещество (b) в сместа; $a + b = 1$.

4.2. Етап 2: Определяне на характеристиките на скалните материали. Студено дозиране на скалните материали

При вече определено процентно съдържание на асфалт за рециклиране в смесите и при известен зърнометричен състав на всяка от фракциите се извърши изчисление на зърнометричния състав на сместа при студено дозиране – определяне на процентното участие на всяка от фракциите в проектния състав на сместа.

При изчисление на проектния състав на сместа бяха спазени изискванията за минимална и максимална граница на зърнометричната крива, дефинирани в БДС EN 13108-1:2006-NA.

Определиха се и характеристиките на скалните материали.

Плътност на зърната – за всяка фракция, вложена в асфалтовата смес, са определени абсолютната плътност на зърната, плътността на зърната в сухо състояние, плътността на зърната във водонаситено-повърхностно сухо състояние – съгласно БДС EN 1097-6.

Абсорбция на вода – съгласно БДС EN 1097-6.

4.3. Етап 3: Определяне на обемна плътност, максимална плътност, устойчивост и условна пластичност

При известни параметри на изходните материали за проектиране на асфалтовите смеси – скални материали, битум и асфалт за рециклиране се премина към изготвяне на лабораторните образци на асфалтовите смеси.

За всяка рецепта се изготвиха замеси, чрез които се определиха:

4.3.1. Обемната плътност на пробното тяло съгласно БДС EN 12697-6

Изготвиха се 4 бр. стандартни цилиндрични пробни тела. Определи се тяхната маса в сухо състояние, във водонапито повърхностно сухо състояние и масата на пробното тяло във вода. Същите пробни тела се използваха за подетап 4.3.3. Устойчивост и условна пластичност съгласно БДС EN 12697-34.

$$\rho_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \rho_w, \quad (3)$$

където ρ_w е обемната плътност на водата, определена при конкретната температура при провеждане на изпитването, g/cm^3 .

m_1 – маса на сухото пробно тяло, g;

m_2 – маса на пробното тяло във вода, g;

m_3 – маса на пробното тяло във водонапито повърхностно сухо състояние, g.

4.3.2. Максималната плътност на пробното тяло съгласно БДС EN 12697-5

За определяне на максималната плътност на пробното тяло беше отделена проба от общия замес на асфалтовата смес. Същата беше охладена, като отделните зърна на асфалтовата смес бяха щателно отлепени едно от друго. Използва се метод с пикнометър.

$$\rho_{mv} = \frac{m_1 - m_2}{10^6 \cdot V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w}, \quad (4)$$

където ρ_w е обемната плътност на водата, определена при конкретната температура при провеждане на изпитването, g/cm^3 ;

m_1 – маса на пикнометъра плюс надставката, g;

m_2 – маса на пикнометъра плюс надставката и пробата за изпитване, g;

m_3 – маса на пикнометъра плюс надставката, пробата за изпитване и водата, g;

V_p – обема на пикнометъра, напълнен до марката, m^3 ;



Фиг. 7. Определяне на максималната плътност – пикнометър

4.3.3. Устойчивост и условна пластичност съгласно БДС EN 12697-34

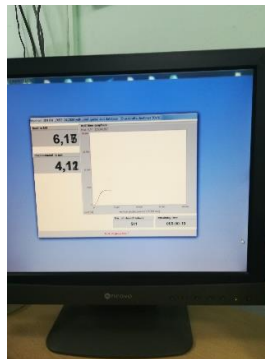
На всяко пробно тяло, използвано в изпитванията за обемна плътност, беше определена неговата височина, която служи за изчисляване на корекционния коефициент (с) при определяне на устойчивостта. Използва се стандартна автоматизирана преса по метода на Marshall.

$$S = c \cdot M, \quad (5)$$

където S е устойчивост, kN;

c – корекционен коефициент;

M – максимално натоварване, kN.



Фиг. 8. Определяне на устойчивост и условна пластичност по метода на Marshall

4.4. Етап 4: Определяне на характеристиките на всички пробни замеси

След провеждане на всички изпитвания за всички предварително заложи битумни съдържания данните бяха обобщени в таблица. На базата изпитванията се определиха следните параметри:

- съдържание на скалните материали в % от асфалтовата смес;
- съдържание на битум в % от асфалтовата смес;
- плътност във водонаситено-повърхностно сухо състояние на общите скални материали;
- ефективна плътност на общите скални материали G_{SE} ;
- абсорбиран битум в % към общите скални материали;
- ефективно съдържание на битум;
- съдържание на пори в минералния материал VMA;
- остатъчна порестост V_a ;
- съдържание на пори в минералния материал, запълнени с битум VFB.

Тези параметри са необходими, за да бъде определено оптималното съдържание на битум.

4.5. Етап 5: Определяне на оптималното битумно съдържание

Изчислените в етап 4 параметри на всички пробни замеси при различни битумни съдържания послужиха за построяването на графики, чрез които да се определи максималното битумно съдържание.

За всяка рецепта се изчертаха графики за:

- съдържание на пори в минералния материал VMA;
- остатъчна порестост V_a ;
- съдържание на пори в минералния материал, запълнени с битум VFB;
- устойчивост;
- условна пластичност;
- обемна плътност.

За всяка графика бяха определени минималното и максималното битумно съдържание, отговарящи на граничните стойности на параметрите, съгласно БДС EN 13108-1:2006/NA:2017.

4.6. Етап 6: Изготвяне на замес с оптимално битумно съдържание за всяка рецепта

При известно оптимално битумно съдържание за всяка рецепта се изготви финален лабораторен замес с избраната зърнометрия и определеното съдържание на битум.

При провеждане на изпитванията бяха спазени процедурите, описани по-горе. За всяка рецепта се определиха:

- обемна плътност;
- максимална плътност;
- ефективна плътност на общите скални материали;
- абсорбиран битум в % към общите скални материали;
- ефективно съдържание на битум;
- съдържание на пори в минералния материал;
- остатъчна порестост;
- съдържание на пори в минералния материал, запълнени с битум;
- устойчивост;
- условна пластичност.

Освен горепосочените параметри се проведе и изпитване за чувствителността на асфалтовите смеси към вода съгласно БДС EN 12697-23:2018. Индиректното натоварване на опън ITS_d се определи по следната формула:

$$ITS_d = \frac{2P}{\pi DH}, \quad (6)$$

където P е максимално натоварване, kN;

D – диаметър на пробното тяло, mm;

H – височина на пробното тяло, mm;

Получените резултати от изпитването на всеки 3 от пробните тела бяха осреднени, като беше получена по една средна стойност за пробни тела, съхранявани на сухо, и пробни тела, третиращи с вода.

Чувствителността към вода се определи съгласно следната формула:

$$ITSR = \frac{ITS_{d1}}{ITS_{d2}} \cdot 100, \quad (7)$$

където ITS_{d1} е средната стойност на индиректно натоварване на опън на пробни тела, съхранявани на сухо, GPa;

ITS_{d2} – средната стойност на икдиректно натоварване на опън на пробни тела, третиращи с вода, GPa.

5. Резултати от проведения експеримент

5.1. Рецепта №0 – AC16 изн. 50/70 с 10% асф. за рециклиране 20 RA 0/14

Тъй като максималният размер на зърната във фрезования материал е 16 mm (94% преминало количество на скалните материали през сито 16 mm), това не позволява работването на рецепта за асфалтова смес AC12,5 изн. 50/70. Поради тази причина се пристъпи към изготвяне на рецепта за асфалтова смес AC16 изн. 50/70.

Извършиха се всички изчисления от т. 3 и беше избран битум 50/70. Пристъпи се към изчисленията за студено дозиране с участието на 10% фрезован материал, фракция 4/12,5, фракция 0/4 и минерално брашно.

След извършване на немалък брой итерации при комбиниране на процентните съдържания на фракциите достигнахме до заключение, че фрезованият материал не е подходящ за изготвяне на рецепта за АС16 изн. 50/70, тъй като не могат да бъдат удовлетворени изискванията на минималната зърнометрична крива при сита 12,5 mm и 8 mm.

По-нататъшните изчисления бяха преустановени, като екипът стигна до извода, че изготвянето на рецепта за АС16 изн. 50/70 е невъзможно с наличните материали. Пристъпи се към изготвяне на рецепта за АС16 бин. 50/70 с 30% съдържание на асфалт за рециклиране.

5.2. Рецепта №1 – АС16 бин. 50/70 с 30% асф. за рециклиране 20 RA 0/14

Материали:

Асфалт за рециклиране, добит от строителен обект, намиращ се в гр. София, район „Овча купел“, ул. „Монтевидео“ – 20 RA 0/14;

Едрозърнест скален материал фракция 12.5/20 mm от кариера Студена;

Едрозърнест скален материал фракция 4/12.5 mm от кариера Студена;

Нефракциониран скален материал 0/4 mm от кариера Студена.

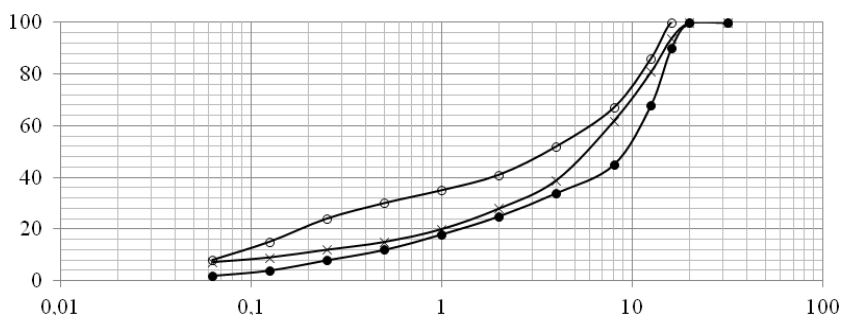
Пътен битум 70/100 – поради ниската пенетрация на битума в асфалта за рециклиране и голямото му съдържание в сместа, беше необходимо да се използва свеж битум с по-висока пенетрация.

Таблица 1. Рецепта 1: Комбиниране на битума

Вид на изпитване /характеристика/ Метод на изпитване	Изчислителен параметър	Хар. на бит. при % съдърж. на АР Битумно съдържание в АР: 3,6%									
		3,5		4,0		4,5		5,0		5,5	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
		0,31	0,69	0,27	0,73	0,24	0,76	0,22	0,78	0,20	0,80
Пенетрация при 25 °С БДС EN 1426	pen _a	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
	pen _b	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
	pen _{mix}	61	63	65	66	66	66	66	66	68	68
Температура на омекване БДС EN 1427	T _{R&Ba}	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8
	T _{R&Bb}	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6	45,6
	T _{R&Bmix}	53,7	52,7	51,9	51,9	51,9	51,4	51,4	51,4	50,8	50,8
Плътност БДС EN 15326	ρ _{mix}	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015	1015

Студено дозиране на скалните материали

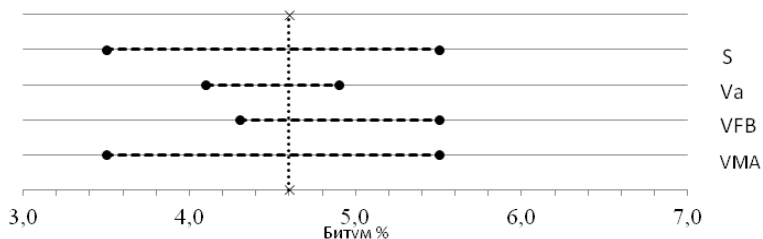
Фрезован материал – 30%; Фракция 12,5/20 – 15%; Фракция 4/12,5 – 35%; Фракция 0/4 – 20%.



Фиг. 8. Рецепта № 1: Студено дозиране на скалните материали

Таблица 2. Рецепта 1: Определяне на обемна плътност, устойчивост и условна пластичност

Битумно съдържание	Обемна плътност	Устойчивост	Усл. пласт.	Макс. плътност	Ост. порестост
3,5%	2,439	8,1	2,1	2,637	7,5
4,0%	2,455	9,2	2,3	2,616	6,2
4,5%	2,473	8,2	2,8	2,597	4,8
5,0%	2,472	8,0	3,1	2,576	4,0
5,5%	2,478	8,0	3,1	2,550	2,8



Фиг. 9. Рецепта № 1: Определяне на оптималното битумно съдържание

Отчетено оптимално битумно съдържание: 4,6%.

Таблица 3. Рецепта 1: Определяне на характеристиките на асфалтова смес с оптимално битумно съдържание

Показатели на асфалтовата смес с оптимално съдържание на свързващо вещество				
№	Наименование на показателя		Единица	Стойност
1	Обемна плътност	G_{mb}	Mg/m^3	2,469
2	Максимална плътност	G_{mm}	Mg/m^3	2,599
3	Ефективна относителна плътност на общите скални материали	G_{se}	Mg/m^3	2,800
4	Съдържание на пори в минералния материал	VMA	%	15,7
5	Остатъчна порестост	V_a	%	5,0
6	Съдържание на пори в минералния материал, запълнени с битум	VFB	%	68,2
7	Устойчивост	S	kN	9,0
8	Условна пластичност	F	mm	2,5

Таблица 4. Рецепта 1: Съответствие на резултатите с БДС EN 13108-1:2006/NA – АС 16 бин. 50/70 при оптимално битумно съдържание 4,6%

№	Показател	Стойност	Мин. доп. ст	Макс доп. ст	Съответствие
1	Остатъчна порестост в % по обем	5,0	4	6	ДА
2	Количество битум в % от масата на сместа от скални материали	4,6	4	6	ДА
3	Устойчивост по Marshall	9,0	7,5	-	ДА
4	Условна пластичност по Marshall	2,5	2	4	ДА
5	Пори, запълнени с битум, VFB	68,2	65	-	ДА
6	Пори в сместа от скални материали, VMA	15,7	14	-	ДА

Извод: Резултатите от изследването сочат, че проектираната асфалтова смес отговаря на нормативните изисквания.

С цел елиминиране на повторемост за следващите рецепти ще бъдат предоставени само обобщаващи таблици за съответствие на резултатите с БДС EN 13108-1:2006/NA.

5.3. Рецепта №2 – АС16 бин. 50/70 с 20% асф. за рециклиране 20 RA 0/14

Материали:

Асфалт за рециклиране, добит от строителен обект, намиращ се в гр. София, район „Овча купел“, ул. „Монтевидео“ – 20 RA 0/14;

Едрозърнест скален материал фракция 12.5/20 mm от кариера Студена;

Едрозърнест скален материал фракция 4/12.5 mm от кариера Студена;

Нефракциониран скален материал 0/4 mm от кариера Студена;

Пътен битум 50/70 – по-ниското съдържание на асфалт за рециклиране в сместа позволи използването на свеж битум 50/70, като комбинираният битум е с пенетрация над 50 [0.1 mm].

Таблица 5. Рецепта 2: Съответствие на резултатите с БДС EN 13108-1:2006/NA – АС 16 бин. 50/70 при оптимално битумно съдържание 4,5%

№	Показател	Стойност	Мин. доп. ст	Макс доп. ст	Съответствие
1	Остатъчна порестост в % по обем	5,7	4	6	ДА
2	Количество битум в % от масата на сместа от скални материали	4,5	4	6	ДА
3	Устойчивост по Marshall	8,7	7,5	-	ДА
4	Условна пластичност по Marshall	2,1	2	4	ДА
5	Пори, запълнени с битум, VFB	65	65	-	ДА
6	Пори в сместа от скални материали, VMA	16,1	14	-	ДА

Извод: Резултатите от изследването сочат, че проектираната асфалтова смес отговаря на нормативните изисквания.

5.4. Рецепта №3 – АС31,5 осн. А0 50/70 с 30% асф. за рециклиране 20РА0/14

Материали:

Асфалт за рециклиране, добит от строителен обект, намиращ се в гр. София, район „Овча купел“, ул. „Монтевидео“ – 20 RA 0/14;

Едрозърнест скален материал фракция 12.5/20 mm от кариера Студена;

Едрозърнест скален материал фракция 4/12.5 mm от кариера Студена;

Нефракциониран скален материал 0/4 mm от кариера Студена;

Пътен битум 70/100 – поради ниската пенетрация на битума в асфалта за рециклиране и голямото му съдържание в сместа беше необходимо да се използва свеж битум с по-висока пенетрация.

Таблица 6. Рецепта 3: Съответствие на резултатите с БДС EN 13108-1:2006/NA – АС 31,5 осн. А0 50/70 при оптимално битумно съдържание 3,7%

№	Показател	Стойност	Мин. доп. ст	Макс доп. ст	Съответствие
1	Остатъчна порестост в % по обем	7,2	5	10	ДА
2	Количество битум в % от масата на сместа от скални материали	3,7	3,5	-	ДА
3	Устойчивост по Marshall	7,7	6	-	ДА
4	Условна пластичност по Marshall	3,5	1,5	4	ДА
5	Пори, запълнени с битум, VFB	54,7	NR	NR	ДА
6	Пори в сместа от скални материали, VMA	15,8	NR	NR	ДА

Извод: Резултатите от изследването сочат, че проектираната асфалтова смес отговаря на нормативните изисквания.

5.5. Рецепта №4 – АС31,5 осн. А0 50/70 с 40% асфалт за рециклиране 20РА0/14

Материали:

Асфалт за рециклиране, добит от строителен обект, намиращ се в гр. София, район „Овча купел“, ул. „Монтевидео“ – 20 RA 0/14;

Едрозърнест скален материал фракция 12.5/20 mm от кариера Студена;

Едрозърнест скален материал фракция 4/12.5 mm от кариера Студена;

Естествен пясък – поради високото съдържание на асфалт за рециклиране в сместа и твърде голямото количество собствен прах (сито 0,063 mm), беше взето решение фракция 0/4 да бъде заменена с естествен пясък в обем 10%. Твърде високото съдържание на дребна фракция би могло да доведе до преуплътняване на сместа и невъзможността тя да покрие нормативните изисквания. Добавянето на естествен пясък редуцира съдържанието на прах (сито 0,063 mm) и позволява по-високо съдържание на пори в сместа, поради облата форма на зърната, които не позволяват прекаленото заклиняване на скалните материали в сместа.

Пътен битум 70/100 – поради ниската пенетрация на битума в асфалта за рециклиране и голямото му съдържание в сместа, беше необходимо да се използва свеж битум с по-висока пенетрация.

Таблица 7. Рецепта 4: Съответствие на резултатите с БДС EN 13108-1:2006/NA – АС 31,5 осн. А0 50/70 при оптимално битумно съдържание 3,6%

№	Показател	Стойност	Мин. доп. ст	Макс доп. ст	Съответствие
1	Остатъчна порестост в % по обем	7,2	5	10	ДА
2	Количество битум в % от масата на сместа от скални материали	3,6	3,5	-	ДА
3	Устойчивост по Marshall	10,6	6	-	ДА
4	Условна пластичност по Marshall	2,4	1,5	4	ДА
5	Пори, запълнени с битум, VFB	53,8	NR	NR	ДА
6	Пори в сместа от скални материали, VMA	15,6	NR	NR	ДА

6. Изводи и заключения

Резултатите от изследването сочат, че технически обосновано и доказано е използването на завишени количества асфалт за рециклиране спрямо тези, посочени в техническата спецификация на Агенция „Пътна инфраструктура“ – до 10% в износващи пластове и до 20% в долен пласт на покритието и основни пластове.

Дори и при по-големи количества на асфалта за рециклиране асфалтовите смеси могат да осигуряват необходимите физико-механични параметри, изискуеми по стандарт, при внимателно изготвяне на рецептите и добавянето на свеж битум.

Следваща стъпка, след проведения експеримент, е реално производство на асфалтовите смеси и изпълнение на пробни участъци, чрез които да бъде установена работата на разработените смеси и при експлоатационни условия.

Твърде голямо е количеството на образуваните и депонирани асфалтови строителни отпадъци. Дори при изчерпана експлоатационна годност на асфалтовия пласт като конструктивен елемент годността на материалите, които го съставят, далеч не е достигнала своя предел.

Жизненият цикъл на суровините в асфалта, започващ с техния добив, далеч не приключва с тяхното депониране. Наредбата за управление на строителни отпадъци е поставила високи изисквания за материално оползотворяване в сферата на пътното строителство, но същите не се покриват в достатъчна степен от строителната индустрия.

Прилагането на практики за устойчиво строителство на пътища е крайно належащо в XXI век. Развитие на индустрията изтощава и уврежда Земята в невиджани мащаби. Много от планетарните граници, касаещи загубата на биоразнообразие, азотния цикъл и кризата с климата вече са безвъзвратно прекрачени благодарение на безразсъдното производство и консумация (експлоатация). Необходимо е незабавно въвеждане на ефективни и задължителни практики за отговорно и устойчиво строителство на пътища в страната.

При повторна употреба на асфалта се редуцира необходимостта от добив на свежи скали и употреба на битум, намаляват се въглеродните емисии, следствие на производство и транспорт на суровини и продукция, редуцират се ареалите на депата за строителни отпадъци и унищожението на годни за земеделие площи.

Чрез увеличаване на допустимите количества асфалт за рециклиране ще бъде постигната по-висока оценка по индикатора към Насока 12.5 на Цел за устойчиво развитие № 12, тъй като степента на рециклиране на асфалтови смеси би могла да скочи двойно спрямо допустимата и пожелателна нормативна уредба, установена от Агенция „Пътна инфраструктура“.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-132/20 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

Благодарности към инж. Мартин Недков, който оказва съдействие чрез консултации при изготвяне на рецептите за асфалтови смеси.

Благодарности към екипа на Строителната лаборатория към „Лабис“ ЕООД за осигуряването на условия за провеждане на експеримента.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://sdgs.un.org/goals/goal12>, poseten na 01.04.2020 g.
2. Aгentsia „Patna infrastruktura“, Tehnicheska spesifikatsia.
3. UN General Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.
4. BDS EN 932-1:2000, „Izpitvania za opredelyane na osnovnite harakteristiki na skalnite materiali. Chast 1: Metodi za vzemane na probi“.
5. BDS EN 933-1:2021, „Izpitvania za opredelyane na geometrichni harakteristiki na skalni materiali. Chast 1: Opredelyane na zarnometrichen sastav. Metod chrez presyavane“.
6. BDS EN 12697-1:2020, „Asfaltovi смеси. Metodi za izpitvane. Chast 1: Sadarzhание na raztvorimo svarzvashto veshtestvo“.
7. BDS EN 12697-3:2013+A1:2019, „Asfaltovi смеси. Metodi za izpitvane. Chast 3: Vazstanovyavane na bituma: rotatsionen izparitel“.
8. BDS EN 1426:2015, „Bitumi i bitumni svarzvashti materiali. Opredelyane na penetratsiyata s igla“.
9. BDS EN 1427:2015, „Bitumi i bitumni svarzvashti materiali. Opredelyane na temperaturata na omekvane. Metod "prasten - topche“.
10. BDS EN 12697-2:2015+A1:2019, „Asfaltovi смеси. Metodi za izpitvane. Chast 2: Opredelyane na razpredelenieto na razmera na chastitsite“.
11. BDS EN 13108-1:2006, „Asfaltovi смеси. Iziskvania za materialite. Chast 1: Asfaltobeton“.
12. BDS EN 13108-8:2006, „Asfaltovi смеси. Iziskvania za materialite. Chast 8: Asfalt za retsiklirane“.
13. BDS EN 13108-20:2006, „Asfaltovi смеси. Izpitvane na tipa“.

14. BDS EN 1097-6:2021, „Izpitvane za opredelyane na mehanichni i fizichni karakteristiki na skalni materiali. Chast 6: Opredelyane na platnost na zarnata i na absorbtisia na voda“.

15. BDS EN 12697-6:2020, „Asfaltovi smesi. Metodi za izpitvane. Chast 6: Opredelyane na obemnata platnost na asfaltovi probni tela“.

16. BDS EN 12697-5:2019, „Asfaltovi smesi. Metodi za izpitvane. Chast 5: Opredelyane na maksimalna platnost“.

17. BDS EN 12697-34:2020, „Asfaltovi smesi. Metodi za izpitvane. Chast 34: Izpitvane po Marshall“.

18. BDS EN 12697-23:2018, „Asfaltovi smesi. Metodi za izpitvane. Chast 23: Indirektno opredelyane na yakostta na opan na asfaltovi probni tela“.

19. BDS EN 13108-1:2006/NA:2017, „Asfaltovi smesi. Iziskvania za materialite. Chast 1: Asfaltobeton. Natsionalno prilozhenie (NA)“.

ACHIEVING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS BY USING CONSTRUCTION WASTE IN NEW ASPHALT MIXTURES

G. Grozev¹, V. Filipova²

Keywords: sustainable development, sustainability, recycling, reclaimed asphalt, asphalt mixtures

ABSTRACT

According to the Technical Specification of the Road Infrastructure Agency, section 5103.6. Reclaimed Asphalt, it is permissible to use up to 10% of reclaimed asphalt in the surface course and up to 20% in binder and base courses of the road construction.

The UN General Assembly was held on September 25, 2015, at which the “Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development” resolution was adopted. The Ninth Sustainable Development Goal (Industry, Innovation and Infrastructure) and Goal № 12 (Responsible Consumption and Production) directly affect the construction and exploitation of roads.

The SDG15 Targets require paying attention to the consumption and material utilization in all areas of industry. Target № 12.5 – By 2030 to substantially reduce waste generation through prevention, reduction, recycling and reuse – has “National Recycling Rate” indicator, measured in tonnes of recycled materials. This indicates that it is necessary for actions to be taken to increase the quantity of recycled materials in every aspect of industry, one of which is road construction.

¹ Georgi Grozev, Eng. PhD Student, Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgigrozev@abv.bg

² Vesela Filipova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: vesela_filipova@abv.bg